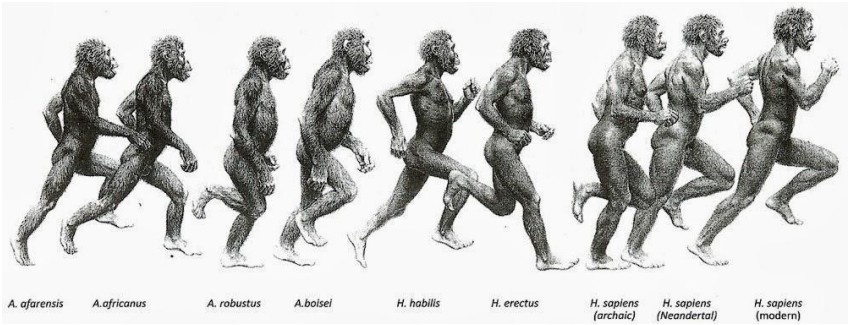
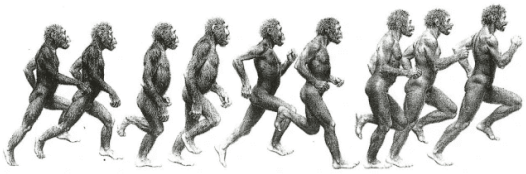
CURSO DE ENTRENADORES DE ATLETISMO
Juan Manuel García Manso
Juan Alfonso García Roca

LAS CARRERAS DE VELOCIDAD EN ATLETISMO

INTRODUCCIÓN



De la trepa y "clambering", la locomoción suspensoria y la cuadrupedia
A la marcha, la carrera y el sprint



Los registros fósiles indican que podríamos haber sido capaces de caminar erguidos hace 4,5 millones de años

Los restos óseos de que disponemos, muestran cambios significativos en la morfología de las extremidades, superiores e inferiores, de nuestros ancestros

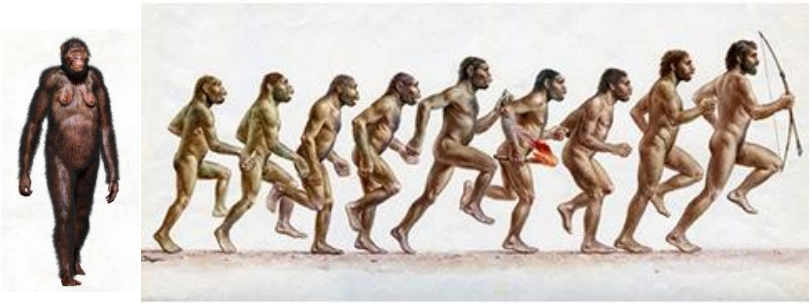
Al pensar en los principales cambios evolutivos que afectaron la trayectoria del desarrollo de nuestra especie, el BIPEDALISMO (seguido de la carrera) resulta ser un rasgo crucial en nuestra historia evolutiva

BIPEDALISMO: forma de locomoción en la que el cuerpo se desplaza de manera habitual sobre dos extremidades (en humanos, las piernas), dejando las manos libres para manipular

Humans evolved for distance running - but ancestor 'Lucy' didn't go far or fast

Gemma Conroy

Nature, 19. doi: 10.1038/d41586-024-04194-4. 2024.



Utilizaron simulaciones de física avanzada para demostrar que, si bien la especie de Lucy (*Australopithecus Afarensis*) era capaz de correr bípeda, pero su velocidad y eficiencia al correr eran muy inferiores a las de los humanos modernos.
La limitada capacidad de Lucy para correr, atribuida a sus brazos largos, piernas cortas y la ausencia de un tendón de Aquiles similar al humano, respalda la hipótesis de que adaptaciones evolutivas específicas para un mejor rendimiento al correr, y no solo la capacidad de caminar, impulsaron el desarrollo de la estructura corporal humana

The Energetic Paradox of Human Running and Hominid Evolution

David R. Carrier

Current Anthropology, 25(4), 483. DOI: 10.1086/203165.1984.

"NACIMOS PARA CORRER"
¿PERO COMO?

El ser humano corredor no es el más rápido, ni el más ágil, ni el más potente

Sin embargo, los humanos, a pesar de su cuerpo erguido (bipedestación), presentan unas extraordinarias capacidades para las carreras de resistencia

Una persona de entre 20 y 40 años entrenada para carreras de resistencia es capaz de correr una maratón popular en un tiempo de 3 horas o menos

Los Maratonianos Élite corren esa distancia en apenas 2 horas

Su eficiente capacidad para disipar el calor corporal por la falta de pelo, la posición erguida y la capacidad de sudar

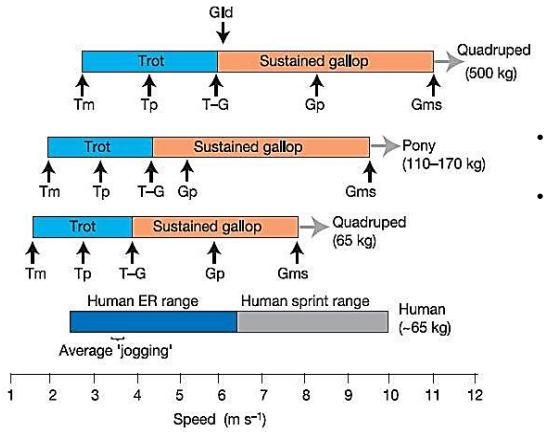
La eficiencia energética invariable en un amplio rango de velocidades de carrera

(consumiendo casi la misma cantidad de energía de 8 a 20 km/h)

Poseer un ciclo respiratorio incomparable desacoplado de la marcha (a diferencia de los cuadrúpedos)

Son valiosas herramientas que ayudaron a los primeros humanos a sobrevivir, facilitándoles sus necesidades de caza o supervivencia

The ape who learned to run: Were we born for endurance races?
Daniel Moreno Andrés
Science. https://mappingignorance.org/2016/06/27/ape-learned-run-born-endurance-races/. 2016.



Las presas podían galopar más rápido que humanos, pero solo por un tiempo limitado
Sus constricciones respiratorias (respiración acoplada a marcha) y una disipación de calor menos eficiente les hacen tener velocidades preferidas para correr (Tp y Gp).

Rendimiento comparativo de la Capacidad de Resistencia en humanos y cuadrúpedos

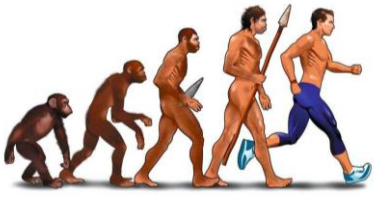
- **Rango velocidades en humanos: resistencia & sprint.**
- **Rango velocidades en cuadrúpedos de 65 y 500 kg:**
  - Trote mínimo (Tm)
  - Trote preferido (Tp)
  - Transición trote-galope (T-G)
  - Galope preferido (Gp)
  - Galope máximo sostenido 10'-15' (Gms).

TAMBIÉN SE INDICA:

- Gld: velocidad óptima de galope diurno de caballos en largas distancias (<20 km).

Cabe destacar que cuadrúpedos sprintan a velocidades superiores a Gms

EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE CORRER EN HOMÍNIDOS



La capacidad de correr en los humanos no es un simple rasgo deportivo, sino una adaptación evolutiva clave

Desde la antropología biológica y la paleoantropología, se considera que nuestra especie desarrolló esta habilidad para su supervivencia

En humanos, la evolución de la marcha y la capacidad de correr está marcada por una doble capacidad de especialización:

- Capacidad de elevada de resistencia
  - Gracias a adaptaciones: anatómicas, metabólicas y termorregulatorias
- Capacidad de sprint para situaciones de caza o huida.

Esto nos ha convertido en los mejores corredores de resistencia del reino animal, aunque no en los más rápidos, y sentó las bases para que hoy el atletismo sea una de las expresiones más visibles de nuestra biología evolutiva

Evolución Humana: ha favorecido la capacidad de correr largas distancias, permitiéndonos mantener velocidades moderadas

Esto se debe a una combinación de adaptaciones físicas (aumento del metabolismo, mejor disipación del calor y cambios esqueléticos y musculares)

No ocurre lo mismo durante la evolución humana con la capacidad de desplazarse a elevadas velocidades

Durante aproximadamente los primeros 3-4 millones de años de la evolución, nuestros ancestros se caracterizaron por una anatomía postcraneal que se reflejaba en la marcha bípeda, pero con elementos que podrían comprometer una locomoción eficiente

Se cree que esta adaptación definitiva hacia una anatomía eficiente para la carrera ocurrió hace ≈1,8-2.0 millones de años y se vincula a las necesidades de los homínidos para la caza o su supervivencia



Evolutionary basis of human running and its impact on neural function **1**

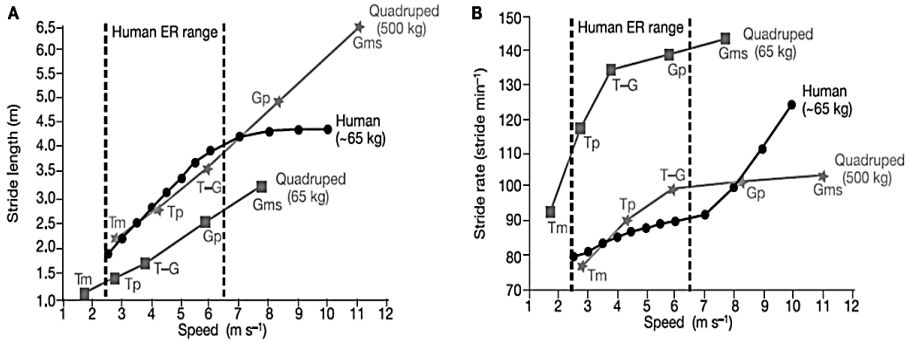
Jay Schulkin

Frontiers in Systems Neuroscience, 10, 59. https://doi.org/10.3389/fnsys.2016.00059. 2016.

Una zancada es un ciclo locomotor completo (2 pasos para humanos)
La participación muscular cambia con la Velocidad de Carrera

En comparación los con cuadrúpedos de tamaño similar, los humanos tienen Longitudes de Zancada (LZ) relativamente largas y Frecuencias de Zancada (FZ) relativamente bajas

Humanos aumentan la velocidad, principalmente, aumentando la LZ, no la FZ



Evolutionary basis of human running and its impact on neural function 2

Jay Schulkin

Frontiers in Systems Neuroscience, 10, 59. https://doi.org/10.3389/fnsys.2016.00059. 2016.

LOS HUMANOS EVOLUCIONAMOS PARA CORRER LEJOS PERO NO RÁPIDO (HIPÓTESIS DEL CORREDOR DE RESISTENCIA)

Esa adaptación evolutiva implicó rasgos anatómicos específicos

Evidencias **Paleoantropológicas** argumentan que la carrera (especialmente de resistencia) se favoreció por rasgos anatómicos como tendón de Aquiles largo, dedos cortos, piernas largas, glúteo desarrollado y estabilización del tronco/vestíbulo-ocular.

Estos rasgos abarataron el coste y permitieron cazar a larga distancia y desplazamientos cooperativos

Correr activa sistemas de recompensa (endorfinas/dopamina) y reduce estrés

El papel de endorfinas (euforia/analgesia), dopamina (motivación–recompensa) y otros mensajeros como parte del "*runner's high*" y la regulación del estrés

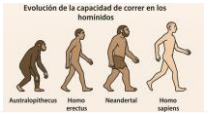
El ejercicio aeróbico promueve neurogénesis/BDNF y mejor memoria (hipocampo)

El ejercicio aeróbico incrementa neurogénesis y plasticidad (i.e. BDNF) en el hipocampo, con mejoras en memoria y aprendizaje

La aptitud física se asocia a expansión regional cerebral

Correr, como práctica social y lúdica actual, sigue potenciando la función neural

EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE CORRER EN HOMÍNIDOS

Especie / Periodo	Rasgos anatómicos principales	Capacidad para correr	Comentarios antropológicos
Australopithecus (4–2 Ma)	- Bipedismo parcial - Brazos largos, dedos curvados - Pelvis ancha y primitiva - Arco plantar poco desarrollado	Muy limitada	Caminaban erguidos pero aún trepaban árboles. No podían correr largas distancias de manera eficiente.
Homo habilis (2,4–1,6 Ma)	- Cuerpo más ligero - Proporciones intermedias - Uso incipiente de herramientas	Limitada pero mejor que Australopithecus	Más marcha bípeda eficiente; carrera todavía poco desarrollada.
Homo erectus (1,9 Ma–150 ka)	- Piernas más largas - Arco plantar definido - Tendón de Aquiles desarrollado - Ligamento nucal (estabiliza la cabeza) - Piel con más glándulas sudoríparas	Muy alta (primer "corredor") 	Asociado a la **caza por persistencia.** Podía perseguir animales durante horas, gran ventaja ecológica.
Homo neanderthalensis (400–40 ka)	- Cuerpo robusto - Extremidades más cortas - Gran fuerza muscular	Buena resistencia, pero menor eficiencia que sapiens	Adaptados al frío; más potentes que veloces o resistentes. Carrera menos económica.
Homo sapiens (300 ka–actualidad)	- Proporciones gráciles y piernas largas - Gran capacidad de sudoración - Tendones y pies elásticos - Glúteo mayor potente (estabiliza en el sprint)	Muy alta: combinación de resistencia + velocidad moderada	Capacidad única: **resistencia extrema + suficiente velocidad.** Base de la cultura del correr (caza, comunicación, ritual, deporte).

FACTORES MORFOLÓGICOS Y FUNCIONALES QUE LIMITAN LA ALTA VELOCIDAD HUMANA

- **COMPOSICIÓN MUSCULAR**
  - Baja proporción de fibras rápidas (tipo IIx/IIb):
    - Los humanos tenemos más fibras tipo I y IIa, buenas para resistencia.
    - En felinos, la proporción de fibras IIx es mucho mayor.
  - **Limitación**: **menor capacidad de generar la potencia explosiva para lograr altas aceleraciones.**
- **TENDONES Y ELASTICIDAD**
  - Tendón de Aquiles humano: largo y elástico, optimiza el almacenamiento de energía elástica.
  - En animales velocistas, los tendones están diseñados para transmitir fuerza de forma rígida y rápida, no tanto para reciclar energía**.**
  - **Limitación**: **nuestros tendones priorizan economía, no potencia instantánea.**
- **ANATOMÍA DE LA PELVIS Y LOS MIEMBROS INFERIORES**
  - Pelvis ancha y estable qqe permite correr largas distancias sin perder equilibrio.
  - Pero esto limita la extensión máxima de la zancada, clave en el sprint.
  - Fémur humano, más vertical y menos orientado hacia atrás que en animales velocistas. reduce la palanca para zancadas largas y rápidas.
  - **Limitación: menor amplitud y frecuencia de zancada con menos velocidad punta**.
- **BIOMECÁNICA DEL TRONCO Y RESPIRACIÓN**
  - Humanos podemos respirar de manera independiente de la zancada (ventaja en resistencia).
  - Animales como el caballo o el galgo acoplan respiración y zancada, lo que aumenta la eficiencia en máximas velocidades, aunque los limita en largas distancias.
  - **Limitación: nuestra mecánica torácica no está optimizada para ese "turbo" de alta frecuencia.**

The genetic architecture of and evolutionary constraints on the human pelvic form

Xu, L., Kun, E., Pandey, D., Wang, J. Y., Brasil, M. F., Singh, T. & Narasimhan, V. M. Science, 388(6743), DOI: 10.1126/science.adq1521. 2025.

Explora qué genes y variantes explican la forma de la pelvis humana y qué compromisos evolutivos (*trade-offs*) han modelado su forma (♂ y ♀) en el equilibrio entre el Bipedismo y el Parto ("*dilema obstétrico*")

La evolución pélvica, tras divergencia entre humanos y chimpancés, genera un dilema obstétrico que afecta significativamente a la marcha:

- Desajuste entre el gran tamaño del cerebro infantil
- Estrechamiento del canal de parto femenino



Sin embargo, la evidencia empírica ha sido contradictoria

- **Identifican 180 *loci* asociados a 7 fenotipos pélvicos con alta heredabilidad.**
- **Los fenotipos del canal de parto mostraron una arquitectura genética específica para cada sexo, alineada con la función reproductiva.**
- **Canales de parto más grandes se asociaron con ritmo de marcha más lento y reducción del dolor de espalda, pero con un mayor riesgo de osteoartritis de cadera**
- **Canales de parto más estrechos se asociaron con menor riesgo de trastornos del suelo pélvico, pero con un mayor riesgo de parto obstruido.**

La correlación genética entre canal de parto y ancho de la cabeza proporciona evidencia de coevolución entre pelvis y cerebro humanos, lo que mitiga parcialmente el dilema

CAPACIDAD DE CARRERA A ALTA VELOCIDAD DE HUMANOS Y OTRAS ESPECIES

ESPECIE	VELOCIDAD MÁXIMA (km/h)	DISTANCIA (Metros o Km)
GUEPARDO	9-100 km/h	200-300 m
ANTÍLOPE	55-60 km/h	Varios km
CABALLO CARRERAS	70 km/h	1—2 km
GALGO INGLÉS	65-72 km/h	300-400 m
AVESTRUZ	70 km/h	1-2 km
CHIMPACÉ	35 kmm/h	Muy Breve
HUMANOS	44-72 km/h	<100 m

CAPACIDAD DE CARRERA A ALTA VELOCIDAD DE HUMANOS Y OTRAS ESPECIES

ESPECIE	DISTANCIA MÁXIMA SOSTENIDA CORRIENDO	LIMITACIONES
Guepardo	<2 km	Se sobrecalienta y debe parar
Caballo (endurance race)	80–160 km en un día	Necesita pausas de Hidratación y Recuperación
Perro de Trineo (Husky)	50–100 km/día en condiciones frías	Depende del Clima Frío
Humano Entrenado (Ultramaratonista)	80–160 km en 12–24 h (algunos hasta >200 km)	Puede correr con calor gracias a la Sudoración
Humano Cazador-Recolector	20–35 km en caza por persistencia	Capaz de hacer colapsar a antílopes bajo calor

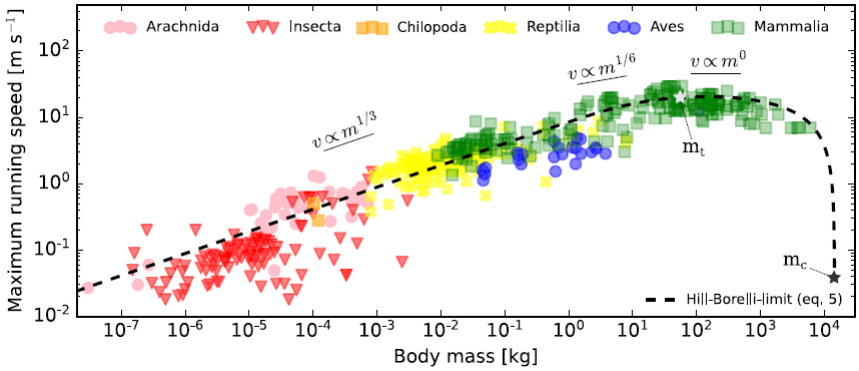
Dynamic similarity and the peculiar allometry of maximum running speed

David Labonte, Peter J. Bishop, Taylor J. M. Dick & Christofer J. Clemente

Nature Communications, 15(1), 2181. https://doi.org/10.1038/s41467-024-46269-w2024.

Los animales, pequeños y grandes, se mueven utilizando el músculo como motor, pero la velocidad máxima que pueden alcanzar varía de forma no monótona con el tamaño

Los animales más rápidos son de tamaño intermedio



Endurance running and the evolution of Homo

Dennis M. Bramble & Daniel E. Lieberman

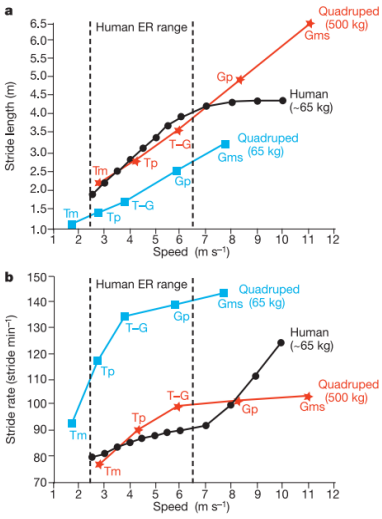
Nature, 432(7015), 345-352. 2004.

El bipedalismo a zancadas es un comportamiento derivado clave de los homínidos, que posiblemente se originó poco después de la divergencia entre los linajes de los chimpancés y los humanos

Aunque la marcha bípeda incluye caminar y correr, se considera que correr no jugó un papel importante en la evolución humana, ya que los humanos, al igual que los simios, son velocistas deficientes en comparación con la mayoría de los cuadrúpedos.

Humanos tienen un rendimiento notable en carreras de resistencia, gracias a una amplia gama de características, muchas de las cuales dejan rastro en el esqueleto.

La evidencia fósil sugiere que la carrera de resistencia es una capacidad derivada del género Homo, originada hace unos 2 millones de años, y que podría haber sido fundamental en la evolución de la forma del cuerpo humano.



ALTAS VELOCIDADES EN EL DEPORTE



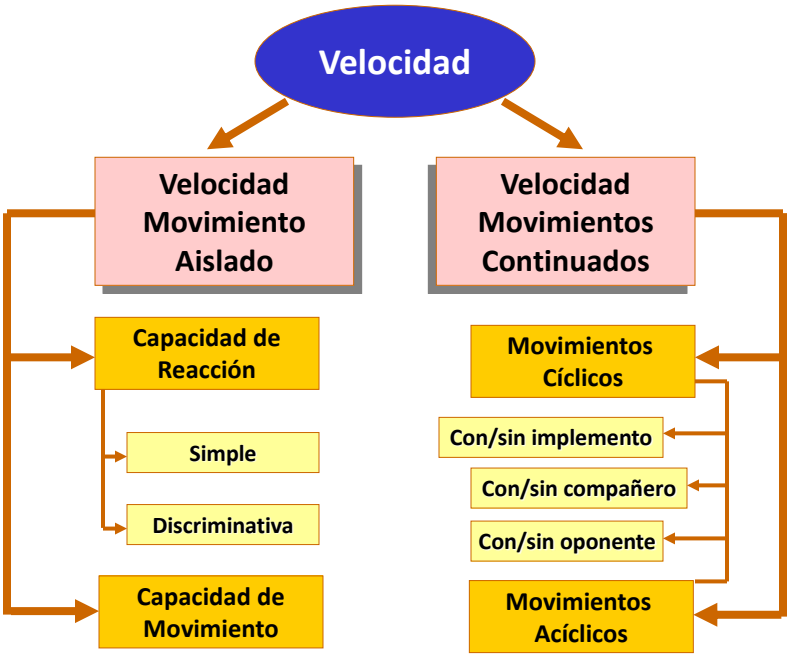
IMPORTANCIA DE LA VELOCIDAD EN EL DEPORTE MODERNO

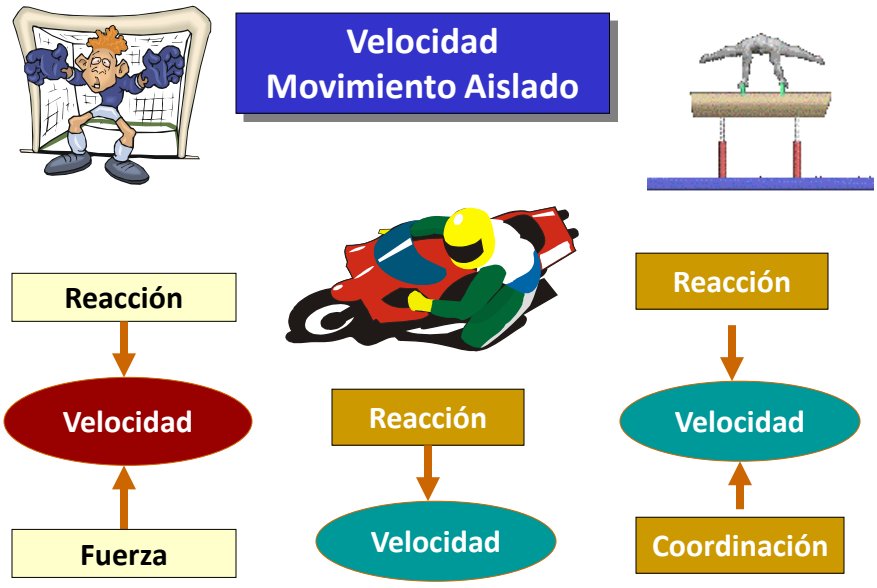
La Velocidad en el Deporte Moderno ha adquirido un papel central, no solo en disciplinas clásicamente asociadas a ella como por ejemplo el atletismo o el ciclismo, sino también para la ejecución eficaz de las diferentes técnicas y acciones tácticas utilizadas en deportes colectivos, de combate y hasta en actividades de precisión

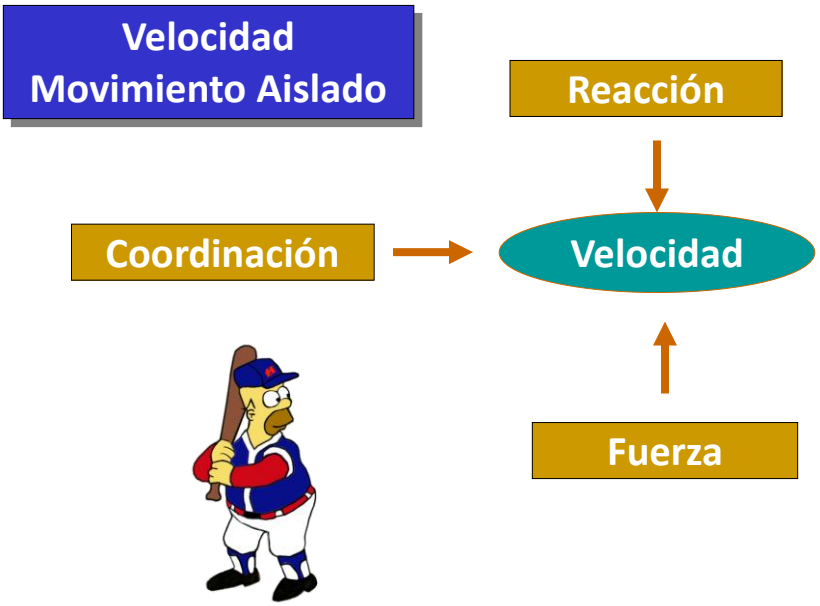
En el deporte moderno, la velocidad ya no se entiende solo como "correr rápido", sino como un conjunto de capacidades físicas asociadas al desplazamiento o las acciones de fuera y resistencia, como también a las acciones técnicas y cognitivas

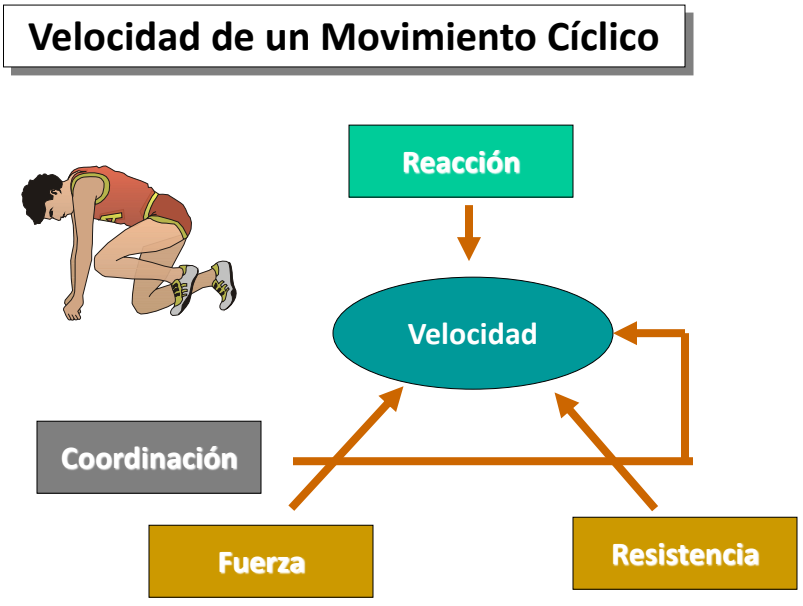
SU IMPORTANCIA RADICA EN QUE:

- **Diferencia a los atletas de élite de los demás.**
- **Eleva el nivel del espectáculo deportivo.**
- **Exige avances en la preparación física, la tecnología de materiales (calzado, ropa, pistas) y el análisis biomecánico.**
- **Es clave en deportes individuales Y colectivos, pues la rapidez de ejecución y reacción, marcan la diferencia en el rendimiento.**

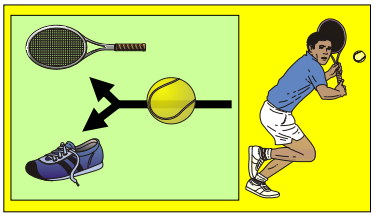

Velocidad
Velocidad Movimiento Aislado
Velocidad Movimientos Continuados
Capacidad de Reacción
Simple
Discriminativa
Capacidad de Movimiento
Movimientos Cíclicos
Con/sin implemento
Con/sin compañero
Con/sin oponente
Movimientos Acíclicos


Velocidad Movimiento Aislado
Reacción
Velocidad
Fuerza
Reacción
Velocidad
Reacción
Velocidad
Coordinación


Velocidad
Movimiento Aislado
Reacción
Coordinación
Velocidad
Fuerza


Velocidad de un Movimiento Cíclico
Reacción
Velocidad
Coordinación
Fuerza
Resistencia

Velocidad de un Movimiento Acíclico



Reacción

Toma de Decisión

Velocidad

4-6;4-6;6-3;7-5;6-3

Coordinación

Fuerza

Resistencia

IMPORTANCIA DE LA VELOCIDAD EN LOS DEPORTES DE EQUIPO

- Para asegurar que una ejecución técnica culmina favorablemente debemos tener en cuenta:

velocidad de todo el proceso.

- Si tardo demasiado en percibir y analizar la situación y/o en tomar la decisión, cuando quiera ejecutar la acción, las circunstancias no serán las mismas, y por lo tanto la decisión ya no será correcta.

- Así que tenemos que:

Acostumbrar a nuestros jugadores a tomar buenas decisiones pero además **RÁPIDAS**.



Factores que Determinan el Potencial de Velocidad en la ejecución de Movimientos Acíclicos

Dominio de las Técnicas Básicas

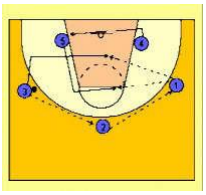


Niveles de Táctica Individual

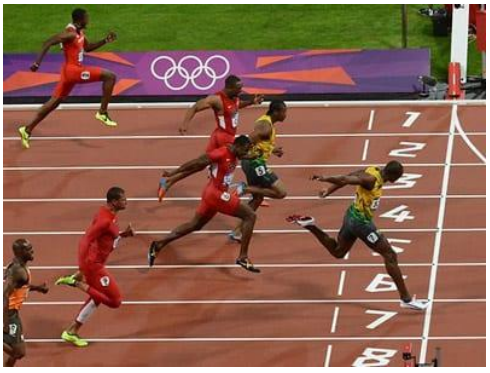


Niveles de Táctica Colectiva

Toma de Decisión



LAS PRUEBAS DE VELOCIDAD EN EL ATLETISMO





LAS CARRERAS DE VELOCIDAD EN LA ANTIGUA GRECIA

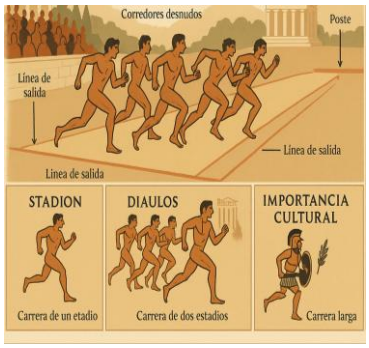
Se llamaban ***stadion (στάδιον)*** (longitud de un estadio: 192 metros)

El vencedor era tan importante que a veces se nombraba la olimpiada con su nombre

Al principio, fue la única prueba de los Juegos durante más de 40 años

La salida se realizaba desde una línea marcada en piedra (***Balbis***), con pequeños surcos para colocar los pies

Otra prueba de velocidad era el ***Diaulo*** (carrera de dos estadios: ≈384 m)



Coroebus de Élide (776 a.C.): Panadero que se convirtió en el 1er campeón registrado y, por tanto, primer olímpico conocido.

Astylos de Crotona (484 y 480 a.C.): Ganó 3 veces el stadion y el diaulos; compitió más tarde representando a Siracusa, lo que provocó controversia.

Leonidas de Rodas (164, 160, 156 y 152 a.C.): Ganó el stadion, el diaulos y el hoplitódromo en 4 olimpiadas consecutivas.

Chionis de Esparta (664 y 656 a.C.): Campeón del stadion y otras pruebas; famoso también por sus impresionantes saltos.

Orsippo de Megara (720 a.C.): Vencedor del stadion y recordado por ser, según la tradición, el 1º en correr desnudo.

LAS CARRERAS ATLÉTICAS DE VELOCIDAD

LAS CARRERAS DE VELOCIDAD SON LAS PRUEBAS MÁS CORTAS Y RÁPIDAS DEL CALENDARIO ATLÉTICO

Incluyen carreras a pie en las que el velocista debe recorrer una distancia corta a la mayor velocidad posible

Las carreras de velocidad buscan alcanzar la velocidad máxima en una distancia corta predeterminada

TODAS LAS CARRERAS HASTA 400 m

(60, 100, 200, 300 & 400 m)

(60, 100, 110, 400 m Vallas)

PUEDEN CONSIDERARSE "CARRERAS DE VELOCIDAD"

CURSO DE ENTRENADORES DE ATLETISMO

Juan Manuel García Manso
Juan Alfonso García Roca

LAS CARRERAS DE VELOCIDAD EN ATLETISMO

CARACTERÍSTICAS DE LOS VELOCISTAS



EVOLUCIÓN DE LOS REGISTROS EN LAS PRUEBAS DE VELOCIDAD



En la práctica, Vanderka & Kampmiller (2013) recomiendan que los entrenadores presten especial atención a la frecuencia de zancada y a la duración del apoyo, ya que son indicadores que permiten identificar a los jóvenes con mayor potencial de velocidad

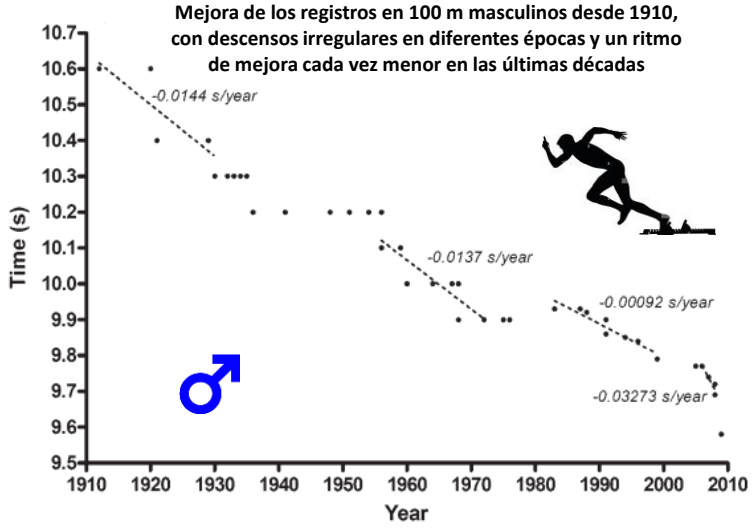
Un atleta que se sitúe muy por encima de la media (2 o 3 desviaciones estándar más alto que sus compañeros) en estas variables, tiene muchas probabilidades de destacar si recibe un entrenamiento adecuado.

The Science of Speed:
Determinants of Performance in the 100 m Sprint
Aditi S. Majumdar & Robert A. Robergs
International Journal of Sports Science & Coaching 6(3), 479-493. 2011



Mejora en los tiempos de 100 m femeninos a lo largo del siglo XX
- **Muestra una rápida reducción en las primeras décadas y un ritmo de mejora mucho menor a partir de 1940**

The Science of Speed:
Determinants of Performance in the 100 m Sprint
Aditi S. Majumdar & Robert A. Robergs
International Journal of Sports Science & Coaching 6(3), 479-493. 2011



Mejora de los registros en 100 m masculinos desde 1910, con descensos irregulares en diferentes épocas y un ritmo de mejora cada vez menor en las últimas décadas

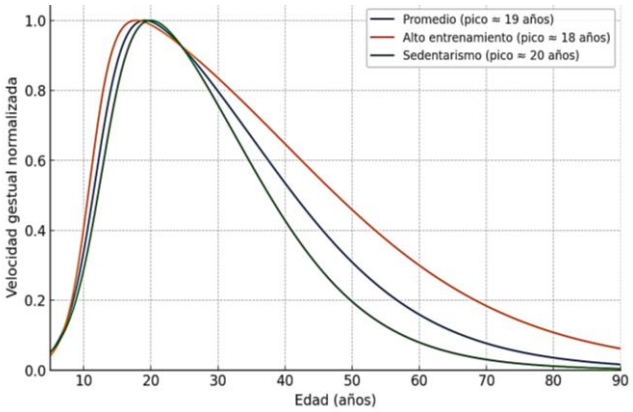
VELOCIDAD GESTUAL

Capacidad de realizar un gesto motor específico en el menor tiempo posible, manteniendo precisión y coordinación

No se trata solo de “moverse rápido”,
sino de ejecutar con rapidez un movimiento técnico concreto

EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD GESTUAL

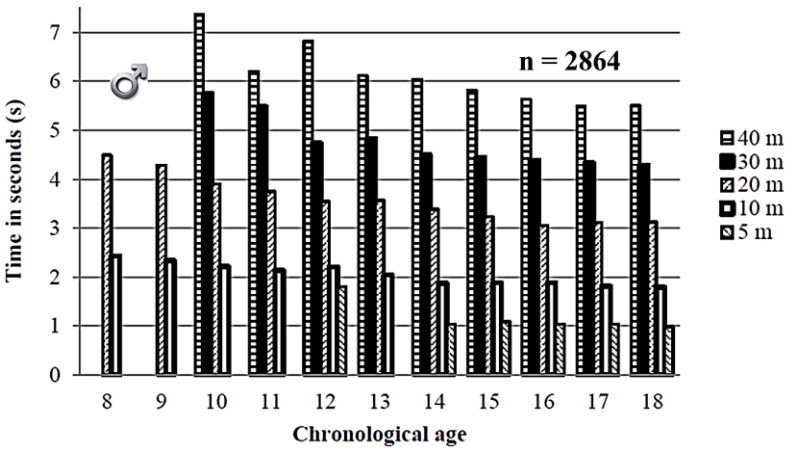
[Modelo Inspirado en la Curva de Hodgins (1963)]



Sprint running kinetics and kinematics in youth
Michael C. Rumpf
Tesis Doctoral. Auckland University of Technology (2012)

TENDENCIAS DEL RENDIMIENTO A LO LARGO DEL TIEMPO (EDAD CRONOLÓGICA)

Los tiempos en para sujetos masculinos (n = 2864), calculados a partir de todos los sujetos y grupos de edad, se muestran en la figura 2.1. El tiempo promedio de sprint en 5, 10, 20, 30 y 40 metros para los niños disminuyó notablemente con la edad en todas las distancias hasta aproximadamente los 15 años, después la tasa de disminución disminuyó (16 y los 18 años)

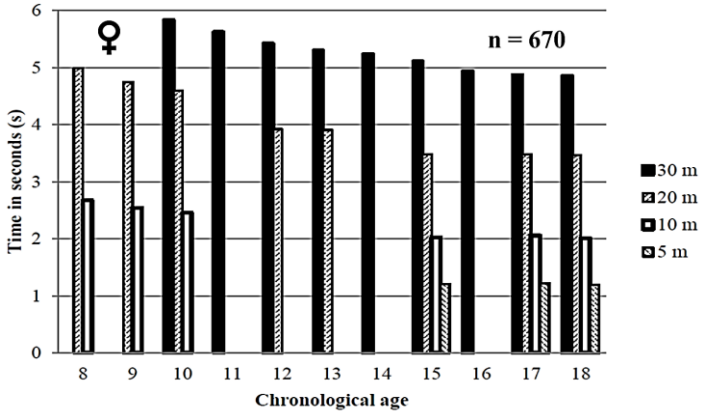


Sprint running kinetics and kinematics in youth

Michael C. Rumpf

Tesis Doctoral. Auckland University of Technology (2012)

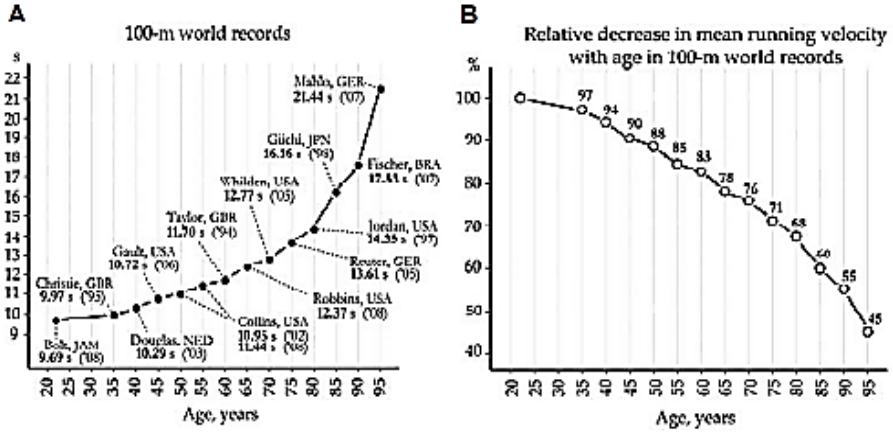
Los tiempos de sprint de mujeres (n = 670) en 5, 10, 20, 30 y 40 metros
El tiempo de mujeres disminuyó notablemente con edad en todas las distancias hasta aproximadamente los 16 años, a partir de la cual la tasa de disminución se redujo (17 -18 años)
Al comparar ♂ con ♀ de misma edad, los tiempos de ♂ fueron menores en todas las distancias



Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes

Marko T. Korhonen (Academic Dissertation)

Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä. Junio 2009.

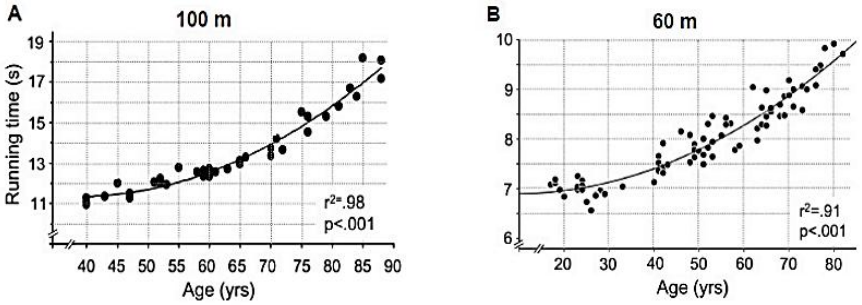


Récords mundiales oficiales de 100 m (año 2008) de cada 5 años (35 años) en hombres (A), y disminución relativa de la velocidad media de carrera en los récords mundiales por edad con respecto a la de la categoría abierta (B). El año de obtención del récord se muestra entre paréntesis

Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes

Marko T. Korhonen (Academic Dissertation)

Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä. Junio 2009.



T100 m aumenta, de forma curvilínea. con la edad desde 11,14 ±0 ,19 segundos en corredores de 40 a 44 años a 17,80 ± 0,57 segundos en corredores de 85 a 89 años

El mismo comportamiento observaron en las pruebas de velocidad de 60 m en pista cubierta en atletas de toda la edad adulta

En corredores de 17 a 33 años, **T60** m fue de 6,98 ± 0,17 segundos que posteriormente aumenta a 9,23 ± 0,41 segundos en los corredores de 70 a 82 años (p< 0,001; 6 %/década)

Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition

Faycal Rebaine

Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.

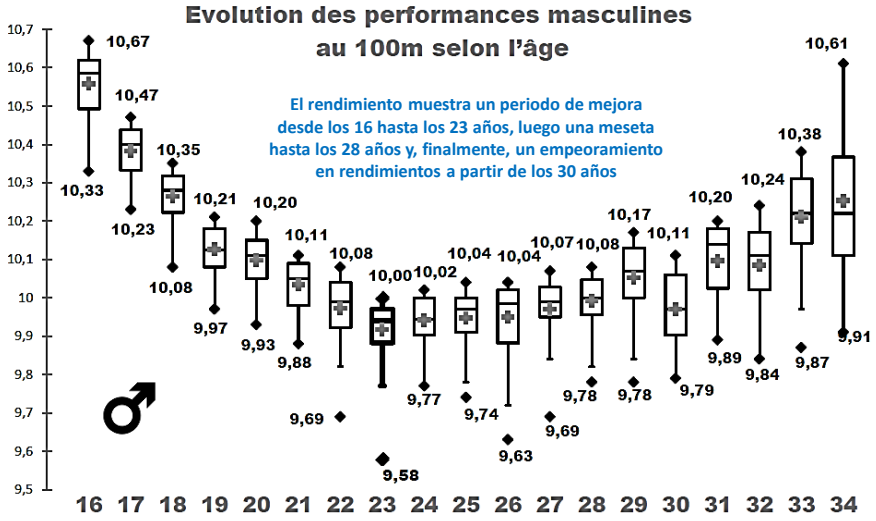
♂

Evolución, por edad, de las Marcas de los 50 mejores atletas masculinos de 100 m

Age	N	Moyenne	Ecart-type	CV %	Minimum	Maximum
16	50	**10,56**	0,08	0,79	10,33	10,67
17	50	**10,38**	0,07	0,64	10,23	10,47
18	50	**10,26**	0,07	0,69	10,08	10,35
19	50	**10,13**	0,06	0,59	9,97	10,21
20	50	**10,10**	0,07	0,69	9,93	10,20
21	50	**10,03**	0,07	0,66	9,88	10,11
22	50	**9,97**	0,08	0,84	9,69	10,08
23	50	**9,92**	0,08	0,82	9,58	10,00
24	50	**9,94**	0,06	0,64	9,77	10,02
25	50	**9,95**	0,08	0,78	9,74	10,04
26	50	**9,95**	0,09	0,93	9,63	10,04
27	50	**9,97**	0,09	0,88	9,69	10,07
28	50	**9,99**	0,07	0,73	9,78	10,08
29	50	**10,05**	0,10	0,99	9,78	10,17
30	50	**9,97**	0,10	1,00	9,79	10,11
31	50	**10,10**	0,10	0,99	9,89	10,20
32	50	**10,08**	0,10	1,03	9,84	10,24
33	50	**10,21**	0,13	1,28	9,87	10,38
34	50	**10,25**	0,18	1,79	9,91	10,61

Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.

Evolución, por edad, de las Marcas de los 50 mejores atletas masculinos de 100 m



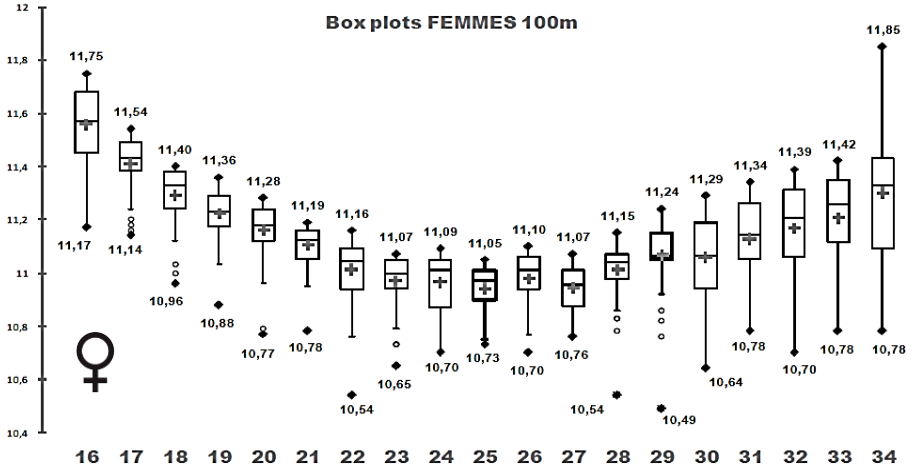
Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.

Evolución, por edad, de las Marcas de los 50 mejores atletas femeninos de 100 m

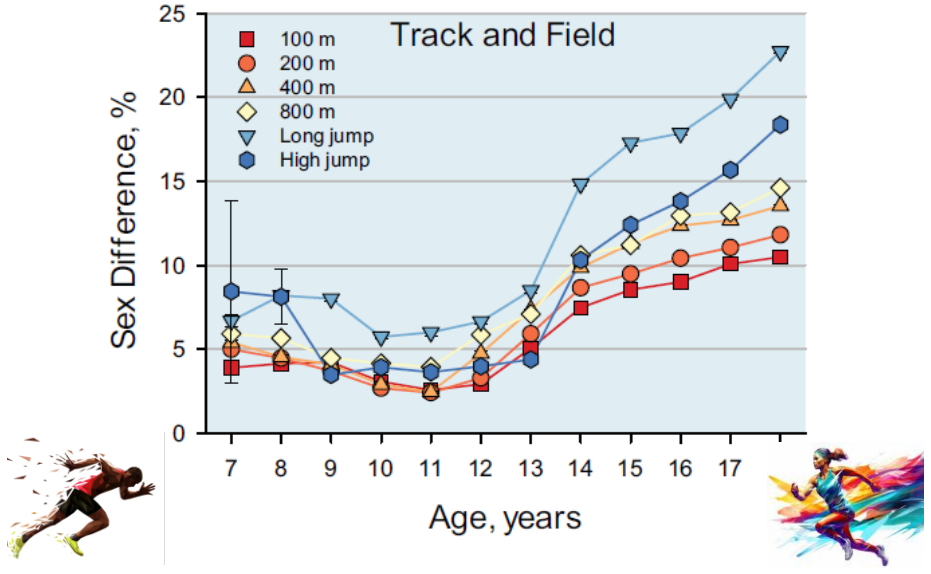
AGE	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	CV
16	50	11,17	11,75	**11,56**	0,13	1,15
17	50	11,14	11,54	**11,41**	0,11	0,95
18	50	10,96	11,40	**11,29**	0,11	0,96
19	50	10,88	11,36	**11,23**	0,10	0,88
20	50	10,77	11,28	**11,16**	0,11	1,02
21	50	10,78	11,19	**11,11**	0,08	0,73
22	50	10,54	11,16	**11,01**	0,12	1,11
23	50	10,65	11,07	**10,97**	0,10	0,91
24	50	10,70	11,09	**10,97**	0,11	1,00
25	50	10,73	11,05	**10,94**	0,09	0,82
26	50	10,70	11,10	**10,98**	0,10	0,87
27	50	10,76	11,07	**10,95**	0,08	0,77
28	50	10,54	11,15	**11,01**	0,11	1,01
29	50	10,49	11,24	**11,07**	0,13	1,20
30	50	10,64	11,29	**11,06**	0,16	1,46
31	50	10,78	11,34	**11,13**	0,17	1,53
32	50	10,70	11,39	**11,17**	0,17	1,52
33	50	10,78	11,42	**11,21**	0,18	1,63
34	50	10,78	12,40	**11,37**	0,34	2,96

Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.

Evolución, por edad, de las Marcas de los 50 mejores atletas femeninos de 100 m



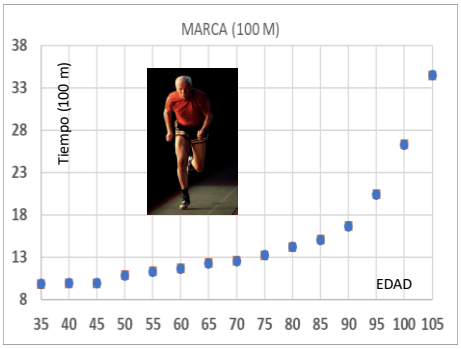
Evidence on sex differences in sports performance
Michael J. Joyner, Sandra K. Hunter & Jonathon W. Senefeld
Journal of Applied Physiology, 138, 274–281. 2025.



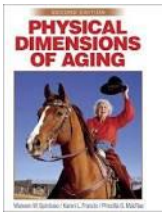
EVOLUCIÓN DEL RECORD MUNDIAL 100 METROS (MASCULINO) CON LA EDAD (AÑOS)







Edad	Marca	Atleta (País)	Año
M35	9.87	Justin Gatlin (USA)	2019
M40	9.93	Kim Collins (S. Kitts)	2016
M45	10.72	Willie Gault (USA)	2006
	10.72	Lion Martínez (SUE)	2023
M50	10.88	Willie Gault (USA)	2011
M55	11.30	Willie Gault (USA)	2016
M60	11.70	Ronald Taylor (USA)	1994
M65	12.31	Damien Leake (USA)	2018
M70	12.59	Damien Leake (USA)	2023
M75	13,25	Kenton Brown (USA)	2020
M80	14,21	Kenton Brown (USA)	2024
M85	15,09	Hiro Tanaka (JAP)	2017
M90	16,69	Hiro Tanaka (JAP)	2021
M95	20,41	Frederic Fischer (BRA)	2012
M100	26,34	Lester Wright (USA)	2022
M105	34,5	Stanislaw Kowalski (POL)	2015



Physical Dimensions of Aging

Waneen Wyrick Spirduso, Karen L. Francis & Priscilla G. MacRae

Human Kinetics. 2005.



Los **Récords Mundiales por Edad**, presentan una disminución general de la **Velocidad Media de Carrera del 32,5 % (0,56 %/año)** en un lapso de aproximadamente 60 años

(Velocidad Máxima de 10,32 m/s a 22 años a 6,97 m/s a 80 años)

Es probable que las mejoras en los **Récords de Sprint Máster** reflejen el mayor número de corredores de élite (diversos países) que compiten en carreras de sprint máster, así como un entrenamiento anual más sistemático

Si bien la mayoría de los récords actuales de sprint de 100 m sprint por grupo de edad se han logrado en las últimas décadas década, las mejoras han sido pequeñas en los últimos años

Esto sugiere que los registros actuales son cada vez más representativos de las capacidades reales de rendimiento que se pueden alcanzar a diferentes edades

The plasticity of courses of physical performance in the second part of life
En Huber G (edit.), Healthy Aging, Activity, and Sports
(Proceedings, PAAS IV).
Achim Conzelmann
Health Promotion Publications, Gamburg, Germany, 435-445. 1997.



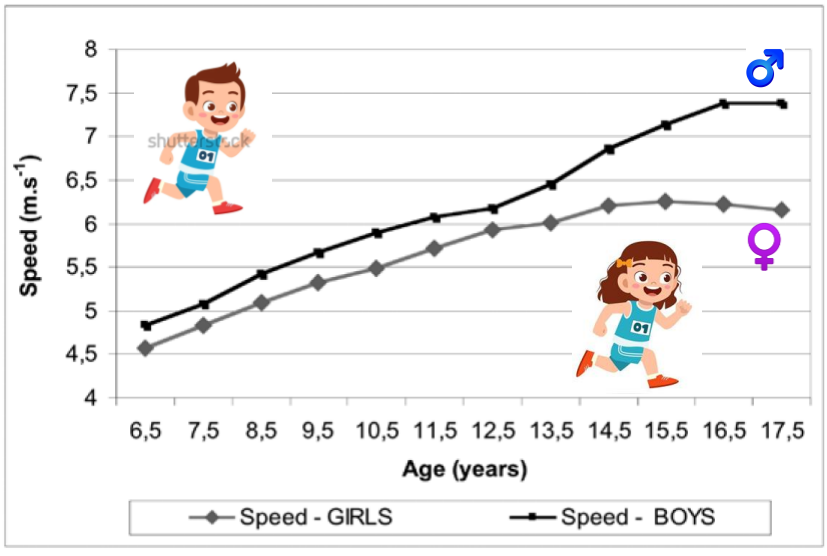
Identificó, corredores alemanes (♂), que la
Tasa de Disminución de la **Velocidad Media de Carrera**
en 100 m (20-25 a 70-75 años), fue ≈0,3-0,4 %/año

Es una tasa inferior a la ***disminución transversal*** (≈0,6 % anual)
observada en los Top-10de todos los tiempos

Una observación interesante es que los mejores tiempos en 100 m de la plusmarquista mundial ♀ de 100 y 200 m, en los grupos de 35, 40 y 45 años (**Merlene Ottey**), disminuyo en 10 años de 10,74 s (36 años) a 11,34 s (46 años), lo que corresponde a una disminución de la velocidad media de ±0,53 %/anual

Dado que **Marlen Ottey (JAM)** se encontraba, durante el estudio, en un nivel de entrenamiento estable y óptimo (aún intentaba clasificarse para campeonatos importantes), la disminución del rendimiento refleja principalmente el envejecimiento biológico

Kinematics of Sprinting in Children and Youths
Marian Vanderka & Tomáš Kampmiller
New Studies in Athletics, 28(1/2), 35-45. 2013.

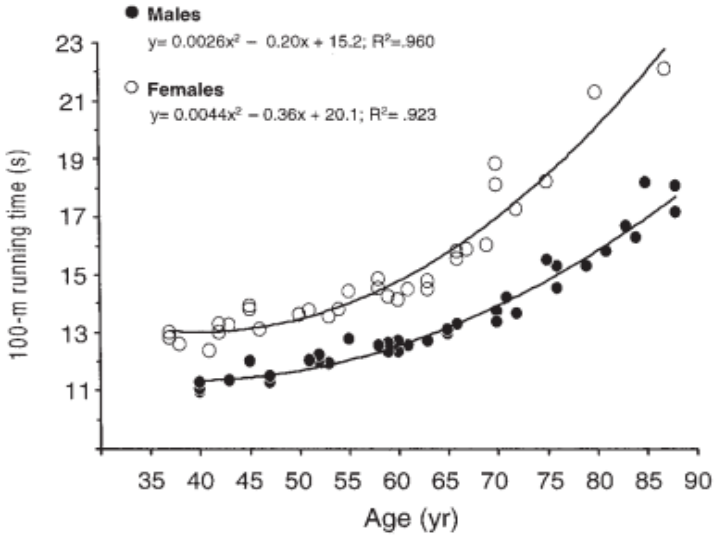


MUESTRA: 2.598 niños/as (Bratislava – Eslovaquia) – Carreras de 25 m (control 10 metros)

Age-related differences in 100-m sprint performance in male and female master runners

Korhonen, M. T., Mero, A., & Suominen, H.

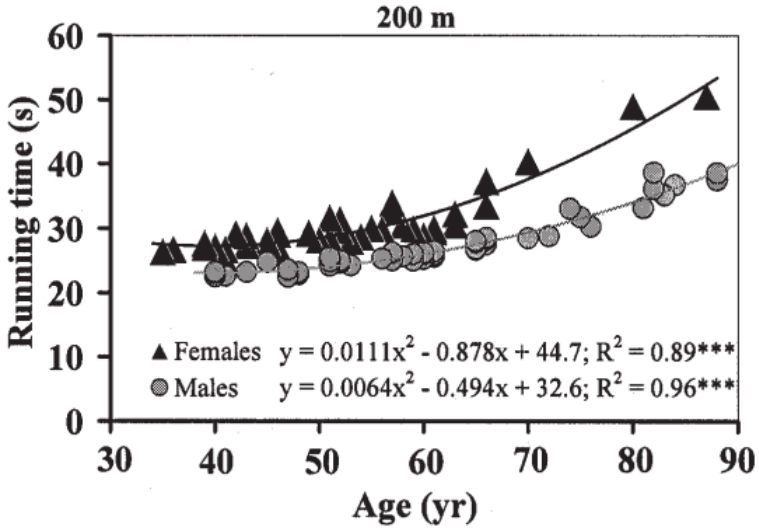
Medicine & Science in Sports & Exercise, 35(8), 1419-1428. 2003.



Age and sex differences in blood lactate response to sprint running in elite master athletes

Korhonen, M. T., Suominen, H., & Mero, A.

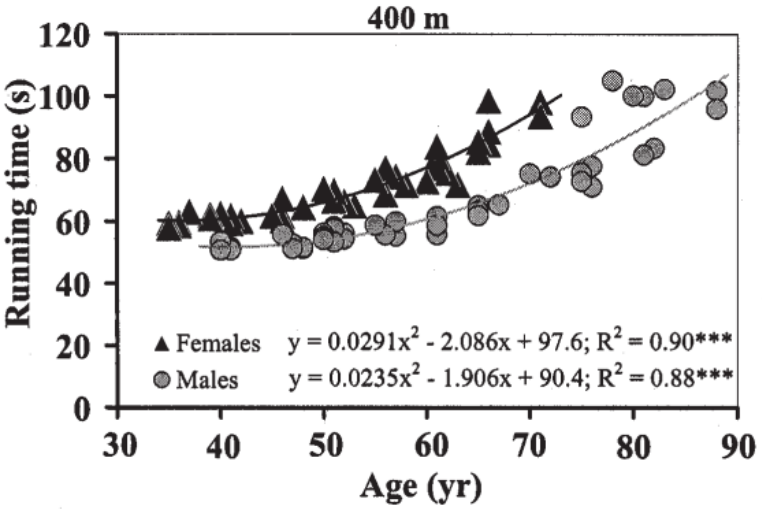
Canadian Journal of Applied Physiology, 30(6), 647-665. 2005.



Age and sex differences in blood lactate response to sprint running in elite master athletes

Korhonen, M. T., Suominen, H., & Mero, A.

Canadian Journal of Applied Physiology, 30(6), 647-665. 2005.



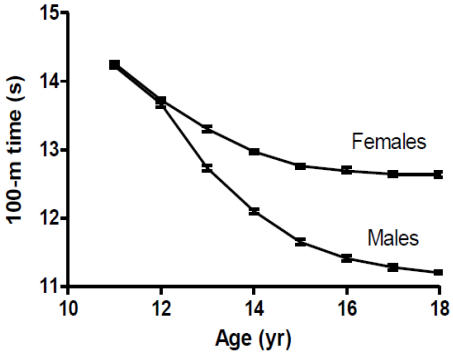
9.58 and 10.49: nearing the citius end for 100 m?

Haugen, T., Tønnessen, E., & Seiler, S.

International Journal of Sports Physiology and Performance, 10(2), 269-272. 2015.

Hombres y Mujeres tienen una proporción de Masa Muscular bastante similar hasta la edad de los 12-13 años

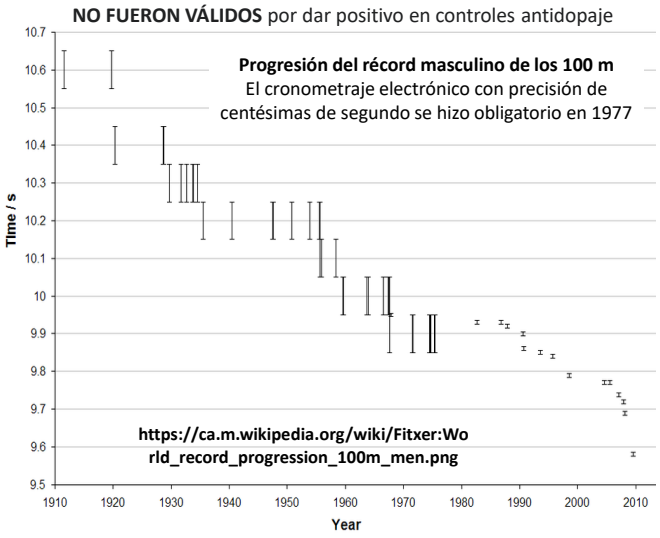
Más allá de esta edad, los hombres continúan aumentando su Masa Muscular, mientras que las mujeres muestran un desarrollo opuesto



- Estatura (Longitud de Pierna) limita considerablemente la Longitud de Zancada, de modo que el acondicionamiento de los velocistas sénior con una técnica optimizada debe centrarse principalmente en mejorar la Frecuencia de Zancada
- Más Masa Muscular significa más Potencia y, por lo tanto, mayores fuerzas de reacción con el suelo en el sprint.
- Sin embargo, a medida que el atleta aumenta el PC, el Coste Energético de acelerar esa masa también aumenta.
- Esto probablemente explica por qué el Índice de Masa Corporal (IMC) de velocistas élite muestra baja variabilidad y promedia 23,7±1,5 (♂) y 20,4±1,4 (♀)

EVOLUCIÓN DEL RECORD DEL MUNDO 100 METROS MASCULINOS (1912-2025)

Los tiempos de 9,83 (1987) y 9,79 (1988) de **Ben Johnson** **NO FUERON VÁLIDOS** por dar positivo en controles antidopaje



9.58	Usain BOLT	JAM	2009
9.69	Usain BOLT	JAM	2008
9.72	Usain BOLT	JAM	2008
9.74	Asafa POWELL	JAM	2007
9.77	Asafa POWELL	JAM	2006
9.77	Asafa POWELL	JAM	2006
9.77	Asafa POWELL	JAM	2005
9.79	Maurice GREENE	USA	1999
9.84	Donovan BAILEY	CAN	1966
9.85	Leroy BURRELL	USA	1994
9.86	Carl LEWIS	USA	1991
9.90	Leroy BURRELL	USA	1991
9.92	Carl LEWIS	USA	1988
9.93	Carl LEWIS	USA	1987
9.93	Calvin SMITH	USA	1983
9.95	Jim HINES	USA	1968
9.9h	Charlie GREENE	USA	1968
9.9h	Ronnie R. SMITH	USA	1968
9.9h	Jim HINES	USA	1968
10.0	Roger BAMBUCK	FRA	1968
10.0	Charlie GREENE	USA	1968
10.0	Oliver FORD	USA	1968
10.0	Paul NASH	RSA	1968
10.0	E. FIGUEROLA	CUB	1967
10.0	Jim HINES	USA	1967
10.0	Bob HAYES	USA	1964
10.0	Horacio ESTÉVES	VEN	1964
10.0	Harry JEROME	CAN	1960
10.0	Armin HARY	ALE	1960
10.1	Ray NORTON	USA	1959
10.1	Leamon KING	USA	1956
10.1	Leamon KING	USA	1956
10.1	Ira MURCHISON	USA	1956
10.1	Willie WILLIAMS	USA	1956
10.2	Bobby MORROW	USA	1956
10.2	Ira MURCHISON	USA	1956
10.2	Bobby MORROW	USA	1956
10.2	Ira MURCHISON	USA	1956
10.2	Bobby MORROW	USA	1956
10.2	Heinz FÜTTERER	ALE	1954
10.2	McDonald BAILEY	GB	1951
10.2	Barney EWELL	USA	1948
10.2	Lloyd LABEACH	PAN	1948
10.2	Harold DAVIS	USA	1941
10.2	Jesse OWENS	USA	1936
10.3	Takayoshi YOSHIOKA	JPN	1935
10.3	Ralph METCALFE	USA	1934
10.3	Ralph METCALFE	USA	1934
10.3	Christiaan BERGER	NED	1934
10.3	Eulace PEACOCK	USA	1934
10.3	Ralph METCALFE	USA	1933
10.3	Eddie TOLAN	USA	1932
10.3	Percy WILLIAMS	CAN	1930
10.4	Eddie TOLAN	USA	1929
10.4	Eddie TOLAN	USA	1929
10.4	Charley PADDOCK	USA	1921
10.6	Jackson SCHOLZ	USA	1920
10.6	Donald LIPPINCOTT	USA	1912

CARACTERIZACIÓN PRUEBAS DE VELOCIDAD POR NIVELES DE RENDIMIENTO & SEXO

Distancia	Élite	Internacional A	Internacional B	Nacional	Regional	Provincial
60 M	6.56	6.66	6.76	6.94	7.24	7.54
100 M	10.06	10.23	10.40	10.68	11.14	11.54
200 M	20.24	20.60	21.11	21.63	22.54	23.44
300 M	31.94	32.80	33.90	34.94	36.74	38.54
400 M	44.79	45.63	46.70	48.27	50.84	53.44
60 M	7.15	7.30	7.45	7.72	8.04	8.34
100 M	11.10	11.35	11.60	12.02	12.54	13.54
200 M	22.45	23.12	23.73	24.68	25.94	27.24
300 M	36.70	37.90	38.64	40.64	42.84	45.04
400 M	50.49	52.08	53.55	56.56	59.74	62.94

EQUIVALENCIAS DE VELOCIDAD (YARDAS VS. METROS)

Ensayo sobre equivalencias atléticas en velocidad
IV – Equivalencias Metros vs. Yardas y Diferentes Distancias (Adaptado)
Prudencio García & José María García
Atletismo Español, 31-33. 1994.

50 m	60 m	100 m
5.4	6.26	9.7
5.5	6.38	9.9
5.6	6.50	10.1
5.7	6.62	10.3
5.8	6.74	10.5
5.9	6.86	10.7
6.0	6.98	10.9
6.1	7.10	11.1
6.2	7.22	11.4
6.3	7.34	11.7
6.4	7.46	12.0
6.5	7.58	12.3
6.6	7.70	12.6

60 y	60 m
5.79	6.23
5.90	6.35
6.01	6.47
6.12	6.59
6.23	6.71
6.34	6.83
6.45	6.95
6.56	7.07
6.67	7.19
6.78	7.31
6.89	7.43
7.00	7.55
7.11	7.62

100 y	100 m
8.88	9.61
8.99	9.73
9.10	9.85
9.21	9.97
9.32	10.09
9.43	10.21
9.54	10.33
9.65	10.45
9.76	10.57
9.87	10.69
9.98	10.81
10.09	10.93
10.20	10.05

Development of Maximum Sprinting Speed
Frank W. Dick
Track Coach, 109, 3475-3480. 1989.

30m from Blocks	30m Flying	60m from Blocks	150m from Standing*	250m from Standing*	60m	100m	200m
3.58-3.61	2.48-2.51	6.22-6.27	14.87-14.97	25.47-25.72	6.49-6.53	10.0910.16	20.17-20.32
3.62-3.65	2.52-2.55	6.28-6.33	14.98-15.08	25.73-25.98	6.54-6.58	10.1710.24	20.33-20.48
3.66-3.69	2.56-2.59	6.34-6.39	15.09-15.19	25.99-26.24	6.59-6.63	10.2510.32	20.49-20.64
3.70-3.73	2.60-2.63	6.40-6.45	15.20-15.30	26.25-26.50	6.65-6.68	10.3310.40	20.65-20.80
3.74-3.77	2.64-2.67	6.46-6.51	15.31-15.42	26.51-26.76	6.69-6.73	10.4110.48	20.81-20.96
3.78-3.81	2.68-2.71	6.52-6.57	15.43-15.54	26.77-27.02	6.74-6.78	10.4910.56	20.97-21.12
3.82-3.85	2.72-2.75	6.58-6.63	15.55-15.66	27.03-27.28	6.79-6.83	10.5710.64	21.13-21.28
3.86-3.89	2.76-2.79	6.64-6.68	15.67-15.79	27.29-27.54	6.84-6.88	10.6510.72	21.29-21.44
3.90-3.93	2.80-2.83	6.70-6.75	15.80-15.92	27.55-27.80	6.89-6.93	10.7310.80	21.45-21.61
3.94-3.98	2.84-2.88	6.76-6.81	15.93-16.06	27.81-28.06	6.94-7.00	10.8110.90	21.62-21.88
3.99-4.03	2.89-2.93	6.82-6.87	16.07-16.20	28.07-28.31	7.01-7.06	10.9111.00	21.89-22.09
4.04-4.08	2.94-2.98	6.88-6.93	16.21-16.35	28.32-28.55	7.07-7.12	11.0111.09	22.10-22.30
4.09-4.13	2.99-3.03	6.94-6.99	16.36-16.51	28.56-28.80	7.13-7.18	11.1011.19	22.31-22.50
4.14-4.18	3.04-3.08	7.00-7.05	16.52-16.68	28.81-29.06	7.19-7.25	11.2011.29	22.51-22.72
4.19-4.24	3.09-3.14	7.06-7.12	16.69-16.86	29.07-29.34	7.26-7.32	11.3011.40	22.73-22.95
4.25-4.30	3.15-3.20	7.13-7.19	16.87-17.05	29.35-29.63	7.33-7.39	11.4111.51	22.96-23.19
4.31-4.36	3.21-3.26	7.20-7.26	17.06-17.25	29.64-29.91	7.40-7.46	11.5211.62	23.20-23.43
4.37-4.42	3.27-3.32	7.27-7.33	17.26-17.46	29.92-30.19	7.47-7.53	11.6311.73	23.44-23.69
4.43-4.48	3.33-3.38	7.34-7.40	17.47-17.67	30.20-30.50	7.54-7.61	11.7411.85	23.70-23.95
4.49-4.54	3.39-3.44	7.41-7.50	17.68-17.88	30.51-30.91	7.62-7.71	11.8612.01	23.96-24.27
4.55-4.60	3.45-3.50	7.51-7.60	17.89-18.09	30.92-31.32	7.72-7.81	12.0212.17	24.28-24.64
4.61-4.70	3.51-3.60	7.61-7.70	18.10-18.30	31.33-31.74	7.82-7.91	12.1812.33	24.65-24.98
4.71-4.80	3.61-3.70	7.71-7.80	18.31-18.55	31.75-32.15	7.92-8.02	12.3412.49	24.99-25.30
4.81-4.90	3.71-3.80	7.81-7.90	18.56-18.81	32.16-32.56	8.03-8.12	12.5012.65	25.31-25.65
4.91-5.00	3.81-3.90	7.91-8.00	18.82-19.12	32.57-33.06	8.13-8.25	12.6612.85	25.65-25.99
5.0-5.1	3.9-4.0	8.0-8.1	19.2-19.6	33.1-33.7	8.3-8.4	12.9-13.1	26.0-26.5
5.1-5.2	40.4.1	8.1-8.2	19.6-20.0	33.7-34.3	8.4-8.5	13.1-13.3	26.5-27.0
5.2-5.3	4.1-4.2	8.2-8.3	20.0-20.4	34.3-35.0	8.5-8.7	13.3-13.6	27.0-27.5
5.3-5.5	4.2-4.4	8.3-8.5	20.4-20.8	35.0-35.6	8.7-8.9	13.6-13.9	27.5-28.0

EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD ESPAÑOLA (HOMBRES)



AÑO	TOP-10	AÑO	TOP-10	AÑO	TOP-10
1995	10.46	**2006**	10.45	**2017**	10.41
1996	10.36	**2007**	10.54	**2018**	**10.32**
1997	10.35	**2008**	10.58	**2019**	10.40
1998	10.44	**2009**	10.52	**2020**	10.48
1999	10.40	**2010**	10.52	**2021**	10.36
2000	10.42	**2011**	10.51	**2022**	10.38
2001	10.42	**2012**	10.43	**2023**	10.36
2002	10.44	**2013**	10.38	**2024**	10.35
2003	10.52	**2014**	10.41	**2024**	
2004	10.47	**2015**	10.46	**2026**	
2005	10.55	**2016**	10.40	**2027**	

EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD ESPAÑOLA (MUJERES)

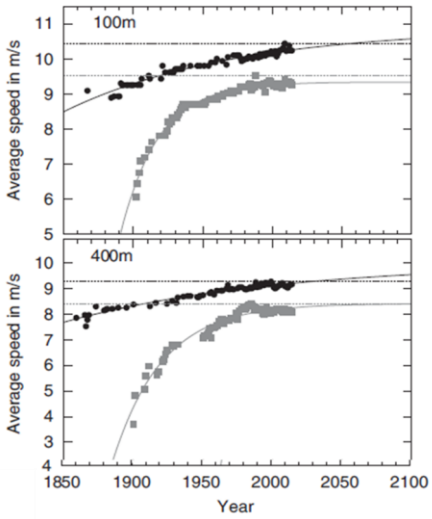


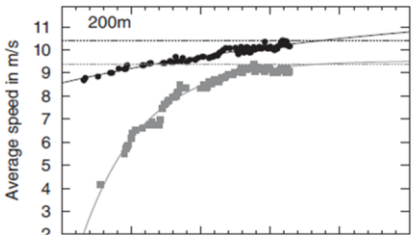
AÑO	TOP-10	AÑO	TOP-10	AÑO	TOP-10
1995	11.83	**2006**	11.83	**2017**	11.55
1996	11.74	**2007**	11.74	**2018**	11.44
1997	11.85	**2008**	11.68	**2019**	11.55
1998	11.81	**2009**	11.74	**2020**	11.75
1999	11.86	**2010**	11.80	**2021**	11.47
2000	11.89	**2011**	11.79	**2022**	**11.39**
2001	11.77	**2012**	11.92	**2023**	11.44
2002	11.80	**2013**	11.81	**2024**	11.43
2003	11.81	**2014**	11.78	**2024**	
2004	11.79	**2015**	11.77	**2026**	
2005	11.81	**2016**	11.57	**2027**	

One hundred and fifty years of sprint and distance running:
Past trends and future prospects

Martin Weiss, Alexandra Newman, Ceri Whitmore & Stephan Weiss

European Journal of Sport Science, http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2015.1042526. 2015



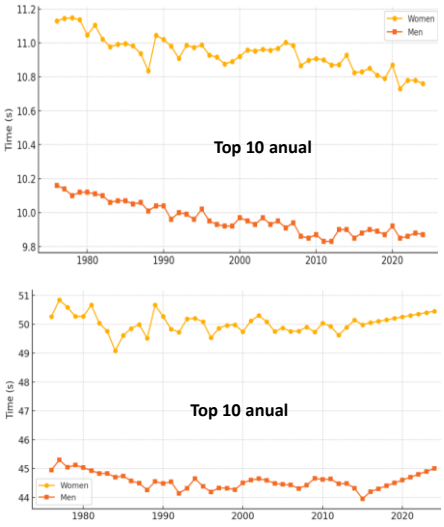


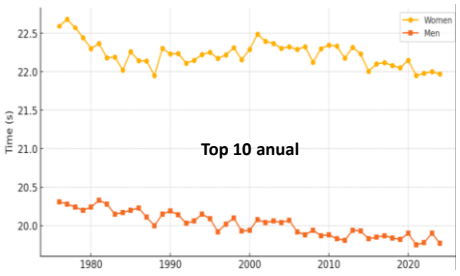
Se observa que, el rendimiento en carreras de velocidad de mujeres y hombres, mejora exponencialmente con el tiempo y converge a tasas anuales del 4 ± 3% y 2 ± 2% respectivamente, hacia sus límites asintóticos

The evolution of sprinting performance:
Technological and regulatory inflluences from 1976 to 2024

Skalski, D. T., Pronczuk, M., Losinska, K., Lulinska, E., Motowidlo, J., Šťastný, P., ... & Trybek, G.

Baltic Journal of Health and Physical Activity, 17(2). DOI 10.29359/BJHPA.17.2.02. 2025.

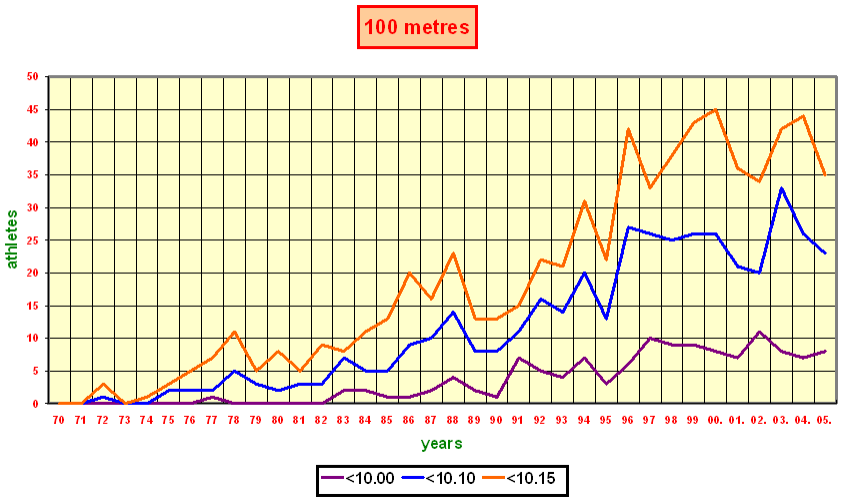




En las pruebas de velocidad (1976-2024), destacan la influencia de los avances tecnológicos y cambios regulatorios

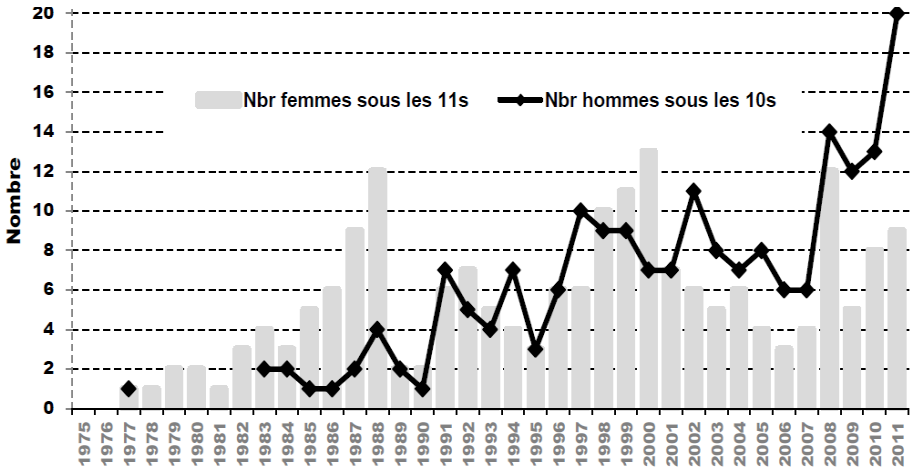
El sprint se ha visto significativamente influenciado por los avances en las superficies de las pistas, la tecnología del calzado, las metodologías de entrenamiento y los marcos regulatorios

Número de Corredores de 100 metros por Diferentes Niveles de Rendimiento <10.00" - <10.10" – 10.15" (1970-2005)



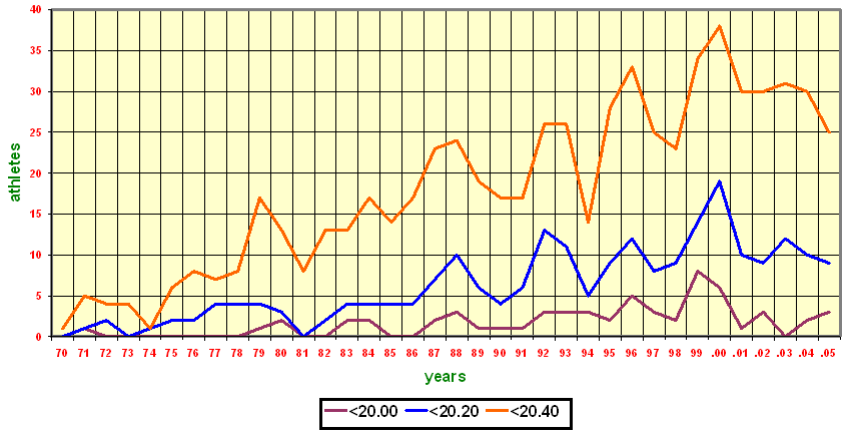
Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.

Número de velocistas masculinos (100 m) por debajo de los 10" & número de velocistas femeninas (100 m) por debajo de los 11"



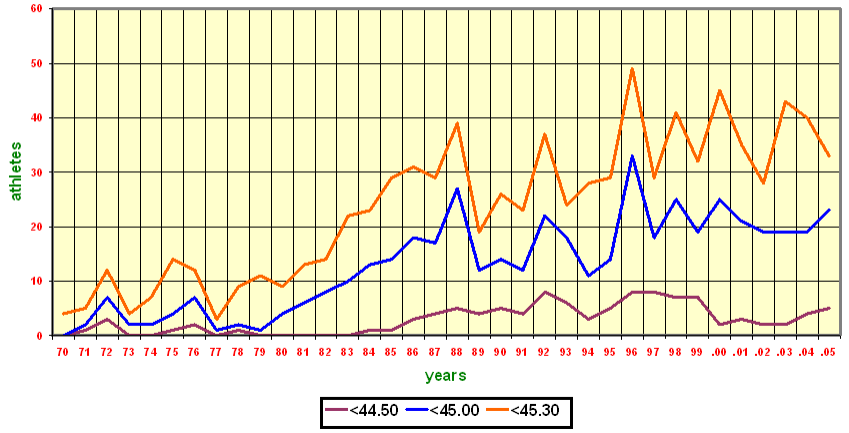
Número de Corredores de 200 metros por Diferentes Niveles de Rendimiento <22.00" - <22.20" – 20.40" (1970-2005)

200 metres



Número de Corredores de 400 metros por Diferentes Niveles de Rendimiento <44.50" - <45.00" – 45.30" (1970-2005)

400 metres



TOP-10 MEJORES JUNIORS (SUB20) ESPAÑOLES

HOMBRES (♂)

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
10.67	10.74	10.70	10.73	10.70	10.76	10.68	10.78	10.81	10.90
2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**
10.89	10.81	10.79	10.82	10.67	10.73	10.81	10.89	10.79	10.73
2015	**2016**	**2017**	**2018**	**2018**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
10.80	10.67	10.70	10.60	10.73	10.80	10.69	10.58	10.57	10.55

MUJERES (♀)

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
12.16	12.20	12.16	12.12	12.18	12.13	12.25	12.22	12.24	12.16
2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**
12.21	12.12	12.11	12.12	12.12	12.12	12.12	12.11	12.10	11.94
2015	**2016**	**2017**	**2018**	**2018**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
12.10	11.98	11.95	11.85	11.75	12.11	11.83	11.83	11.83	11.72

You can't teach speed: sprinters falsify the deliberate practice model of expertise

Michael P. Lombardo & Robert O. Deaner

PeerJ, *2*, e445. DOI 10.7717/peerj. 445. 2014.

MODELO DE PRÁCTICA DELIBERADA

(MPD)

Sostiene que el talento no existe o que su contribución al rendimiento es insignificante

MUESTRAS

Estudios 1 y 2: 15 campeones olímpicos y 20 más rápidos *all-time* EE.UU.

Estudio 3, velocistas (n=20) y lanzadores (n=44) clasificados para campeonatos universitarios de EE.UU.

En todos los casos, los velocistas eran excepcionales antes de iniciar el entrenamiento, y la mayoría alcanzó rápidamente el estatus mundial

(Mediana del Estudio 1 = 3 años)

(Mediana del Estudio 2 = 7,5)

Name	Year of Birth	Age when superior sprinting speed first recognized	Age at start of DP[c]	Fastest time at age 19	Fastest time	Percent improvement[a]	Years from start of DP to world class status[b]
T. Gay	1982	13	13	10.27	9.69	5.64	9
M. Greene	1974	8	8	10.19	9.79	3.93	13
L. Burrell	1967	14	14	10.46	9.85	5.83	7
J. Gatlin	1982	14	14	10.08	9.85	2.28	6
C. Lewis[d]	1961	NA[e]	NA	10.00	9.86	1.40	NA
S. Crawford	1978	12	12	10.51	9.88	5.99	11
W. Dix	1986	9	14	10.06	9.88	1.79	4
R. Bailey	1989	15	15	10.28	9.88	3.89	5
T. Padgett	1986	NA	NA	10.00	9.89	1.10	NA
D. Patton	1977	NA	NA	NA	9.89	NA	NA
D. Mitchell	1966	6	6	10.21	9.91	2.94	15
L. Scott	1980	NA	NA	10.29	9.91	3.69	NA
A. Cason	1969	NA	NA	10.08	9.92	1.59	NA
J. Drummond	1968	9	9	10.25	9.92	3.22	14
T. Montgomery	1975	NA	NA	10.11	9.92	1.88	NA
T. Harden	1974	NA	NA	10.32	9.92	3.88	NA
C. Smith	1961	NA	NA	10.17	9.93	2.36	NA
M. Marsh	1967	11	11	10.22	9.93	2.84	8
I. Williams	1985	16	16	10.29	9.93	3.50	7
B. Williams	1978	16	16	10.45	9.94	4.88	4

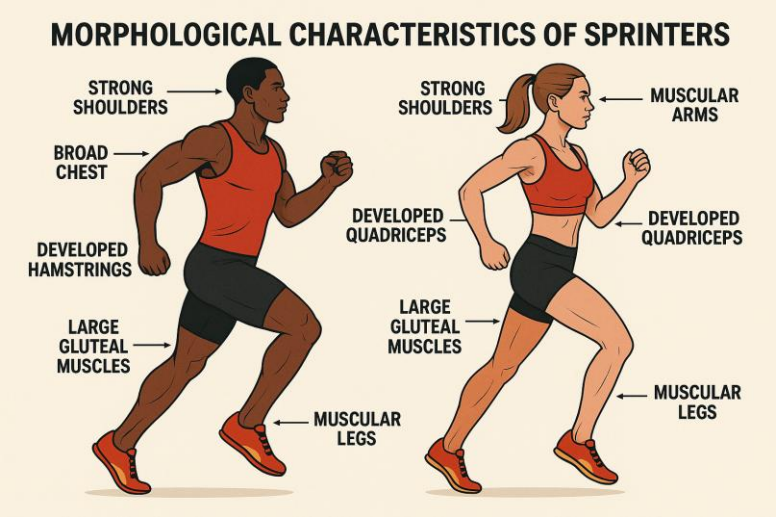
DIFERENCIAS ENTRE SEXOS
RECORD MUNDIAL – ESPAÑOL
(31.12.2024)

	HOMBRES - MUJERES MUNDIAL			HOMBRES - MUJERES ESPAÑOL		
Distancia	Hombres	Mujeres	Diferencia	Hombres	Mujeres	Diferencia
60 Mts	6.34 9.46 m/s	6.92 8.67 m/s	8.35%	6.52 9.20 m/s	7.16 8.38 m/s	8.91%
100 Mts	9.58 10.24 m/s	10.49 9.53 m/s	6.83%	10.06 9.94 m/s	11.06 9.04 m/s	9.05%
200 Mts	19.19 10.42 m/s	21.34 9.37 m/s	10.08%	20.04 9.98 m/s	22.19 9.01 m/s	9.72%
400 mts	43.03 9.30 m/s	47.60 8.40 m/s	9.68%	44.69 8.95 m/s	49.67 8.05 m/s	10.06%

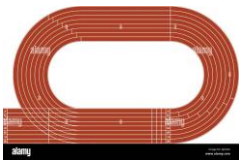
DIFERENCIAS EN LAS PRUEBAS DE VELOCIDAD
RECORD MUNDIAL – ESPAÑOL
(31.12.2024)

	RECORDS HOMBRES			RECORDS MUJERES		
Distancia	Mundo	España	Diferencia	Mundo	España	Diferencia
60 Mts	6.34 9.46 m/s	6.52 9.20 m/s	2.75%	6.92 8.67 m/s	7.16 8.38 m/s	3.34%
100 Mts	9.58 10.24 m/s	10.06 9.94 m/s	2.93%	10.49 9.53 m/s	11.06 9.04 m/s	5.14%
200 Mts	19.19 10.42 m/s	20.04 9.98 m/s	4.22%	21.34 9.37 m/s	22.19 9.01 m/s	3.84%
400 mts	43.03 9.30 m/s	44.69 8.95 m/s	3.76%	47.60 8.40 m/s	49.67 8.05 m/s	4.17%

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS VELOCISTAS



CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS VELOCISTAS


- **Estatura Media-Alta:** suele favorecer zancadas más largas, aunque con variaciones según especialidad (100 m vs. 200 m).
- **Piernas Largas y Musculosas:** especial desarrollo de los músculos de muslo y pantorrilla.
- **Baja masa grasa:** 5-8% en hombres y 10-15% en mujeres.
- **Caderas y Glúteos potentes:** fundamentales para la extensión de cadera en la fase de impulso.
- **Tendones Largos, Rígidos y Elásticos:** como el tendón de Aquiles, que almacena y libera energía elástica en cada zancada.
- **Tronco Estable y Hombros Fuertes:** contribuyen a la postura erguida y a la coordinación del braceo.

LA TECNOLOGÍA Y EL DESARROLLO DE LA VELOCIDAD

Evaluación de la salida, velocidad de Carrera y composición corporal de velocistas alto nivel

Van Copenelle, H., Delecruse, D. & Goris M.

Cuadernos de Atletismo (Confreso E.A.C.A. Bad Blankenburg, 24, 109-129. 1989.

PARÁMETRO	HOMBRES G-1 (12)	HOMBRES G-2 (12)	DIFERENCIA
MM-100 m	10.72 ± 0.2	1.51 ± 0.2	0.79*
Altura (cm)	174.4 ± 5.8	181.7 ± 5.6	2.7
PC (kg)	75.08 ± 8.0	72.9 ± 6.2	2.2
Grasa (%)	6.81 ± 1.5	8.31 ± 1.4	1.5*
Masa Magra (kg)	66.94 ± 5.9	66.81 ± 5.2	3.13
PARÁMETRO	**MUJERES G-1 (12)**	**MUJERES G-2 (12)**	**DIFERENCIA**
MM-100 m	12.16 ± 0.5	13.05 ± 0.3	0.89**
Altura (cm)	168.8 ± 8.3	170.1 ± 3.3	1.3
PC (kg)	62.27 ± 4.6	57.51 ± 4.6	4.76**
Grasa (%)	14.97 ± 1.8	18.05 ± 1.8	3.08*
Masa Magra (kg)	52.92 ± 3.7	46.49 ± 3.5	5.93**

PERFIL MORFOLÓGICO
VELOCISTAS ÉLITE MASCULINOS

Prueba	Estatura (tendencia general)	PC / IMC	Complexión & Perfil Muscular	Qué cambia con la distancia
60 m	Baja–media dentro de los velocistas	IMC más alto dentro de los sprints (orientado a potencia)	Piernas muy musculadas; extensores cadera voluminosos; alto % de fibras rápidas	Optimizado para la **Aceleración**; palancas compactas favorecen alta velocidad angular de piernas.
100 m	Media (rango amplio)	PC ≈ 75 kg; **IMC óptimo ≈ 23–24**	Muslos/glúteos potentes; suficiente masa en tren superior para rigidez	Equilibrio entre salida, **Velocidad Máxima** y poca **Resistencia a Velocidad**.
200 m	Media–alta	PC similar al 100 m; **IMC ≈ 23**	Palancas algo más largas; algo más esbelto que los especialistas de 60–100 m	Más énfasis en **Velocidad Máxima** y carrera en **curva**; ligeramente menos volumen.
400 m	Los más altos del grupo de sprint (promedio)	PC ≈ 74–75 kg; **IMC ≈ 22–23**	Más esbeltos; algo menos volumen en piernas; mayor soporte oxidativo	Mayor **resistencia a la velocidad** favorece un perfil más alto y esbelto.

PERFIL MORFOLÓGICO
VELOCISTAS ÉLITE FEMENINOS

Prueba	Estatura	PC / IMC	Complexión & Perfil Muscular	Qué cambia con la distancia
60 m	Baja–media	IMC más alto de los sprints femeninos (sesgo de potencia)	Volumen marcado en muslos/glúteos; grasa corporal muy baja vs. población	Centrado en la **aceleración**; palancas compactas facilitan la **FZ**
100 m	Media	IMC **<20**; algo mayor que en 200–400	Miembros inferiores potentes; tronco robusto para rigidez	Mezcla de **salida** y **velocidad máxima**; variabilidad morfológica reducida dentro de rangos élite estrechos.
200 m	Media–alta	IMC ligeramente inferior al del 100 m	Ligero desplazamiento hacia palancas más largas; aún con alto volumen muscular	Más énfasis en **Velocidad Máxima** y **Curva**; algo más esbelta.
400 m	Las más altas entre las velocistas	IMC más bajo dentro de los sprints (magras y musculadas)	Tren superior más ligero; mayor soporte oxidativo; pliegues cutáneos bajos	La alta **Resistencia a la Velocidad** selecciona perfiles más altos y esbeltos.

PROTOTIPOS DE CORREDORES DE 100-200 METROS

Ben Johnson (60-100 metros)

C. Lewis (100-200 metros)



FUERZA - RESISTENCIA

↓ ↓ ↓ ↓

Explosivos - Reactivos **Larga - Corta**





PROTOTIPO DE CORREDORES DE 200-400 METROS

Michael Johnson (200-400 metros)

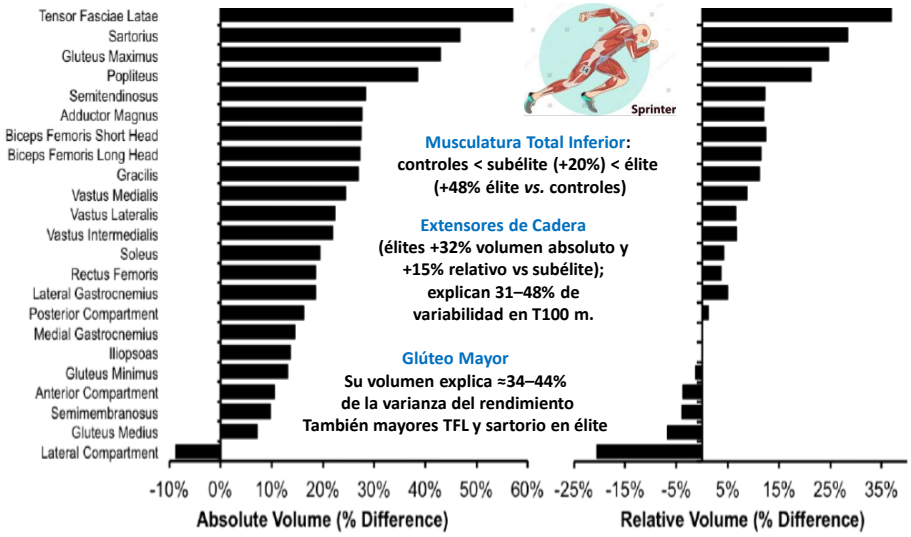
Alberto Juantorena (400-800 metros)

RÁPIDOS - RESISTENTES

THE MUSCLE MORPHOLOGY OF ELITE SPRINT RUNNING

Miller, R., Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maeo, S., Lanza, M. B., Johnston, M., ... & Folland, J. American College of Sports Medicine (ACSM). 2020.

MUESTRA: 5 élite (100 m: 10.10 ± 0.07 s); 26 subélite (100 M: 10.80 ± 0.30 s) y 11 controles



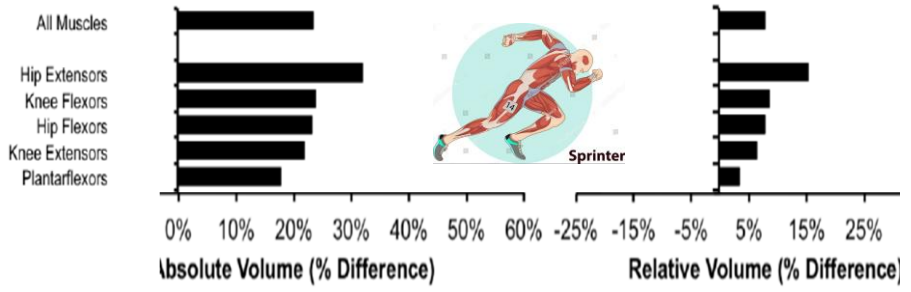
THE MUSCLE MORPHOLOGY OF ELITE SPRINT RUNNING

Miller, R., Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maeo, S., Lanza, M. B., Johnston, M., ... & Folland, J. American College of Sports Medicine (ACSM). 2020.

Diferencias (%) en los volúmenes musculares absolutos y relativos de todos los músculos, cinco grupos musculares funcionales y 23 músculos/compartimentos entre Velocistas de Élite (n=5) y Velocistas Sub-Élite (n=26)

Un valor positivo indica un mayor volumen en los velocistas de élite

Los grupos musculares funcionales y los músculos individuales se ordenan según la magnitud de las diferencias porcentuales de volumen muscular absoluto



THE MUSCLE MORPHOLOGY OF ELITE SPRINT RUNNING

Miller, R., Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maeo, S., Lanza, M. B., Johnston, M., ... & Folland, J. American College of Sports Medicine (ACSM). 2020.

RELACIONES ENTRE EL RENDIMIENTO EN SPRINT Y EL VOLUMEN MUSCULAR

Correlaciones de moderadas a fuertes con el volumen muscular absoluto de todos los músculos combinados (r= -0,629; P < 0,001), cada uno de los 5 grupos musculares (r= -0,495 a -0,689; P ≤ 0,05;), así como 18 de los 23 músculos/compartimentos individuales (r= -0,409 a -0,662; P ≤ 0,05 para todos)

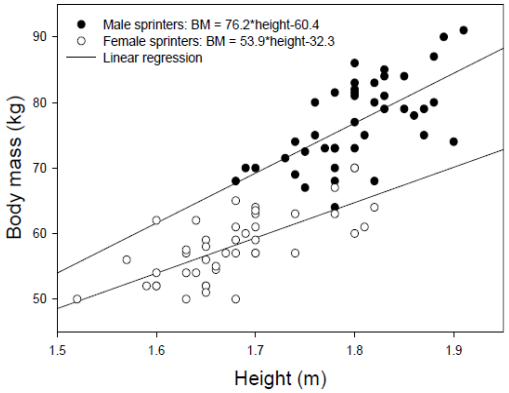
Solo 5 músculos no se correlacionaron con el T100

Muscle Group / Muscle	Absolute Muscle Volume (cm^3)	Relative Muscle Volume ($cm^3.kg^{-1}$)
All Muscles	-0.629**	-0.422*
Hip Flexors	-0.563 **	-0.299
Hip Extensors	-0.689 ***	-0.560 **
Knee Flexors	-0.682 ***	-0.522 **
Knee Extensors	-0.495 **	-0.178
Plantarflexors	-0.537 **	-0.309
Iliopsoas	-0.442 *	-0.120
Sartorius	-0.639 ***	-0.484
Tensor Fasciae Latae	-0.547 **	-0.454
Adductor Magnus	-0.582 **	-0.289
Gracilis	-0.564 **	-0.377
Gluteus Maximus	-0.662 ***	-0.580 *
Gluteus Medius	-0.227	0.152
Gluteus Minimus	-0.254	0.040
Rectus Femoris	-0.409 *	-0.090
Vastus Lateralis	-0.475 *	-0.199
Vastus Intermedius	-0.443 *	-0.154
Vastus Medialis	-0.431 *	-0.114
Semimembranosus	-0.478 *	-0.194
Semitendinosus	-0.530 **	-0.342
Biceps Femoris Long Head	-0.475 *	-0.190
Biceps Femoris Short Head	-0.511 *	-0.341
Popliteus	-0.435 *	-0.260
Lateral Gastrocnemius	-0.578 **	-0.398
Medial Gastrocnemius	-0.437 *	-0.230
Soleus	-0.474 *	-0.196
Anterior Compartment	-0.272	0.092
Lateral Compartment	-0.192	0.045
Posterior Compartment	-0.290	0.014

Característica	100 m élite	200 m élite	400 m élite
Volumen Piernas	Muy Elevado Hip Extensors (>32% absoluta vs. Subélite) (>15% relativa vs. subélite) Glúteo Mayor (>45 %)	Similar al 100 m, con ligera reducción relativa	Generalmente menos masa muscular excesiva
Músculos Clave	TFL, Sartorio, Glúteo Mayor, Semitendinoso, Biceps Femoral, Vastos	Sin estudios morfológicos específicos encontrados	No específicos, aunque el estudio croata señala diferencias en proporciones antropométricas
Relación masa muscular/ rendimiento	Volumen del glúteo mayor explica entre 34–44 % de variabilidad en T100	–	–
Proporciones Óseas y Pie	–	–	Antepié (metatarsianos y falanges 1ª–2ª) relativamente más largos, correlacionado con mejor rendimiento
Somatotipo / Composición	Mesomórfico robusto; bajo %grasa; mayor musculatura	Similar al de 100 m; Músculo y Baja Grasa	Mesomórfico, pero menos voluminoso que sprinters cortos; más estilizado
Estructura Corporal General	Compactos, musculosos, piernas poderosas	Intermedio; fuerte y con algo más de resistencia	Mayor relación entre tibia/fémur y antepié más largo, más económico

Anthropometric comparison of world-class Sprinters and normal populations
Niels Uth
Journal of Sports Science and Medicine, 4, 608-616. 2005.

Se compararon los datos de Estatura y PC de 42 ♂ y 44 ♀ de los Top-50 atletas de 100 m All Time con los de residentes estadounidenses (724 ♂ y 663 ♀) y daneses (1336 ♂ y 1306 ♀) de entre 20 y 30 años



Masa corporal (MC) vs. altura para velocistas masculinos y femeninos de clase mundial

Los velocistas, generalmente, tienen un PC menor que la población normal

La variación del PC entre velocistas es menor que la variación entre población normal

Las características antropométricas típicas de los velocistas podrían explicarse, en parte, por la influencia que estas tienen en la:

FUERZA MUSCULAR &

LONGITUD DE ZANCADA

A pilot study on a potential relationship between leg bone length and sprint performance in sprinters; are there any event-related differences in 100-m and 400-m sprints
Tomita, D., Suga, T., Terada, M., Tanaka, T., Miyake, Y., Ueno, H., ... & Isaka, T.
BMC Research Notes, 13(1), 297. https://doi.org/10.1186/s13104-020-05140-z. 2020.

CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS

(Estatura, PC e Índice de Masa Corporal)

no difirieron entre los corredores de 100 y 400 m

PATÁMETRO	100 M	400 M	F	P	Cohen
Estatura (cm)	**173.2** ± 4.0	±	0.088	0.437	0.198
Peso Corporal (kg)	**64.6** ± 5.2	±	1.462	0.173	0.384
BMI (kg/m^2)	**21.5** ± 1.3	**21.1** ± 0.9	3.925	0.232	0,358

A study on the key predictors of 100m sprint performance: identification and ranking

Predescu, A. I., Mihăilescu, L. N., Georgescu, L., Macri, A. C., Constantin, A. M. & Mihai, I. Pedagogy of Physical Culture and Sports, 29(2), 142-150. 2025.

Correlaciones entre Rendimientos en Velocidad (T-100) y las Variables Antropométricas

Anthropometric Indices	Pearson (r)	p-value	95% CI Lower	95% CI Upper	Anthropometric Indices	Pearson (r)	p-value	95% CI Lower	95% CI Upper
H (cm)	-0.555	0.0766	-0.853	-0.068	RTC (cm)	-0.499	0.1180	-0.919	0.474
T (cm)	-0.604	0.0489	-0.858	-0.122	LCC (cm)	-0.642	0.0334	-0.925	0.097
BM (kg)	-0.752	0.0076	-0.948	-0.395	RCC (cm)	-0.642	0.0334	-0.925	0.097
LLL (cm)	-0.314	0.3463	-0.827	0.337	LAC (cm)	-0.780	0.0046	-0.938	-0.251
LFL (cm)	-0.657	0.0281	-0.873	-0.330	RAC (cm)	-0.780	0.0046	-0.938	-0.251
RFL (cm)	-0.657	0.0281	-0.873	-0.330	BiaD (cm)	-0.752	0.0075	-0.960	-0.463
LTC (cm)	-0.515	0.1053	-0.930	0.298	TrohD (cm)	-0.801	0.0030	-0.965	-0.321

Note: H - Height; T - Torso Length; BM - Body Mass; LLL - Lower Limb Length; L/RFL - Left/Right Foot Length; L/RTC - Left/Right Thigh Circumference; L/R CC - Left/Right Calf Circumference; L/R AC - Left/Right Ankle Circumference; BiaD - Biacromial Diameter; TrohD - Bitrochanteric Diameter; CI - Confidence

Effect of leg length on running speed of sports and health sciences students in Indonesia: A meta-analysis study

Kriswanto, E. S., Pambudi, A. F., Retnawati, H., Arifin, S., & Putranta, H. Journal of Physical Education and Sport, 21(5), 2697-2705. 2021.

Cada parte del cuerpo humano desempeña un papel importante, aunque diferente e individualizado, en el apoyo a las acciones técnicas de los diferentes deportes, incluyendo el sprint

Una de las partes del cuerpo humano que desempeña un papel importante en las carreras de velocidad es la longitud de las piernas.

La longitud de piernas (medida desde la espina ilíaca anterosuperior hasta el maléolo medial) muestran una relación con velocidad en 100 m (r=0,6801; p<0.0001; IC: 0,5759 a 0,7626)

Diferentes estudios muestran que la **Fuerza** y la **Longitud de las Piernas** presentan una relación positiva con la velocidad de carrera y una relación entre la **longitud del pie** y la **frecuencia**, lo que a su vez afectaba la velocidad y la eficiencia al caminar o correr

LONGITUD DE PIERNAS VS. RENDIMIENTO EN PRUEBAS DE VELOCIDAD

Piernas más Cortas: favorecen la aceleración y la frecuencia de zancada, ideales para pruebas explosivas (60–100 m).

Piernas más Largas: favorecen la amplitud y economía de carrera, con ventaja en distancias más prolongadas (200–400 m).

Distancia	Factores clave	Atletas con piernas más cortas	Atletas con piernas más largas
60 m	Salida, aceleración, frecuencia de zancada	Ventaja: mayor cadencia, explosividad en la salida	Desventaja: menor frecuencia, más tiempo para alcanzar velocidad
100 m	Aceleración + máxima velocidad	Muy eficientes en la fase inicial, buena frecuencia de pasos	Mejor rendimiento en la fase de velocidad punta gracias a la amplitud de zancada
200 m	Mantener velocidad, eficiencia de zancada	Pueden perder eficiencia al alargar la distancia	Ventaja: menos apoyos, mejor conservación de la velocidad
400 m	Resistencia a la velocidad, economía de carrera	Pueden fatigar antes por mayor número de apoyos	Ventaja clara: zancada amplia, mejor aprovechamiento de la energía en el tramo largo

Effect of leg length on running speed of sports and health sciences students in Indonesia: A meta-analysis study

Kriswanto, E. S., Pambudi, A. F., Retnawati, H., Arifin, S., & Putranta, H. Journal of Physical Education and Sport, 21(5), 2697-2705. 2021.

Correlación entre la longitud de las piernas y la velocidad de carrera

No.	Studies	r	N	Y (ES)	Vy (SE)	T^2	$Vy+T^2$	W	WY
1.	Purwanto, 2017	0.599	30	0.691	0.192	0.390	0.582	2.343	1.619
2.	Hijir, 2017	0.756	11	0.987	0.354	0.390	0.744	1.942	1.917
3.	Pradana, 2013	0.834	20	1.201	0.243	0.390	0.633	2.229	2.677
4.	Hairunnisha, et al., 2019	0.637	30	0.753	0.192	0.390	0.582	2.343	1.764
5.	Yani & Hasri, 2020	0.923	143	1.609	0.085	0.390	0.475	2.519	4.053
6.	Sorongan, 2014	0.262	40	0.268	0.164	0.390	0.554	2.399	0.644
7.	Amin et al., 2012	0.753	30	0.980	0.192	0.390	0.582	2.343	2.295
8.	Rosti et al., 2020	0.224	35	0.228	0.177	0.390	0.567	2.375	0.541
9.	Sujiono & Marani, 2019	0.411	30	0.437	0.192	0.390	0.582	2.343	1.023
10.	Ad'dien, 2010	0.428	60	0.457	0.132	0.390	0.522	2.455	1.123
11.	Fahrizqi, 2018	0.834	45	1.201	0.154	0.390	0.544	2.418	2.904
12.	Wardimanf & Hermanzoni, 2019	0.590	22	0.678	0.229	0.390	0.619	2.260	1.532
13.	Alsah et al., 2016	0.410	30	0.436	0.192	0.390	0.582	2.343	1.020
14.	Pratomo & Gumantan, 2020	0.707	48	0.881	0.149	0.390	0.539	2.427	2.138
15.	Sihombing, 2019	0.740	30	0.950	0.192	0.390	0.582	2.343	2.227
16.	Jusrianto, 2020	0.532	30	0.593	0.192	0.390	0.582	2.343	1.389
17.	Pinem & Situmeang, 2021	0.72	50	0.908	0.146	0.390	0.536	2.432	2.208
18.	Datang & Pribadi, 2020	0.49	27	0.536	0.204	0.390	0.594	2.318	1.242
19.	Rudianto et al., 2020	0.362	15	0.379	0.289	0.390	0.679	2.113	0.801
20.	Wafiudin et al., 2019	0.642	56	0.762	0.137	0.390	0.527	2.447	1.863
21.	Uket et al., 2017	0.59	17	0.678	0.267	0.390	0.657	2.168	1.469
22.	Mustakim, 2019	0.975	50	2.185	0.146	0.390	0.536	2.432	5.314
23.	Haryanto & Fataha, 2021	0.672	13	0.814	0.316	0.390	0.706	2.042	1.663
24.	Hermawan & Tarsono, 2018	0.775	30	1.033	0.192	0.390	0.582	2.343	2.419
		Total						**95**	**91**

A pilot study on a potential relationship between leg bone length and sprint performance in sprinters; are there any event-related differences in 100-m and 400-m sprints

Tomita, D., Suga, T., Terada, M., Tanaka, T., Miyake, Y., Ueno, H., ... & Isaka, T.
BMC Research Notes, 13(1), 297. https://doi.org/10.1186/s13104-020-05140-z. 2020.

No se observan correlaciones significativas entre longitudes absolutas y relativas del fémur y tibia con las puntuaciones de la IAAF en velocistas de 100 y 400 m.

La relación entre la longitud tibial y longitud femoral se correlacionó significativamente con la puntuación de la IAAF en velocistas de 400 m (r = 0,445; p = 0,018), pero no en velocistas de 100 m.

	100-m sprinters	400-m sprinters	*F*	*P*
Body height, cm	173.2 ± 4.0	172.4 ± 4.1	0.088	0.437
Body weight, kg	64.6 ± 5.2	62.8 ± 4.1	1.462	0.173
Body mass index, kg/m²	21.5 ± 1.3	21.1 ± 0.9	3.925	0.232
Leg bone length				
Femur, mm	432.0 ± 15.6	430.8 ±v12.2	1.588	0.737
Tibia, mm	359.7 ± 14.7	357.9 ± 13.0	1.678	0.620
Relative leg bone length				
Femur, % of body height	24.9 ± 0.6	25.0 ± 0.4	3.868	0.696
Tibia, % of body height	20.8 ± 0.6	20.8 ± 0.6	0.210	0.984
Total leg bone length				
Femur + Tibia, mm	791.7 ± 29.5	788.6 ± 23.2	2.311	0.663
Relative total leg bone length				
Femur + Tibia, % of body height	45.7 ± 1.1	45.7 ± 0.8	3.466	0.850
Ratio between leg bones				
Tibia/Femur, mm/mm	0.83 ± 0.02	0.83 ± 0.02	3.626	0.670

La longitud de los huesos de la pierna podría desempeñar un papel importante en lograr un rendimiento mayor en carreras de 400 m.



EFECTO DE LA LONGITUD DEL PIE EN LA VELOCIDAD DE CARRERA



MECÁNICA DE LA PALANCA:

El pie actúa como palanca durante el impulso. Un brazo de palanca del antepié más corto (distancia desde articulación del tobillo hasta punta del pie) permite una mayor velocidad angular en la flexión plantar o extensión del tobillo, favoreciendo la velocidad de carrera.

Consecuencias:

Pies más cortos: mejores para el sprint (menor momento de inercia, rotación más rápida).

Pies más largos: mejores para carreras de resistencia (mayor almacenamiento de energía elástica en la fascia plantar, mayor economía).

Evidencia:

Diferentes estudios han demostrado que los velocistas de élite suelen tener, en proporción, pies relativamente más cortos en comparación con la longitud de sus piernas y la estatura

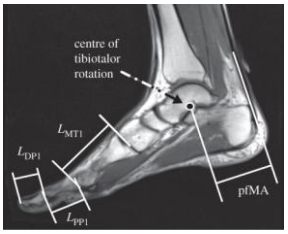
EFECTO DE LA LONGITUD DEL PIE EN LA VELOCIDAD DE CARRERA

Rasgo Morfológico	Velocistas (élite)	Fondistas (élite)	Evidencia Científica
Longitud del Pie (relativa a pierna/altura)	Tienden a ser: **Proporcionalmente más cortos** → menor brazo de palanca en metatarso → mayor velocidad de aplicación de fuerza	Tienden a ser: Más relativamente largos → mayor almacenamiento de energía elástica y mejor economía	Lee & Piazza 2009 Suzuki et al. 2014
Tendón de Aquiles	Largo y rígido → transmite fuerza explosiva	Largo, pero algo más flexible → mejor para elasticidad y eficiencia	Arampatzis et al. 2006
Masa muscular	Gran volumen en Glúteos, Isquiotibiales y Cuádriceps → potencia y aceleración	Más reducida, con fibras lentas predominantes → eficiencia	Estudios de Composición Corporal (MRI, DEXA)



Ankle joint mechanics and foot proportions differ between human sprinters and non-sprinters

Baxter, J. R., Novack, T. A., Van Werkhoven, H., Pennell, D. R., & Piazza, S. J. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 279(1735), 2018-2024. 2012.



Tamaño & Proporciones del pie (no solo longitud de la pierna) influyen significativamente en la capacidad de desarrollar altas velocidades



- **Velocistas presentan un Talón proporcionalmente más corto (6.2%) que los no velocistas.**
- **Por el contrario, los huesos del antepié son más largos (1er Metatarso: 4.3%)**
- **Esto genera un brazo de palanca más corto en la articulación metatarsofalángica, reduciendo el momento de resistencia.**
- **Como consecuencia, los velocistas pueden:**
  - Aplicar fuerzas más rápidamente.
  - Generar mayor potencia en la extensión del tobillo durante el empuje.
- **No velocistas, al tener un antepié relativamente más largo, muestran mecánicas menos favorables para generar velocidad explosiva.**

BUILT FOR SPEED:
musculoskeletal structure and sprinting ability
Sabina S. M. Lee. & Stephen J. Piazza
Journal of Experimental Biology, 212(22), 3700-3707. 2009.

MUESTRA:

12 velocistas universitarios y 12 atletas de misma Estatura que no competían

(**Edad**: 19,4±1.2 vs. 25.4.9±2.8; **Estatura**: 181,4±8.0vs. 180.9±7.6 ; MM-100m: 10.7 vs. 12.3 s)

Un brazo de palanca del Tendón de Aquiles grande mejora la ventaja mecánica del Tríceps Sural (Gemelos-sóleo), pero también genera una mayor velocidad de acortamiento durante la flexión plantar, lo que reduce la capacidad de generación de fuerza de los músculos Flexores Plantares

Brazos de palanca tendón de Aquiles de velocistas: 25 % más pequeño que en no velocistas (P<0,001). Los fascículos de velocistas fueron 11% más largos (P<0,024)

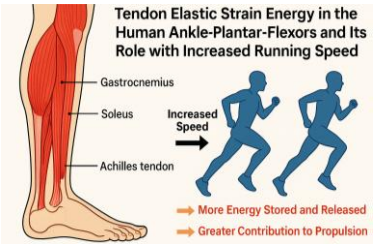
Velocistas: dedos más largos (P<0,032) y pantorrillas más cortas (P<0,026) que no velocistas

Dedos más largos prolongaron el **Tiempo de Contacto**, dando mayor tiempo para la aceleración por efecto de la fuerza de reacción propulsiva del suelo

El brazo de palanca, de la fuerza de reacción del suelo, que resiste el momento del flexor plantar muscular durante el impulso al final fase de apoyo está limitado, en parte, por la estructura esquelética del pie

Tendon elastic strain energy in the human ankle plantar-flexors and its role with increased running speed
Lai, A., Schache, A. G., Lin, Y. C., & Pandy, M. G.
Journal of Experimental Biology, 217(17), 3159-3168. 2014.

Al aumentar la velocidad de carrera, el Tendón de Aquiles almacena y libera mucha más energía elástica, reduciendo la carga directa sobre los músculos (aunque activando la respuesta refleja) permitiendo correr más rápido con mayor eficiencia



Mayor Velocidad → más energía elástica:

•A medida que la velocidad aumenta, los tendones plantares (sobre todo el de Aquiles) almacenan y liberan más energía elástica.

•Permite que los músculos trabajen de forma más eficiente, reduciendo el coste metabólico.

El tendón actúa como "resorte":

•Tendón de Aquiles se estira y después libera esa energía, contribuyendo a la propulsión sin requerir tanta activación muscular.

Protección Muscular:

- Gracias a la elasticidad tendinosa, los músculos Gastrocnemios y Sóleo no necesitan acortarse tanto ni generar tanta potencia directa → Disminuye la Fatiga Muscular.

Importancia en el sprint y la economía de carrera

- En velocidades altas, el tendón almacena casi el doble de energía elástica que en ritmos bajos.
- Esto es crítico tanto para los velocistas (explosividad) como para los fondistas (eficiencia).

Morphological and mechanical properties of muscle and tendon in highly trained sprinters
Kubo, K., Ikebukuro, T., Yata, H., Tomita, M. & Okada, M.
Journal of Applied Biomechanics, 27(4), 336-344. 2011.

MUESTRA:

Velocistas Entrenados (nivel universitario/élite nacional) *vs*. Controles Activos

MEDICIONES:

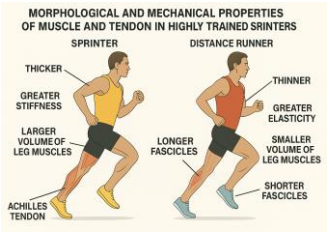
- Área Sección Transversal músculos extensores de la pierna (cuádriceps, gastrocnemio, sóleo).
- Longitud & Ángulo Penneación de Fascículos Musculares.
- Rigidez & Grosor del tendón de Aquiles y Tendón Rotuliano.

TENDÓN

(Especialmente Tendón de Aquiles)

- Más grueso y con mayor rigidez en velocistas que en controles.
  - La rigidez del tendón Rotuliano de velocistas fue significativamente menor que la de sujetos no entrenados, pero no ocurre en flexores plantares.
  - Mayor rigidez permite transmitir de forma más eficiente las grandes fuerzas generadas.
  - Mayor Rigidez mantiene la capacidad de almacenar energía elástica, aunque menos que en fondistas, donde se prioriza la elasticidad sobre la rigidez.

Rigidez Tendinosa:
Rasgo clave de los velocistas



Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters
Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W. F., Ryushi, T., Takano, S., & Mizuno, M.
Journal of Applied Physiology, https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.3.811. 2000.



MUESTRA

Grupo I: **10,00 s - 10,90 s (N = 22)**
Grupo II: **11,00 s - 11,70 s (N = 15)**

Estatura, PC y Longitud de las Piernas fueron similares en los 2 grupos

Grosor Muscular también fue similar para: Vasto Lateral y Gastrocnemio Medial

GI: presentó un grosor significativamente mayor en el Gastrocnemio Lateral

GI: también presentó un mayor grosor muscular en la Porción Superior del Muslo

Ángulo de Penneación fue siempre menor en GI

VL: 19.0±3.2 vs. 21.1±2.1; GM: 21.4±2.9 vs. 23.5±2.6; VL: 14.0±1.4 vs. 15.2±2.1;

En todos los músculos, GI presentó una longitud de fascículo significativamente mayor que GII, lo que correlacionó significativamente con el mejor rendimiento en 100 m

(r=0,40 a 0,57)

Una mayor longitud de fascículo se asocia con un mayor rendimiento en el sprint

Una mayor longitud de la fascia muscular mejora la capacidad de generación de fuerza del músculo, lo que mejora la velocidad de sprint

No hay diferencia entre ♂ y ♀ en longitud de fascículo

Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters

Abe, T., Fukashiro, S., Harada, Y., & Kawamoto, K.

Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science, 20(2), 141-147. 2001.

Variable	SPR (N=26)	CON (N=22)
Isolated muscle thickness (cm)		
Vastus lateralis	2.50 ± 0.37¶	2.15 ± 0.29
Gastrocnemius medialis	2.12 ± 0.26¶	1.84 ± 0.20
Gastrocnemius lateralis	1.69 ± 0.25¶	1.34 ± 0.27
Pennation angle (degree)		
Vastus lateralis	17.7 ± 2.8†	20.1 ± 3.5
Gastrocnemius medialis	21.1 ± 2.2	19.9 ± 2.2
Gastrocnemius lateralis	13.1 ± 2.2	12.5 ± 2.1
Muscle fascicle length (cm)		
Vastus lateralis	8.40 ± 1.24¶	5.98 ± 1.03
Gastrocnemius medialis	5.92 ± 0.77†	5.52 ± 0.60
Gastrocnemius leteralis	7.44 ± 1.07¶	6.26 ± 0.87
Muscle fascicle length / limb length (cm/cm)		
Vastus lateralis	0.22 ± 0.03¶	0.17 ± 0.03
Gastrocnemius medialis	0.16 ± 0.02	0.15 ± 0.02
Gastrocnemius lateralis	0.20 ± 0.03¶	0.17 ± 0.02

MUESTRA

26 Velocistas (♀)

Experiencia: 6-17 años

22 Grupo Control

Una mayor longitud del fascículo muscular se asocia con mayor rendimiento en pruebas de velocidad nivel de élite

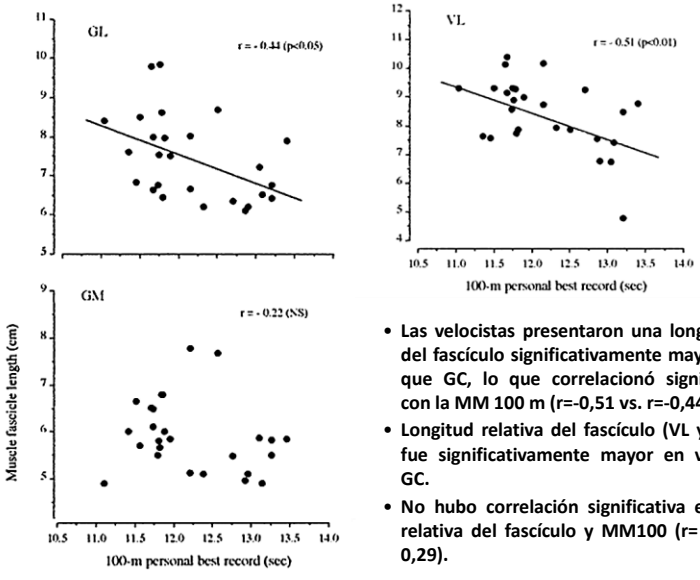
Los velocistas tenían un Ángulo de Penneación del Vasto Lateral significativamente menor

Ángulos de Penneación de Gastrocnemio Medial y Lateral fueron similares entre: las velocistas y las componentes del Grupo Control

Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters

Abe, T., Fukashiro, S., Harada, Y., & Kawamoto, K.

Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science, 20(2), 141-147. 2001.



- **Las velocistas presentaron una longitud absoluta del fascículo significativamente mayor en VL y GL que GC, lo que correlacionó significativamente con la MM 100 m (r=-0,51 vs. r=-0,44,).**
- **Longitud relativa del fascículo (VL y GL) también fue significativamente mayor en velocistas que GC.**
- **No hubo correlación significativa entre longitud relativa del fascículo y MM100 (r= -0,36 vs. r= -0,29).**

A Kinematics Analysis of Three Best 100 M Performances Ever
Maćkała Krzysztof & Antti Mero
Journal of Human Kinetic 36, 149–160. 2013.

- **Bolt necesita menos zancadas, con mayor LZ y menor FZ relativa, pero alcanza y sostiene velocidades superiores.**
- **El resto de finalistas dependen de Frecuencias de Zancada más altas, lo que es menos eficiente y les impide mantener la misma velocidad en los últimos metros.**
- **Su ventaja no solo proviene de la genética antropométrica (altura y piernas largas), sino de la capacidad biomecánica para aplicar fuerza al suelo con gran eficacia y mantener la calidad de la zancada en la fase de máxima velocidad.**

Baseline physical characteristics of Usain Bolt and the rest of finalists of the 100 m sprint

Parameters	Olympic Games Beijing 2008 (1)			World Championships Berlin 2009 (2)			Olympic Games London 2012 (3)		
	UsainBolt	Other Finalists		Usain Bolt	Other Finalists		Usain Bolt	Other Finalists	
		$\bar{X}$	SD		$\bar{X}$	SD		$\bar{X}$	SD
Age (year)	22	25.3	2.93	23	26.7	4.07	26	27.0	3.26
Body mass (kg)	90	76.7	6.41	90	79.0	8.01	93	80.4	8.27
Body height (m)	196	176	3.64	196	177.3	6.40	196	179.4	8.10
BMI (kg /m²)	23.4	25.5	2.34	23.4	22.5	2.26	24.2	24.9	1.58

ESTATURA DE LOS (♂) VELOCISTAS ÉLITE

La altura media de velocistas élite en 100 m es de 1,78–1,80 m, siendo aproximadamente 1,80 m común entre los más rápidos

la mayoría de velocistas de elite masculinos miden entre 1,68 y 1,91 metros
Bolt (1,96 m) es una excepción muy poco común

≈18% de velocistas que corren en ≤ 9,86" miden ≥ 1,90 metros;
el resto tiende a estar entre 1,78 y 1,88 metros

Velocista	Estatura	Marca 100 m
Usain Bolt	1,96 m	9,58 s
Zharnel Hughes	1,90 m	9,83 s
Asafa Powell	1,90 m	9,72 s
Fred Kerley	1,91 m	9,76–9,84 s
Justin Gatlin	1,85 m	9,74 s
Yohan Blake	1,85 m	9,69 s
Christophe Lemaitre	1,90 m	9,92 s
James Dasaolu	1,87 m	9,91 s

The evolution of speed, size and shape in modern athletics
Jordan D. Charles & Adrian Bejan
Journal of Experimental Biology, 212(15), 2419-2425. 2009.

Year	Name	Time (s)	Height (m)	Mass (kg)	Slenderness
1929	Eddie Tolan	10.4	1.70	65.8	7.61
1930	Percy Williams	10.3	1.68	63.5	7.63
1932	Eddie Tolan	10.3	1.70	65.8	7.67
1932	Ralph Metcalfe	10.3	1.80	77.1	7.73
1933	Ralph Metcalfe	10.3	1.80	77.1	7.73
1934	Ralph Metcalfe	10.3	1.80	77.1	7.73
1936	Jesse Owens	10.2	1.78	74.8	7.68
1948	Barney Ewell	10.2	1.75	70.3	7.75
1951	Emmanuel McDonald Bailey	10.2	1.73	86.2	6.85
1968	Charles Greene	10	1.73	68.0	7.71
1968	Charles Greene	9.9	1.73	68.0	7.71
1972	Eddie Hart	9.9	1.78	71.2	7.87
1976	Harvey Glance	9.9	1.88	83.9	7.88
1987	Carl Lewis	9.93	1.88	81.6	7.99
1987	Ben Johnson	9.83	1.88	86.2	7.78
1988	Ben Johnson	9.79	1.88	86.2	7.78
1988	Carl Lewis	9.92	1.88	81.6	7.99
1991	Carl Lewis	9.86	1.88	81.6	7.99
1999	Maurice Greene	9.79	1.75	79.8	7.28
2002	Tim Montgomery	9.78	1.78	72.6	7.80
2005	Asafa Powell	9.77	1.91	88.0	7.85
2006	Justin Gatlin	9.77	1.85	85.0	7.65
2006	Asafa Powell	9.77	1.91	88.0	7.85
2006	Asafa Powell	9.77	1.91	88.0	7.85
2007	Asafa Powell	9.74	1.91	88.0	7.85
2008	Usain Bolt	9.69	1.96	86.0	8.29

SLENDERNESS
Esbeltez o Delgadez
Estatura/Anchura

PONDERAL/ SLENDERNESS INDEX (SI)

SI = altura /PC^(1/3)

ESTATURA DE LAS (♀) VELOCISTAS ÉLITE

La mayoría de las corredoras de élite tienen una estatura de 1,52 m y 1,82 m

Solo unas pocas corredoras superan los 1,78 m (La gran mayoría está por debajo de 1,75 m)

Marion Jones	**1,80 m**	**10,65**
Christine Arron	**1,78 m**	**10,73**
Florence Griffith-Joyner	**1,70 m**	**10,49**
Irina Privalova	**1,74 m**	**10,77**
Merlene Ottey	**1,74 m**	**10,74**
Dawn Sowell	**1,70 m**	**10,78**
Gwen Torrence	**1,70 m**	**10,82**
Evelyn Ashford	**1,65 m**	**10,76**
Zhanna Block	**1,64 m**	**10,82**
Sheila Echols	**1,63 m**	**10,83**



Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.



EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS (ESTATURA & PESO CORPORAL) ALGUNOS DE LOS PRINCIPALES VELOCISTAS DE LA HISTORIA (1900-2009)

Record Moy = 10,09			Record Moy = 10,46	1900 - 1936	Record Moy = 10,04	1948 - 1976	Record Moy = 9,80	1983 - 2009
1900-2009	Taille	Poids	Taille	Poids	Taille	Poids	Taille	Poids
Moyenne	178,09	72,14	175,88	69,92	178,00	71,68	184,44	79,44
Écart-type	6,76	7,58	5,53	7,96	6,65	5,89	6,77	6,15
Coeff. variation	3,80	10,51	3,15	11,39	3,73	8,22	3,67	7,74
Minimum	164	56	165	56	164	64	176	69
Maximum	196	88	184	84	188	86	196	88
Amplitude	32	32	19	28	24	22	20	19
Nb.observations	56	56	25	25	22	22	9	9



Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.



EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS (ESTATURA & PESO CORPORAL) DE LAS PRINCIPALES VELOCISTAS (MUJERES) DE LA HISTORIA (1928-1988)

Recordwomens 1928-1988			1928 -1952		1960 -1988	
Statistiques	**Taille**	**Poids**	**Taille**	**Poids**	**Taille**	**Poids**
Moyenne	169,87	59,78	170,85	61,00	168,60	58,20
Ecart-type	5,74	6,13	5,96	5,48	5,99	6,25
Coeff.Variation	3,38	10,25	3,49	8,99	3,55	10,74
Amplitude	25	24	25	23	21	24
Minimum	157	47	157	47	159	47
Maximum	182	71	182	70	180	71
Nb. d'observations	23	23	13	10	13	10

COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES ESPECIALISTAS

Estudio	Muestra	Variables Antropométricas	Diferencias clave entre 100 / 200 / 400 m
Ravi et al. 2012	47 sprinters universitarios	Estatura, PC, Longitudes (pierna, muslo, pantorrilla, pie), Perímetros (muslo, pantorrilla, tobillo)	**400 m.** significativamente **más altos** que 100 m ($p<0.05$) **200 m. perímetro tobillo mayor** que 100 m No hubo diferencias en pc, longitudes de pierna, muslo, pantorrilla o pie.
Hapuarachchi 2020	38 sprinters élite nacionales	Pliegues cutáneos (supraespinal, muslo, pantorrilla), perímetros (cabeza, tórax, cintura), longitudes (brazo, muslo)	**Diferencias significativas** entre grupos en varios pliegues y perímetros **400 m:** más altos y con pliegues distintos en miembros inferiores Variación en longitud de muslo y brazo entre especialidades.
Singh et al. 2014	24 sprinters élite 100 m & 400 m	Estatura, peso, parámetros de condición física	**400 m:** más altos que 100 mPeso y IMC sin diferencias significativas.
Tomita et al. 2020	26 velocistas 100m: 13 400m: 13	Longitudes de fémur y tibia (MRI)	**Sin diferencias absolutas** fémur/tibia **400 m: relación tibia/fémur** correlacionó con mejor rendimiento ($r\approx0.45$) En 100 m, la relación no fue predictiva
Vučetić et al. 2008	154 atletas élite	Perímetros, Pliegues, Somatotipo	**100–200 m** con **mayor circunferencia de muslo y pierna** que 400 m **Menor % grasa** en todos los velocistas vs. medio/fondo Sin diferencias notables en longitudes óseas

RUNNING & SCIENCE

Jens Bangsbo & Henrik B. Larsen
Institute of Exercise and Sport Sciences, University of Copenhagen 2001

Tipo de Fibra (%) vs. Velocistas

REFERENCIA	I	IIa	IIb	SEXO	Nº	Músculo	NIVEL
Gollnick et al. (1972)	26	74	-	M	1	Vasto	100y: 9.3
Johanson et al. (1987)	30	43	27	M	5	Vasto	MM-100: 10.9
Saboyana et al. (1988)	30	70	-	M	12	Vasto	Sprinters
Mero et al. (1981)	32	40	28	M	4	Vasto	MM-100: 10.7
Mero et al. (1981)	37	37	26	M	7	Vasto	MM-100: 11.1
Gregor et al. (1979)	39	61	-	W	3	Vasto	Sprinters
Thorssthenssson et al (1977)	39	61	-	M	9	Vato	Élite Sueca
Friden et al. (1988)	39	37	24	M	6	Vasto	MM-200: 22.8
Gregor et al. (1981)	41	59	-	W	2	Vasto	USA Élite
Horvonen et al. (1987)	40	60	-	M	7	Vasto	MM-100: 10.89
Denis et al. (1992)	41	59	-	M	8	Vasto	MM-100: 10.6
Andersen et al. (1994)	43	47	10	M	6	Vasto	MM-100: 10.89
Torok et al. (1995)	46	47	7	M	6	Vasto	MM-100: <11.1
Boros-Hatfaludy et al. (1986)	46	53	-	M	7	Vasto	Sprinters
Bauman et al. (1987)	49	41	10	M	8	Vasto	Sprinters
Mero et al. (1981)	51	31	18	M	6	Vasto	MM-100: 11.5
Costill et al. (1976)	27	73	-	W	2	Gemelos	MM-100: 11.4
Costill et al. (1976)	24	76	-	M	2	Gemelos	MM-100: 10.5
Boros-Hatfaludy et al. (1986)	57	43	-	M	7	Gemelos	Sprinters

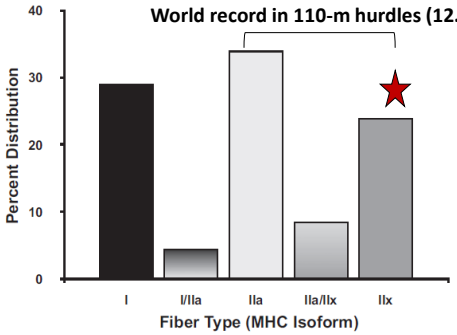
Skeletal muscle signature of a champion sprint runner

Scott Trappe, Nicholas Luden, Kiril Minchev, Ulrika Raue, Bozena Jemiolo & Todd A. Trappe
Journal of Applied Physiology, 118, 1460–1466. 2015.

COLIN JACKSON (GB)

Indoor world record in 60-m hurdles (7.30 segundos)

World record in 110-m hurdles (12.91 segundos)



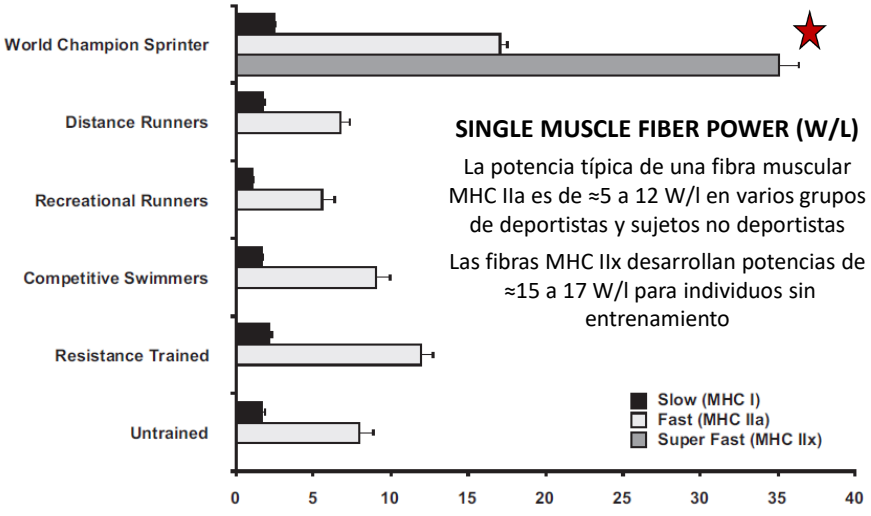


Características de las Fibras Musculares del Vasto Lateral

Fiber Type	Size (CSA), μm^2	P_o, mN	P_o/CSA, $kN \cdot m^2$	V_o, FL/s	V_{max}, FL/s	Power, $\mu N \cdot FL/s$
MHC I (n = 20)	6,013 ± 1,026	0.84 ± 0.15	141 ± 18	1.20 ± 0.20	0.89 ± 0.13	15 ± 4
MHC IIa (n = 22)	6,249 ± 596	1.17 ± 0.12	187 ± 13	4.04 ± 0.40	3.92 ± 0.46	107 ± 18
MHC IIa/x (n = 4)	4,702 ± 1,274	0.93 ± 0.26	197 ± 16	5.75 ± 0.21	5.55 ± 0.19	165 ± 47
MHC IIx (n = 10)	5,517 ± 890	1.08 ± 0.12	196 ± 12	6.05 ± 0.60	5.82 ± 0.59	191 ± 17

Skeletal muscle signature of a champion sprint runner

Scott Trappe, Nicholas Luden, Kiril Minchev, Ulrika Raue, Bozena Jemiolo & Todd A. Trappe
Journal of Applied Physiology, 118, 1460–1466. 2015.



SINGLE MUSCLE FIBER POWER (W/L)

La potencia típica de una fibra muscular MHC IIa es de ≈5 a 12 W/l en varios grupos de deportistas y sujetos no deportistas

Las fibras MHC IIx desarrollan potencias de ≈15 a 17 W/l para individuos sin entrenamiento

Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners
Abe, T., Kumagai, K., & Brechue, W. F.
Medicine and Science in Sports and Exercise, 32(6), 1125-1129. 2000.

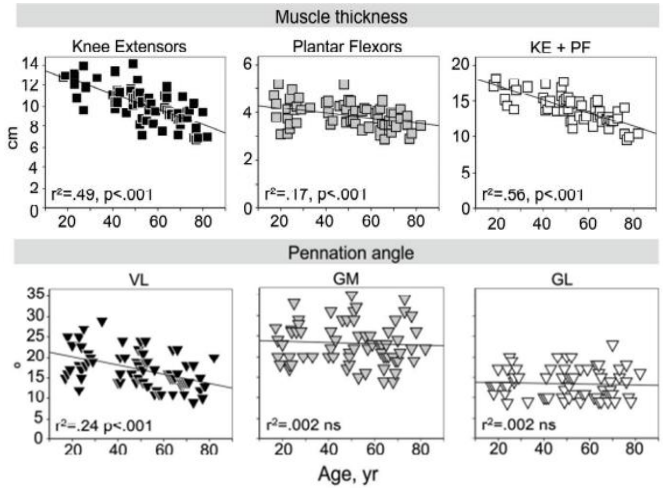
MUESTRA. 47 atletas de élite ♂
Velocistas (SPR): 23; Fondistas (DR): 24 (10.000 m: 14 – Maratón: 10)
Grupo Control (CON): 24 estudiantes universitarios no entrenados

Variable	SPR (N = 23)	DR (N = 24)	CON (N = 24)
Isolated muscle thickness (cm)			
Vastus lateralis[1]	2.74 ± 0.28[a,b]	2.47 ± 0.31	2.32 ± 0.22
Gastrocnemius medialis[2]	2.39 ± 0.34[a,b]	2.10 ± 0.24	1.97 ± 0.26
Gastrocnemius lateralis[3]	1.94 ± 0.23[a,b]	1.69 ± 0.21	1.59 ± 0.19
Pennation angles (°)			
Vastus lateralis	18.5 ± 3.1[b]	23.7 ± 2.1[a]	19.5 ± 3.6
Gastrocnemius medialis	21.5 ± 3.0[b]	23.3 ± 1.8[a]	20.4 ± 2.5
Gastrocnemius lateralis	14.1 ± 1.5	16.1 ± 2.6[a]	13.2 ± 2.5
Muscle fascicle length (cm)			
Vastus lateralis	8.83 ± 1.55[a,b]	6.15 ± 0.61[a]	7.13 ± 1.18
Gastrocnemius medialis	6.64 ± 1.32[a,b]	5.36 ± 0.72	5.69 ± 0.75
Gastrocnemius lateralis	8.04 ± 1.47[b]	6.23 ± 1.07	7.16 ± 1.44
Muscle fascicle length/limb length (cm·cm^{-1})			
Vastus lateralis	0.23 ± 0.04[a,b]	0.15 ± 0.02[a]	0.18 ± 0.03
Gastrocnemius medialis	0.17 ± 0.03[a,b]	0.13 ± 0.02	0.14 ± 0.02
Gastrocnemius lateralis	0.20 ± 0.04[b]	0.16 ± 0.03[a]	0.18 ± 0.04

Mayor Longitud del Fascículo y menor Ángulo de Pennación en los músculos de las piernas de los Velocistas (SPR), en comparación a los Fondistas (DR)

Esto parece favorecer la velocidad de acortamiento necesaria para una mayor velocidad de carrera

Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes
Marko T. Korhonen (Academic Dissertation)
Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä. Junio 2009.

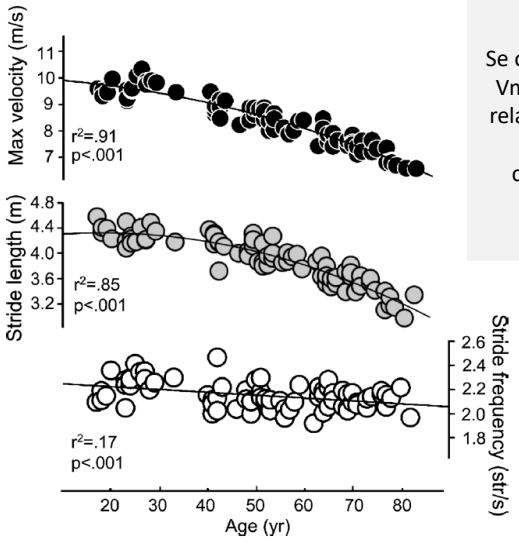


A) Asociación de la edad con el grosor de los Músculos Extensores de la Rodilla (KE) y Flexores Plantares del Tobillo (PF) y (B) con el ángulo de pennación de los músculos Vasto Lateral (VL), Gastrocnemio Medial (GM) & Gastrocnemio Lateral (GL)

Biomechanical and Skeletal Muscle Determinants of Maximum Running Speed with Aging

Korhonen, M. T., A. A. Mero, M. Alen, S. Sipilä, K. Häkkinen, T. Liikavainio, J. T. Viitasalo, M. T. Haverinen & H. Suominen.

Medocine Science Sports Exercise, 41(4), 844-856, 2009.



T-60 m aumentó de:
6,98 ± 0,17 seg en corredores 17-33 a a
9,23 ± 0,41 seg en corredores de 70-82 a

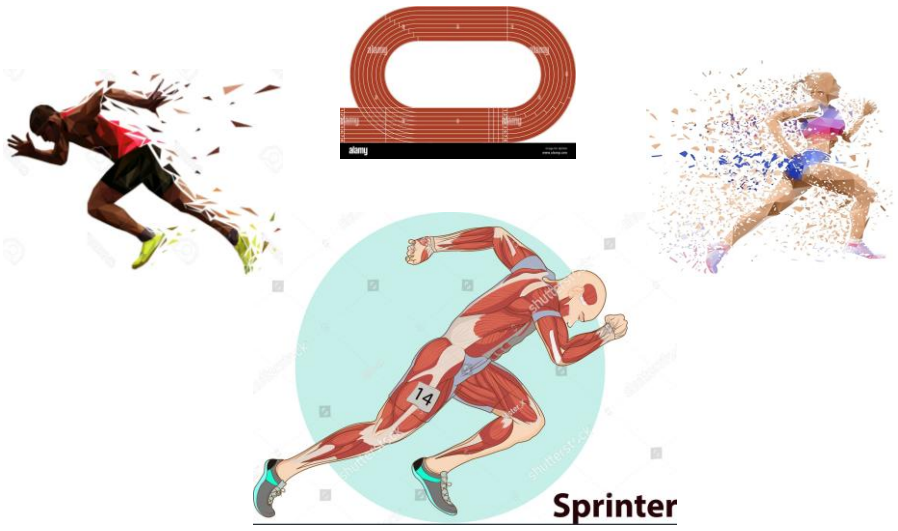
(P 0,001; >6%/década)

Se observó una disminución progresiva de Vmax (<5 %/década) y LZ (<4 %/década) relacionada con la edad, que se volvieron significativas en G40-49 años en comparación con el grupo más joven

FZ mostró una reducción inferior con la edad (<1 %/década)

Sin embargo, tras la disminución significativainicial de FZ desde los más jóvenes (2,25 Hz) hasta los de 40 a 49 años (2,13 Hz), posteriormente FZ se mantuvo practicamente estable hasta el grupo de mayor edad (2,12 Hz).

CARACTERÍSTICAS MUSCULARES DE LOS VELOCISTAS



COMPOSICIÓN MUSCULAR DE LOS VELOCISTAS

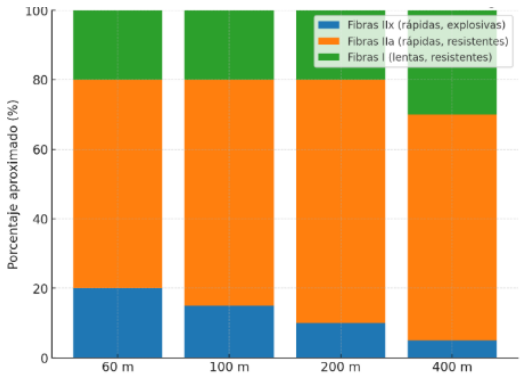
En los velocistas predominan las fibras musculares rápidas Fast Twich, Tipo II, especialmente las IIx y en menor medida las IIa

Fibras Tipo II están diseñadas para generar contracciones:
explosivas y potentes en trabajos de corta duración

La proporción exacta puede variar según la distancia: cuanto más corta y explosiva es la prueba, mayor es la dependencia de fibras IIx; mientras que en distancias como los 400 m se necesita también cierta contribución de fibras IIa, que son rápidas pero un poco más resistentes a la fatiga

Prueba	Fibras predominantes	Características principales
60 m	**Tipo IIx** (>70%)	Máxima explosividad, muy alta velocidad de contracción, baja resistencia a la fatiga.
100 m	**Tipo IIx** y IIa (mayoría IIx)	Explosividad y potencia máxima; las IIa ayudan en la fase final de la carrera.
200 m	**Tipo IIa** y IIx (equilibrio)	Alta velocidad sostenida, resistencia mayor que en pruebas más cortas, pero con gran aporte de potencia.
400 m	**Tipo IIa** (predominio) + IIx	Rápidas y potentes, pero con más capacidad oxidativa para retrasar la fatiga.

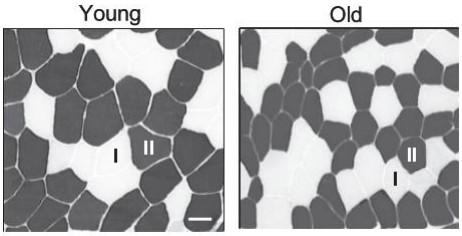
COMPOSICIÓN MUSCULAR DE LOS VELOCISTAS

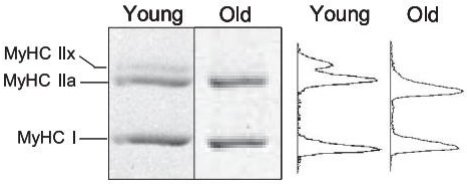


PRUEBA	FIBRAS IIx	FIBRAS IIa	FIBRAS I
60 m	≈ 20 %	≈ 60 %	≈ 20 %
100 m	≈ 15 %	≈ 65 %	≈ 20 %
200 m	≈ 10 %	≈ 70 %	≈ 20 %
400 m	≈ 5 %	≈ 75 %	≈ 30 %

Aging, muscle fiber type, and contractile function in sprint-trained athletes

Korhonen, M. T., Cristea, A., Alén, M., Hakkinen, K., Sipila, S., Mero, A., ... & Suominen, H. Journal of Applied Physiology, 101(3), 906-917.





Ejemplos de histoquímica enzimática y electroforesis de muestras musculares de corredores de 18-33 años vs. 55-79 años

Obsérvese la mayor diferencia entre el músculo joven y el viejo en el área de fibras tipo II en comparación con las fibras Tipo I

La muestra del sujeto más joven (26 años) muestra las 3 bandas de isoformas de MyHC, mientras que no se detectó MyHC IIx en el músculo del corredor de mayor edad (71 años)

CARACTERÍSTICAS MUSCULARES DE LOS VELOCISTAS



•**Predominio de Fibras Musculares Tipo II (Rápidas):**

- Tipo IIa → rápidas y relativamente resistentes.
- Tipo IIx → más rápidas y potentes, pero con menor resistencia a la fatiga.

•**Alta capacidad de Contracción Explosiva:** los músculos se contraen con gran fuerza en milisegundos.

•**Alta proporción de Masa Muscular en el Miembro Inferior:**

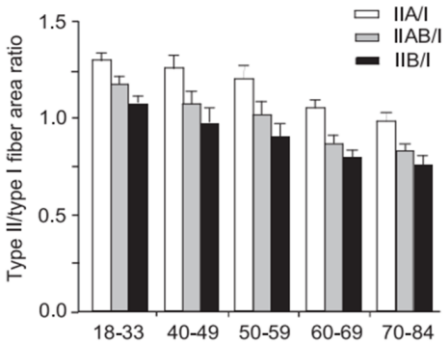
- **Cuádriceps:** extensión de rodilla.
- **Isquiotibiales:** flexión de rodilla y extensión de cadera y rodilla, clave en la fase de tracción en el suelo durante el apoyo.
- **Glúteo Mayor:** generador de potencia en el arranque y aceleración.
- **Gemelos y Sóleo:** propulsión y estabilidad.

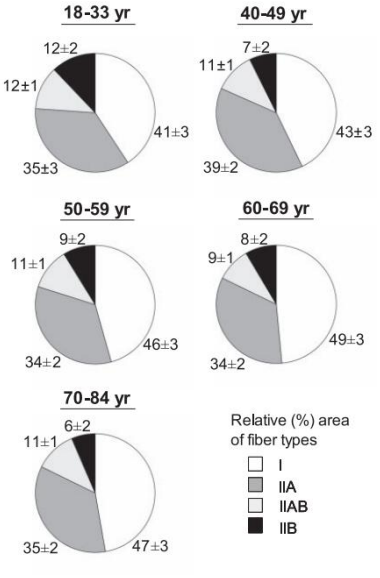
•**Alta Fuerza Relativa:** gran potencia por kilo de Peso Corporal.

Aging, muscle fiber type, and contractile function in sprint-trained athletes
Korhonen, M. T., Cristea, A., Alén, M., Hakkinen, K., Sipila, S., Mero, A., ... & Suominen, H.
Journal of Applied Physiology, 101(3), 906-917.

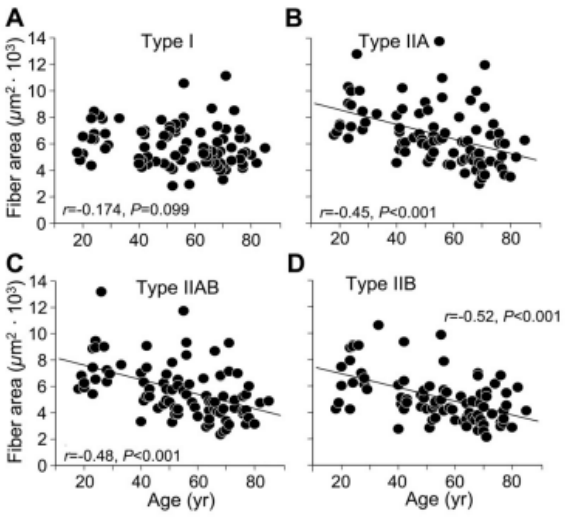
Los velocistas altamente entrenados experimentan, con la edad, una reducción típica asociada al envejecimiento que se muestra en el tamaño de Fibras Rápidas, un cambio hacia un perfil de isoformas MHC más lento y menor expresión de la isoforma **MHC tipo II**

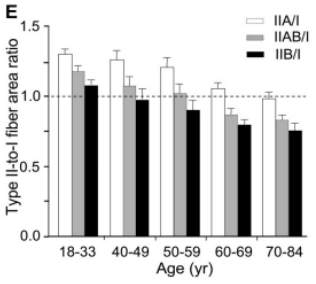
Esto influye en la disminución de la capacidad de producción de fuerza explosiva





Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes
Marko T. Korhonen (Academic Dissertation)
Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä. Junio 2009.





Relación entre Edad y CSA de las fibras tipo I (A) y fibras tipo II, y la proporción de CSA de fibras tipo II y tipo I del vasto lateral Las proporciones de las áreas de las fibras tipo II y tipo IIA/I, IIAB/I y IIB/I disminuyen con la edad (p < 0,001)

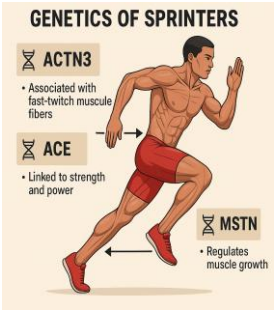
GENÉTICA DE LOS VELOCISTAS

No determina al 100% quién será velocista, pero aporta información sobre ventaja biológica

- Más Fibras Rápidas
- Genes que favorecen potencia y masa muscular
- Predisposición a rigidez tendinosa óptima

Entrenamiento, Técnica y Entorno son también determinantes

GENES RELACIONADOS CON LA VELOCIDAD Y LA POTENCIA



•ACTN3 ("gen de la velocidad")

•Codifica α-actinina-3, presente en fibras Tipo II.

•Variantes:

- **R577R** (funcional) → favorece rendimiento explosivo.
- **X577X** (no funcional) → ausencia de α-actinina-3, frecuente en fondistas.
- Velocistas Élite: frecuencia alelo R es significativamente más alta.

•ACE (Enzima Convertidora de Angiotensina)

- Influye en la regulación cardiovascular y el tono muscular.
- Alelo D se asocia con fuerza y potencia.
- Alelo I con resistencia aeróbica.
- Los velocistas suelen tener más frecuencia del alelo D.

- **MSTN (Miostatina)**
  - Regula el crecimiento muscular.
  - Variantes que reducen función de miostatina→ ↑ Masa Muscular → ventaja en fuerza/potencia.
- **PPARGC1A, ADRB2 Y OTROS**
  - Involucrados en metabolismo energético y eficiencia de contracción muscular.
  - Algunos polimorfismos asociados con mejor respuesta a entrenamientos de alta intensidad.

ACTN3 and ACE genotypes in elite Jamaican and US sprinters
Scott, R. A., Irving, R., Irwin, L., Morrison, E., Charlton, V.,... & Pitsiladis, Y. P.
Medicine Science Sports and Exercise, 42(1), 107-112. 2010.

Frecuencias Genotípicas del Polimorfismo R577X de ACTN3

Subjects	Genotype Frequency, *n* (%) RR	RX	XX	*N*	Allele Frequency, *n* (%) R	X
Jamaican						
Controls	232 (75)	73 (23)	6 (2)	311	537 (86)	85 (14)
Athletes	86 (75)	25 (22)	3 (3)	114	197 (86)	31 (14)
US African American						
Controls	126 (66)	57 (30)	7 (4)	190	309 (81)	71 (19)
Southwest	26 (59)	15 (34)	3 (7)	44	67 (76)	21 (24)
Northeast	50 (69)	20 (28)	2 (3)	72	120 (83)	24 (17)
Southeast	50 (68)	22 (30)	2 (2)	74	122 (82)	26 (18)
Athletes	79 (70)	32 (28)	2 (2)	113	190 (84)	36 (16)

- **El gen ACTN3 a veces se llama el "Gen de la Velocidad",** ya que el genotipo RR o RX se ha asociado con mejor rendimiento en deportes. **Sin embargo, esa asociación puede variar según la población**.

Estudios posteriores muestran que la carencia del gen (XX) podría tener efectos negativos sobre fuerza muscular, predisposición a lesiones o respuesta al entrenamiento, pero estos efectos también varían y dependen del contexto poblacional y del tipo de deporte



It's culture, not genes:
Explaining why Jamaican sprinters are the fastest humans on Earth
Orville W. Taylor
Caribbean Quarterly, 61(1), 23-41. 2015.

Las razones del dominio de los velocistas jamaicanos no se encuentran principalmente en su genética, sino en una compleja y poderosa combinación de factores socioculturales e institucionales

Aunque se reconoce el papel de la fisiología y la genética, estos aspectos tienen un peso secundario frente al contexto cultural

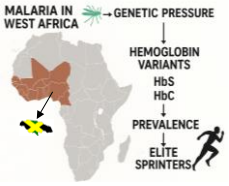
FACTORES	CONTRIBUCIÓN
Genéticos / Fisiológicos	Reconocida pero Secundaria
Culturales e Institucionales	**CAUSAS PRINCIPALES**
Formación Temprana (Champs)	Clave en la Detección y Desarrollo de Atletas
Cambio Histórico Social	Motor de la Transformación Deportiva Nacional desde 1990

MALARIA, HEMOGLOBINA & GENÉTICA

- **Hemoglobina S (HbS) y Rasgo Falciforme**
  - En muchas regiones de África Occidental, la prevalencia del rasgo falciforme (heterocigotos para HbS) es alta, porque protege parcialmente contra la malaria.
  - Heterocigotos (AS): resistentes a malaria, sin anemia grave.
  - Homocigotos (SS): padecen anemia falciforme severa.
- **Otros polimorfismos relacionados**
  - Hemoglobina C (HbC) y Hemoglobina E (HbE) también ofrecen resistencia frente a la malaria.
  - Alteraciones en genes de la G6PD y espectrina también contribuyen a la resistencia.

Relación con la capacidad de correr rápido
Estas variantes genéticas modifican cómo los Glóbulos Rojos transportan O_2 y cómo responden al estrés metabólico.

HETEROCIGOTOS (AS, AC):
- Glóbulos Rojos: mayor rigidez y menor vida media, pero suficiente capacidad de transporte de O2 para vida normal y deporte.
- Estudios, muestran menor vulnerabilidad a hipoxias transitorias.



HIPÓTESIS EN ATLETISMO:
Poblaciones con estos rasgos (África Occidental, Caribe descendiente de esclavos) muestran más atletas de élite en velocidad. No es que el "***Gen de la Anemia Falciforme***" mejore la velocidad, sino que la presión selectiva de la malaria favoreció genotipos que, combinados con otros rasgos morfológicos (longitudes de palancas, composición de fibras rápidas, rigidez tendinosa), contribuyen a una mayor predisposición biológica al sprint.

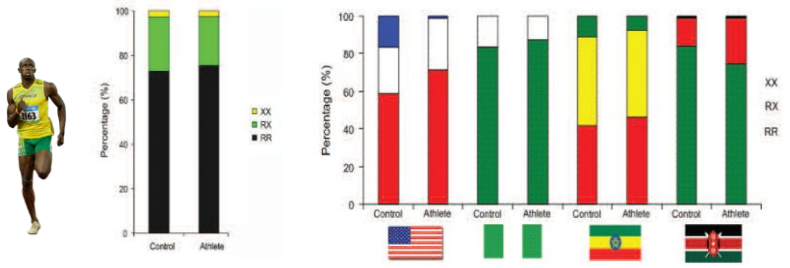
Why Jamaica Rules in Sprinting
Rachael Irving & Vilma Charlton
Jamaican Gold: Jamaican Sprinters, 1-4. 2010.

MUESTRA: 120 atletas olímpicos jamaicanos *vs*. 200 jamaicanos comunes

El 75% de los atletas tienen la variante **577RR del gen alfa-actinina 3 (ACTN3)**, un gen que está asociado con las fibras musculares de contracción rápida (FT o Tipo II)

El gen de **actinina 3** está relacionado con el rendimiento, y se requiere la forma **577RR (homocigota)** o la forma **577RX (heterocigota)** para producir la proteína **alfa-actinina 3**, asociada con la velocidad

La mayoría de las personas de ascendencia africana occidental tienen la variante 577RR o 577RX



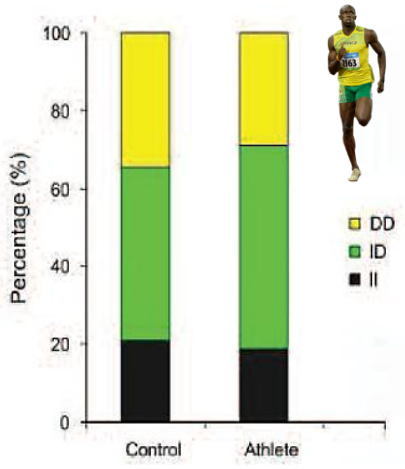
Alrededor del 1% de africanos occidentales tienen la variante 577XX o nula, que no produce la proteína del sprint

En Jamaica, la forma nula se encuentra en ≈2% de la población, mientras que en Estados Unidos es del 4%, está ausente en los nigerianos, el 11% en etíopes y 1% en los kenianos

Why Jamaica Rules in Sprinting
Rachael Irving & Vilma Charlton
Jamaican Gold: Jamaican Sprinters, 1-4. 2010.

MUESTRA: 120 atletas olímpicos jamaicanos *vs*. 200 jamaicanos comunes

Gen de la Enzima Convertidora de Angiotensina (ECA)



Participa en la regulación del: volumen sanguíneo; flujo sanguíneo y aporte de O_2

Las variantes DD y DI del gen ECA en atletas jamaicanos élite representan el 52% y el 29%, y en los jamaicanos comunes representan el 47% y el 36% (diferencias n.s.).

La variante II del gen ECA, asociada negativamente con la velocidad, se encontró en menos 20% de la población jamaicana (tanto atletas olímpicos y controles).

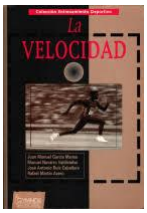
No se puede afirmar que el gen ECA ayude a los velocistas a mejorar su rendimiento, ya que el perfil de este gen es el mismo tanto en corredores de élite como en jamaicanos de bajo rendimiento.

CARACTERÍSTICAS CONDICIONALES DE LOS VELOCISTAS

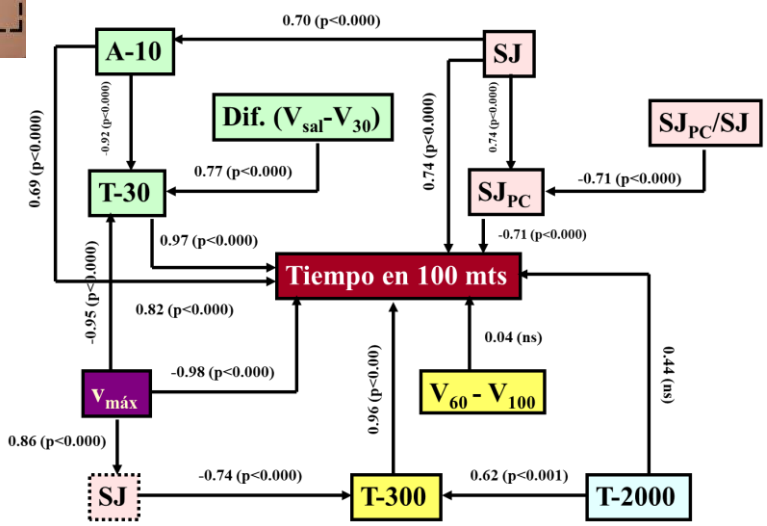








LA VELOCIDAD
Mejora del Rendimiento en los Deportes de Velocidad
Juan Manuel García Manso
Editorial Gymnos. Madrid (España). 1998.



INFLUENCIA DE LA FUERZA EN LAS PRUEBAS DE VELOCIDAD

Cualidad de fuerza	100 m	200 m	400 m
Fuerza máxima	Muy alta importancia en la salida y aceleración.	Alta, sobre todo en la primera mitad de la prueba.	Moderada: importante al inicio, pero luego pesa más la capacidad de mantener fuerza bajo fatiga.
Fuerza explosiva (RFD)	Crítica: determina la aceleración (0–30 m).	Muy alta: clave en salida y transiciones.	Alta: necesaria para el despegue rápido, pero va perdiendo protagonismo frente a la resistencia de la fuerza.
Fuerza reactiva	Muy alta: esencial para sostener zancada en velocidad máxima (60–100 m).	Muy alta: mantiene eficiencia en la parte final.	Alta: ayuda a la economía de zancada, aunque la fatiga limita su expresión.
Fuerza relativa	Fundamental: fuerza en relación al peso corporal decide la eficiencia.	Fundamental: igual de importante que en 100 m.	Fundamental: aún más crítica, porque un exceso de peso penaliza en resistencia al lactato.
Potencia (Fuerza × Velocidad)	Máxima relevancia en cada apoyo.	Muy alta: necesaria en todo el recorrido.	Muy alta: clave para sostener velocidad en la recta final pese a la fatiga.
Resistencia de la fuerza	Baja: la prueba es demasiado corta para que la fatiga muscular sea limitante.	Moderada: empieza a influir en los últimos metros.	Muy alta: decisiva para mantener amplitud y frecuencia en los últimos 100 m.

Are peak ground reaction forces related to better sprint acceleration performance?
Nagahara, R., Kanehisa, H., Matsuo, A., & Fukunaga, T.
Sports Biomechanics. https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1560494. 2021.

OBJETIVO: observar si los Picos de Fuerza de Reacción del Suelo (FRS), vertical, horizontal y resultante, explican quién acelera mejor en un sprint.

MUESTRA: 18 Velocistas

Si bien la fuerza anteroposterior no es un indicador del rendimiento en la fase de aceleración, la Fuerza Vertical probablemente sea un indicador más adecuado para lograr una mejor aceleración

- **Dirección Anteroposterior**: mientras la Fuerza de Propulsión Media correlacionó con la Fase de Aceleración Inicial (hasta el 5.º Paso) (r=0,559–0,713), la Fuerza de Propulsión Máxima solo correlacionó con la aceleración en el 9.º paso (r=0,481)
- **Fuerza de Frenado**: correlacionó con la Aceleración en los pasos 20 y 22 (r=0,522 vs. 0,544), pero no correlacionó con Aceleración en todos los pasos
- **Dirección Vertical**: se encontraron correlaciones negativas significativas entre las Fuerzas Verticales media y máxima y la aceleración en los pasos (16.º, 20.º y 22.º paso)

Kinetic demands of sprinting shift across the acceleration phase: Novel analysis of entire force waveforms

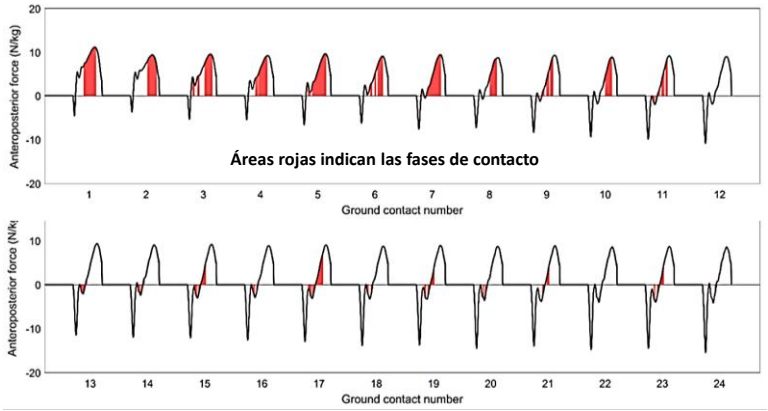
Colyer, S. L., Nagahara, R., & Salo, A. I.

Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 28(7), 1784-1792. 2018.

A medida que los atletas se acercan a la Velocidad Máxima, los mejores son más capaces de atenuar las fuerzas de frenado, especialmente en las últimas partes de la fase excéntrica

MUESTRA: 28 atletas (T100 m: 10,88 a 11,96 s)

Curvas de fuerza anteroposterior media normalizadas en 24 contactos en el suelo (28 corredores), y relaciones con la potencia externa horizontal promedio producida en cada período de contacto



Relationship between strength qualities and sprinting performance

Warren Young, Brian Mc Lean & James Ardagna

Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 35(1), 13-19. 1995.

MUESTRA: 11 (♂) y 9 (♀) - Australian Junior National Team

FUERZA vs. T2.5 m	CORRELACIÓN	P
Fuerza Máxima Dinámica/PC	-086	0.0001
Potencia Media/PC	-074	0.0004
Fuerza en 1OO ms/PC	-0.73	0.0005
F max	-0.72	0.07
FUERZA vs. ACCIÓN SOBRE TACOS	**CORRELACIÓN**	**P**
t blocks	-0.56	0.01
v blocks	0.37	0.13
a blocks	0.64	0.004
Fmax blocks	0.48	0.04
FUERZA vs. VELOCIDAD MÁXIMA	**CORRELACIÓN**	**P**
Fuerza en 1OO ms/PC	-0.80	0.0001
Potencia Media/PC	-0.79	0.0001
CMJ	-0.77	0.0001
F max	-0.79	0.03

CARACTERIZACIÓN DE LA PRUEBA

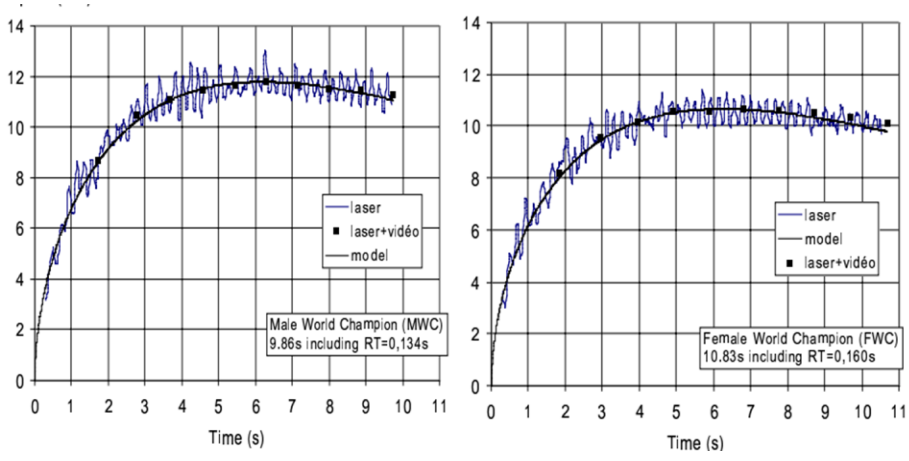
ESTRUCTURA INTERNA

PERFIL EVOLUTIVO

Modeling the energetics of 100-m running by using speed curves of world champions

Laurent M. Arsac & Elio Locatelli

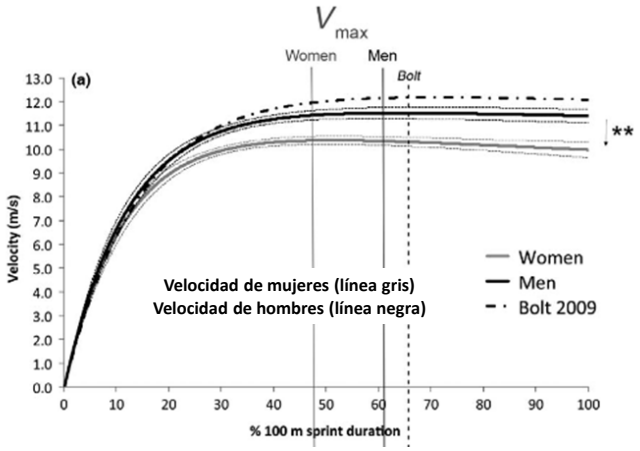
Journal of Applied Physiology, 92(5), 1781-1788. 2002.



How 100-m event analyses improve our understanding of world-class men's and women's sprint performance

Slawinski, J., Termoz, N., Rabita, G., Guilhem, G., Dorel, S., Morin, J. B., & Samozino, P. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(1), 45-54. 2017.

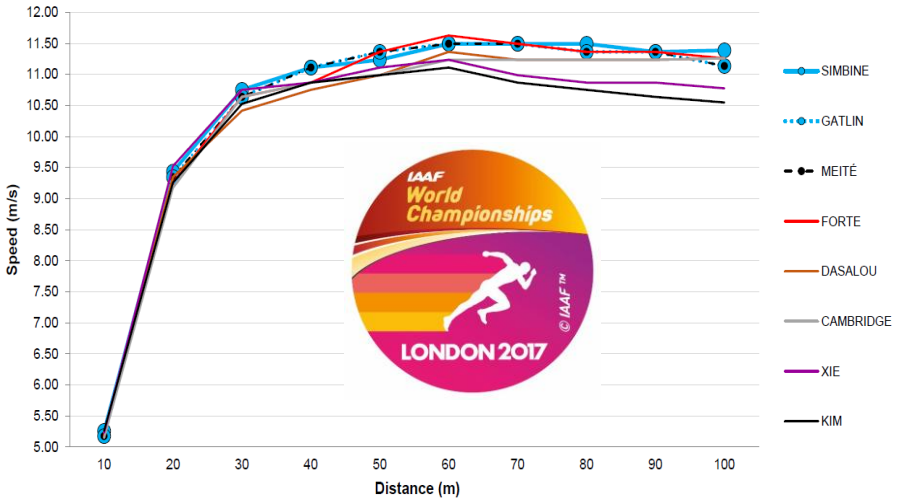
Diferencias entre géneros en el comportamiento de la velocidad en la carrera de 100 metros



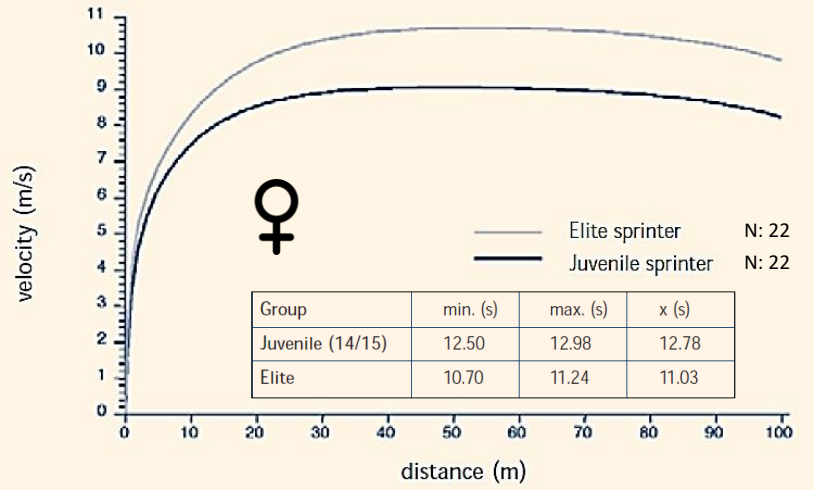
BIOMECHANICAL REPORT FOR THE 100 M MEN'S

IAAF World Championships London 2017

Athanassios Bissas, Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgios Paradisis & Stéphane Merlino

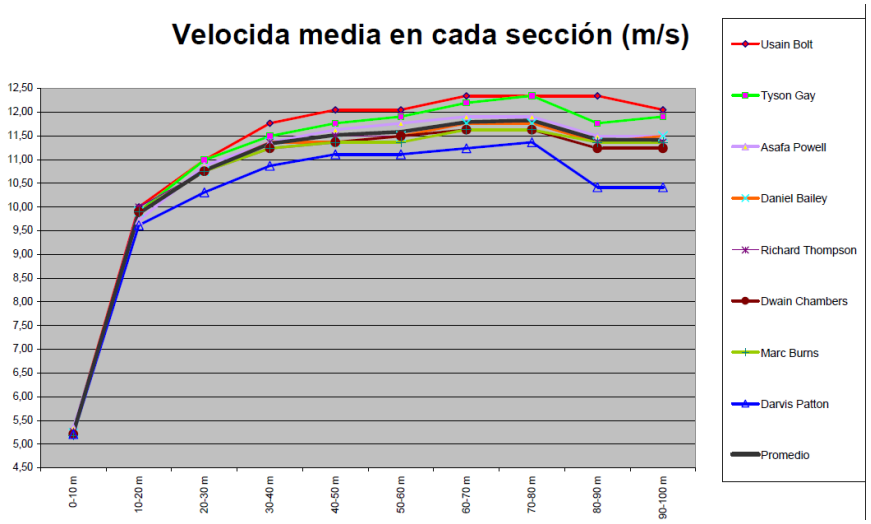


The development of velocity and acceleration in sprints
A comparison of elite and juvenile female sprinters
Stefan Letzelter
New Studies in Athletics, 21(3), 15-22. 2006.



Group	min. (s)	max. (s)	x (s)
Juvenile (14/15)	12.50	12.98	12.78
Elite	10.70	11.24	11.03

El modelo rítmico de la carrera de 100 metros en los Campeonatos del Mundo de Berlín 2009
Jesús María Vicente Pacho
INEFC (Barcelona). 2010.



El modelo rítmico de la carrera de 100 metros en los Campeonatos del Mundo de Berlín 2009

Jesús María Vicente Pacho

INEFC (Barcelona). 2010.

Nombre	Tiempo Reacción	10 m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
Usain Bolt	0,146	1,89	2,89	3,79	4,64	5,48	6,31	7,12	7,92	8,75	9,58
Tyson Gay	0,144	1,91	2,92	3,83	4,70	5,55	6,39	7,21	8,02	8,87	9,71
Asafa Powell	0,134	1,87	2,91	3,83	4,71	5,57	6,42	7,26	8,10	8,97	9,84
Daniel Bailey	0,129	1,91	2,92	3,85	4,73	5,61	6,48	7,33	8,18	9,06	9,93
Richard Thompson	0,119	1,90	2,90	3,83	4,71	5,58	6,45	7,31	8,17	9,05	9,93
Dwain Chambers	0,123	1,92	2,93	3,86	4,75	5,63	6,50	7,36	8,22	9,11	10,00
Marc Burns	0,165	1,93	2,94	3,87	4,76	5,64	6,52	7,38	8,24	9,12	10,00
Darvis Patton	0,149	1,92	2,96	3,93	4,85	5,75	6,65	7,54	8,42	9,38	10,34

Kinematics and kinetics of maximal velocity sprinting and specificity of training in elite athletes

Deborah Louise Sides

Tesis Doctoral. University of Salford, School of Health Sciences. 2014.

MUESTRA

122 carreras del Mundial de Berlín 2009

100m time category	n	100m time (s)	60-80m time (s)	Average velocity between 60-80m (m/s)
9.50-9.59	1	9.58	1.61	12.42
9.60-9.69	0	N/A	N/A	N/A
9.70-9.79	1	9.71	1.63	12.27
9.80-9.89	2	9.87 (0.04)	1.69 (0.01)	11.83 (0.10)
9.90-9.99	9	9.95 (0.02)	1.70 (0.01)	11.78 (0.10)
10.00-10.09	12	10.03 (0.03)	1.72 (0.01)	11.62 (0.09)
10.10-10.19	15	10.16 (0.02)	1.73 (0.02)	11.54 (0.13)
10.20-10.29	27	10.24 (0.03)	1.77 (0.02)	11.32 (0.11)
10.30-10.39	27	10.35 (0.03)	1.80 (0.03)	11.12 (0.17)
10.40-10.49	16	10.43 (0.03)	1.82 (0.03)	11.00 (0.17)
10.50-10.59	11	10.56 (0.06)	1.85 (0.03)	10.80 (0.18)
10.60-10.69	0	N/A	N/A	N/A
10.70-10.79	1	10.71	1.85	10.81
TOTAL	**122**	**10.26 (0.19)**	**1.77 (0.05)**	**11.29 (0.35)**

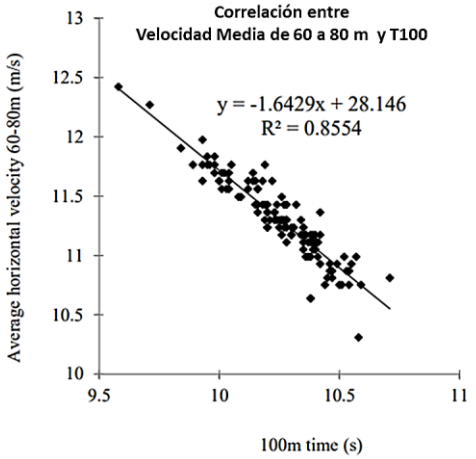
Kinematics and kinetics of maximal velocity sprinting and specificity of training in elite athletes

Deborah Louise Sides

Tesis Doctoral. University of Salford, School of Health Sciences. 2014.

MUESTRA

122 carreras del Mundial de Berlín 2009



Performance analysis in competition between athletes 100 meters dash athletes of different levels

Pablo Floria Martín & Amelia Ferro Sánchez

RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte, 7(26), 408-416. 2011.

MUESTRA: finales de 100 m masculinos de categoría senior de dos Campeonatos de España al aire libre

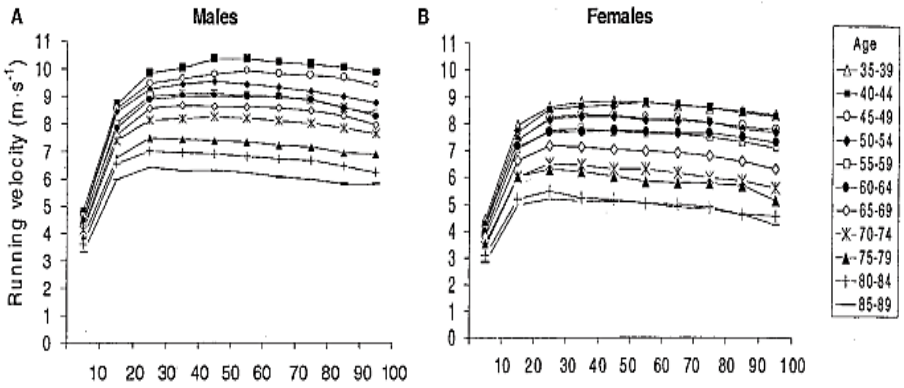
Tiempo parcial	Más rápidos	Menos rápidos	*P*
T_{0-10} (s)	1.93 ± 0.04	2.04 ± 0.04	<0.001**
T_{10-20} (s)	1.07 ± 0.03	1.02 ± 0.04	0.014*
T_{20-30} (s)	0.98 ± 0.02	1.01 ± 0.02	0.016*
T_{30-40} (s)	0.92 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.675
T_{40-50} (s)	0.92 ± 0.02	0.94 ± 0.02	0.069
T_{50-60} (s)	0.91 ± 0.02	0.92 ± 0.01	0.403
T_{60-70} (s)	0.91 ± 0.03	0.95 ± 0.02	0.036*
T_{70-80} (s)	0.91 ± 0.02	0.93 ± 0.02	0.110
T_{80-90} (s)	0.92 ± 0.03	0.97 ± 0.03	0.011*
T_{90-100} (s)	0.96 ± 0.02	0.98 ± 0.02	0.077
T_{30-50} (s)	1.85 ± 0.03	1.86 ± 0.02	0.250
T_{80-100} (s)	1.88 ± 0.03	1.95 ± 0.04	0.003**
$T_{Oficial}$ (s)	10.44 ± 0.13	10.68 ± 0.09	0.002**

Age-related differences in 100-m sprint performance in male and female master runners

Korhonen, M. T., Mero, A., & Suominen, H.

Medicine & Science in Sports & Exercise, 35(8), 1419-1428. 2003.

Evolución de la Velocidad (m/s) cada 10 metros de carrera con la Edad 25-39 años hasta 85-89 años (Hombres: Izquierda & Mujeres: Derecha) durante una carrera de 100 meros





Alto rendimiento deportivo

Manfred Grosser, Peter Brüggemann & Fritz Zintl

Editorial Martínez Roca. Barcelona (España). 1989.

30 m. tacos	*30 m. lanzado*	*60 m. tacos*	*150 m. de parado*	*250 m. de parado*	*60 m.l.*	*100 m.l.*	*200 m.l.*
3"58-3"61	2"48-2"51	6"22-6"27	14"87-14"27	25"47-25"72	6"49-6"53	10"09-10"16	20"17-20"32
3"62-3"65	2"52-2"55	6"28-6"33	14"98-15"08	25"73-25"98	654-658	10"17-10"24	20"33-20"48
3"66-3"69	2"56-2"59	6"34-6"39	15"09-15"19	25"99-26"24	6"59-6"63	10"25-10"32	20"49-20"64
3"70-3"73	2"60-2"63	6"40-6"45	15"20-15"30	26"25-26"50	6"64-6"68	10"33-10"40	20"65-20"30
3"74-3"77	2"64-2"67	6"46-6"51	15"31-15"42	26"51-26"76	6"69-6"73	10"41-10"48	20"81-20"96
3"78-3"81	2"68-2"71	6"52-6"57	15"43-15"54	26"77-27"02	6"74-6"78	10"49-10"56	20"97-21"12
3"82-3"85	2"72-2"75	6"58-6"63	15"55-15"66	27"03-27"28	6"79-6"83	10"57-10"64	21"13-21"28
3"86-3"89	2"76-2"79	6"64-6"69	15"67-15"79	27"29-27"59	6"84-6"88	10"65-10"72	21"29-21"44
3"90-3"93	2"80-2"83	6"70-6"75	15"80-15"92	27"55-27"80	6"89-6"93	10"73-10"80	21"45-21"61
3"94-3"98	2"84-2"88	6"76-6"81	15"93-16"06	27"81-28"06	6"94-7"00	10"81-10"90	21"62-21"88
3"99-4"03	2"89-2"93	6"82-6"87	16"07-16"20	28"07-28"31	7"01-7"06	10"91-11"00	21"89-22"09
4"04-4"08	2"94-2"98	6"88-6"93	16"21-16"35	28"32-28"55	7"07-7"12	11"01-11"09	22"10-22"30
4"09-4"13	2"99-3"03	6"94-6"99	16"36-16"51	28"56-28"80	7"13-7"18	11"10-11"19	22"31-22"50
4"14-4"18	3"04-3"06	7"00-7"05	16"52-16"68	28"81-29"06	7"19-7"25	11"20-11"29	22"51-22"72
4"19-4"24	3"07-3"14	7"06-7"12	16"69-16"86	29"07-29"34	7"26-7"32	11"30-11"40	22"73-22"95
4"25-4"30	3"15-3"20	7"13-7"19	16"87-17"05	29"35-29"63	7"33-7"39	11"41-11"51	22"96-23"19
4"31-4"36	3"21-3"26	7"20-7"26	17"06-17"25	29"64-29"91	7"40-7"46	11"52-11"62	23"20-23"43
4"37-4"42	3"27-3"32	7"27-7"33	17"26-17"46	29"92-30"19	7"47-7"53	11"63-11"73	23"44-23"69
4"43-4"48	3"33-3"38	7"34-7"40	17"47-17"67	30"20-30"50	7"54-7"61	11"74-11"85	23"70-23"95
4"49-4"54	3"39-3"44	7"41-7"50	17"68-17"88	30"51-30"91	7"62-7"71	11"86-12"01	23"96-24"27

Development of Maximum Sprinting Speed
Frank W. Dick
Track Coach, 109, 3475-3480. 1989.



1988
SEOUL 1988



100m MEN'S FINAL

	JOHNSON		LEWIS		CHRISTIE	
10	1.83		1.89		1.92	
20	2.87	1.04	2.96	1.07	2.97	1.05
30	3.80	.93	3.90	.94	3.92	.95
40	4.66	.86	4.79	.89	4.81	.89
50	5.50	.84	5.65	.86	5.66	.85
60	6.33	.83	6.48	.83	6.50	.84
70	7.17	.84	7.33	.85	7.36	.86
80	8.02	.85	8.18	.85	8.22	.86
90	8.89	.87	9.04	.86	9.09	.87
100	9.79	.90	9.92	.88	9.97	.88

100m WOMEN'S FINAL

	GRIFFITH JOYNER		ASHFORD		DRECHSLER	
10	2.00		2.02		2.01	
20	3.09	1.09	3.13	1.11	3.12	1.11
30	4.09	1.00	4.15	1.02	4.14	1.02
40	5.04	.95	5.11	.96	5.11	.97
50	5.97	.93	6.07	.97	6.08	.97
60	6.89	.92	7.01	.94	7.02	.94
70	7.80	.91	7.96	.95	7.97	.95
80	8.71	.91	8.91	.95	8.92	.95
90	9.62	.91	9.87	.96	9.88	.96
100	10.54	.92	10.83	.96	10.85	.97



VELOCIDAD (СПРИНТЕРСКИЙ БЕГ)
Edvin S. Oz:olin
Biblioteca de Atletas (2010)

Отрезки	Результат в беге на 100метров (сек)						
	9.58	10.30	10.70	11.25	11.70	12.30	12.80
10	1.89	1.91	1.95	2.00	2.06	2.12	2.18
20	0.99	1.06	1.11	1.14	1.21	1.28	1.30
30	0.90	0.96	0.99	1.04	1.18	1.22	1.26
40	0.86	0.92	0.95	1.00	1.15	1.21	1.24
50	0.83	0.89	0.93	0.99	1.14	1.17	1.24
60	0.82	0.89	0.93	0.98	1.14	1.19	1.25
70	0.81	0.90	0.94	0.98	1.15	1.24	1.28
80	0.82	0.92	0.94	1.11	1.17	1.24	1.28
90	0.83	0.91	0.95	1.14	1.18	1.26	1.32
Vmax(м/сек)	12.27	11.24	10.75	10.20	8.77	8.54	8.06

	Ben '88	Carl '88	Mo '99	Mo '01	Tim '02	Asafa '05	BOLT '08
RT	0.132	0.136	0.162	0.132	0.104	0.150	0.165
0-10m	1.83	1.89	1.86	1.83	1.89	1.89	1.85
10-20m	1.04	1.07	1.03	1.00	1.03	1.02	1.02
20-30m	0.93	0.94	0.92	0.92	0.91	0.92	0.91
30-40m	0.86	0.89	0.88	0.89	0.87	0.86	0.87
40-50m	0.84	0.86	0.88	0.86	0.84	0.85	0.85
50-60m	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.85	0.82
60-70m	0.84	0.85	0.83	0.83	0.84	0.84	0.82
70-80m	0.85	0.85	0.86	0.86	0.84	0.84	0.82
80-90m	0.87	0.86	0.85	0.89	0.85	0.85	0.83
90-100m	0.90	0.88	0.85	0.91	0.88	0.85	0.90
TIME	9.79	9.92	9.79	9.82	9.78	9.77	9.69

COMPETITION MODEL CHARACTERISTICS OF ELITE MALE SPRINTERS

Hristo Stoyanov

New Studies in Athletics, 29(4), 53-60. 2014

TRAMO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
TIEMPO ACUMULADO (SEGUNDOS)										
G1 <9.86	1.87	2.89	3.81	4.69	5.54	6.37	7.21	8.06	8.90	9.78
G2 9.86-10.00	1.86	2.92	3.86	4.73	5.60	6.46	7.32	8.18	9.06	9.94
G3 10.00-10.20	1.91	2.95	3.88	4.78	5.67	6.55	7.43	8.30	9.19	10.10
VELOCIDAD (m/s)										
G1 <9.86	5.35	9.73	10.88	11.47	11.72	11.96	11.93	11.82	11.73	11.49
G2 9.86-10.00	5.37	9.48	10.79	11.29	11.55	11.69	11.63	11.63	11.39	11.32
G3 10.00-10.20	5.24	9.55	10.74	11.12	11.31	11.32	11.42	11.38	11.22	10.99
TIEMPO POR TRAMO 10 M (SEGUNDOS)										
G1 <9.86	1.87	1.03	0.92	0.87	0.85	0.84	0.84	0.84	0.85	0.87
G2 9.86-10.00	1.86	1.06	0.93	0.89	0.87	0.86	0.86	0.86	0.88	0.88
G3 10.00-10.20	1.91	1.05	0.93	0.90	0.88	0.88	0.87	0.88	0.89	0.91

The Dynamics of Velocity Development in Elite Women Sprinters
Hristo Stoyanov
New Studies in Athletics, 30(3), 61-67. 2015.

MUESTRA: 31 actuaciones femeninas de 100 m
Campeonatos Mundiales de Atletismo (WCA) & Juegos Olímpicos (JJ.OO.)

	10m Split Time (sec)									
	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
Group I	1.98	3.09	**4.09**	5.05	6.00	**6.94**	7.88	**8.83**	9.79	**10.77**
Group II	2.01	3.12	**4.12**	5.10	6.06	**7.01**	7.97	**8.94**	9.92	**10.93**
Group III	2.01	3.13	**4.14**	5.12	6.09	**7.05**	8.01	**9.00**	10.00	**11.03**
	10m Segment Time (sec)									
	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
Group I	1.98	1.106	**1.004**	0.965	0.949	**0.935**	0.943	**0.948**	0.964	**0.975**
Group II	2.01	1.110	**1.000**	0.979	0.961	**0.949**	0.956	**0.973**	0.982	**1.01**
Group III	2.01	1.117	**1.015**	0.978	0.968	**0.960**	0.964	**0.987**	1.002	**1.03**
	Average Velocity ($m.s^{-1}$)									
	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
Group I	5.05	9.04	**9.96**	10.36	10.54	**10.69**	10.60	**10.55**	10.37	**10.26**
Group II	4.97	9.00	**10.00**	10.21	10.41	**10.54**	10.46	**10.28**	10.18	**9.90**
Group III	4.97	8.95	**9.85**	10.22	10.33	**10.42**	10.37	**10.13**	9.98	**9.70**

FINAL DE 100 METROS LISOS
IAAF World Championship. Lodres. 2017.

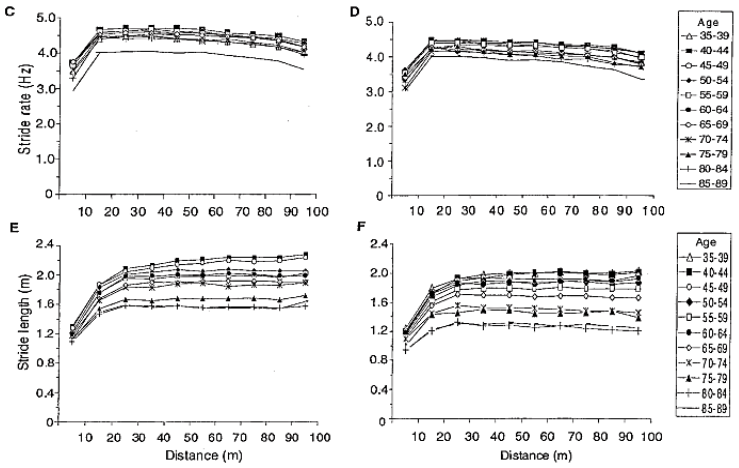
Athlete	Reaction Time	0-10m	10-20m	20-30m	30-40m	40-50m	50-60m	60-70m	70-80m	80-90m	90-100m	0-100m
Gatlin	0.138	1.74	1.02	0.91	0.90	0.88	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	9.92
Coleman	0.123	1.75	1.00	0.90	0.88	0.87	0.86	0.88	0.88	0.88	0.92	9.94
Bolt	0.183	1.78	1.02	0.90	0.88	0.88	0.85	0.85	0.86	0.86	0.89	9.95
Blake	0.137	1.74	1.02	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.88	0.87	0.89	9.99
Simbine	0.141	1.78	1.03	0.92	0.92	0.87	0.84	0.86	0.87	0.88	0.9	10.01
Vicaut	0.152	1.80	1.03	0.90	0.89	0.87	0.87	0.88	0.89	0.90	0.9	10.08
Prescod	0.145	1.89	1.05	0.92	0.92	0.89	0.86	0.86	0.87	0.88	0.88	10.17
Su	0.224	1.81	1.03	0.92	0.91	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90	0.92	10.27

Age-related differences in 100-m sprint performance in male and female master runners

Korhonen, M. T., Mero, A., & Suominen, H.

Medicine & Science in Sports & Exercise, 35(8), 1419-1428. 2003.

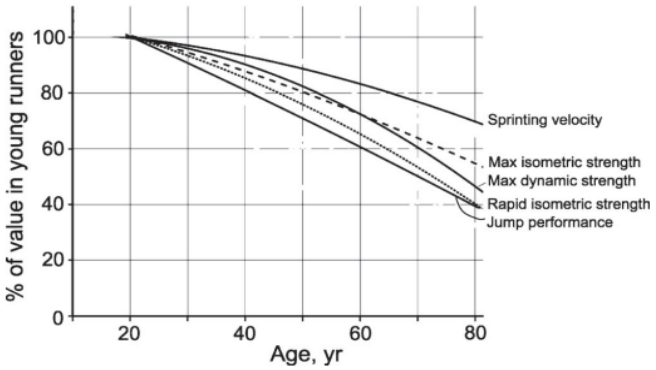
Evolución de la Frecuencia y Amplitud de Zancada con la Edad 25-39 años hasta 85-89 años (Hombres: Izquierda & Mujeres: Derecha) durante una carrera de 100 meros



Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging

Korhonen, M. T., Mero, A. A., Alen, M., Sipilä, S., Häkkinen, K., Liikavainio, T., ... & Suominen, H.

Medicine & Science in Sports & Exercise, 41(4), 844-856. 2009.



MUESTRA

Se seleccionaron:

18 velocistas jóvenes (17-33 años)

59 velocistas seniors (40-82 años)

Cambios relacionados con la edad en las características de sprint y fuerza, expresados como porcentaje del valor para el grupo de velocistas más jóvenes

Velocidad máxima de sprint = **Vmáx**

Fuerza isométrica máxima = fuerza máxima de extensión bilateral de piernas;

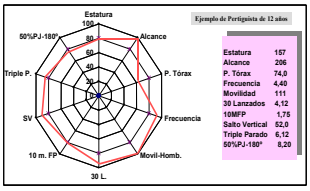
Fuerza dinámica máxima = fuerza máxima en una repetición de media sentadilla concéntrica;

Fuerza Isométrica Rápida = RFD máxima durante la extensión bilateral de piernas;

Rendimiento de salto = altura máxima del CMJ.

CARACTERIZACIÓN EVOLUTIVA DE LAS PRUEBAS DE VELOCIDAD

Test/Edad	11-12 años	12-13 años	13 años	14 años	15 años	16 años	17-18 a
Triple Parado	6.00-6.10	6.50-6.80	6.80-7.00	7.00-7.40	7.80-8.40	8.50-8.80	8.90-9.50
Longitud Parado	2.00-2.20	2.20-2.30	2.30-2.40	2.40-2.50	2.50-2.65	2.70-2.90	2.95-3.05
30 Salida Parado	4.9-4.8	4.7-4.6	4.5-4.4	4.4-4.3	4.2-4.1	4.0-3.9	3.8-3.7
60 Salida Parado	8.8-8.6	8.6-8.4	8.0-7.8	7.8-7.6	7.6-7.3	7.2-7.0	6.8-6.7
100 Salida Parado	--	--	--	--	11.8-11.6	11.4-11.0	10.6-10.8
150 Salida Parado	--	--	--	--	19.0-18.0	17.5-16.8	16.0-15.8



Utilización de Deportogramas Evolutivos de Campeones

Utilización de Deportogramas Evolutivos Individuales

RAPIDEZ DE MOVIMIENTOS & REACTIVIDAD

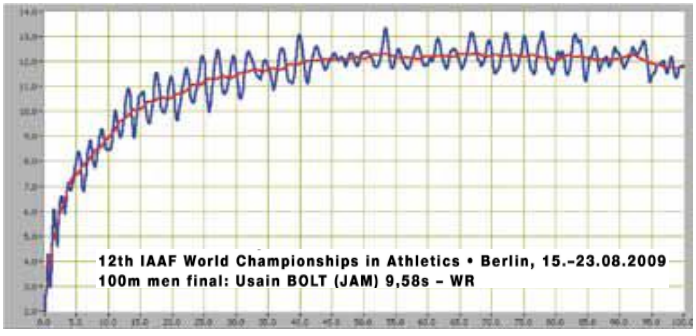
Biomechanical Analysis of the Sprint and Hurdles Events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics

Rolf Graubner & Eberhard Nixdorf

New Studies in Athletics, 1/2, 19-53. 2011

100m final at the 2009 IAA F World Championships in Athletics

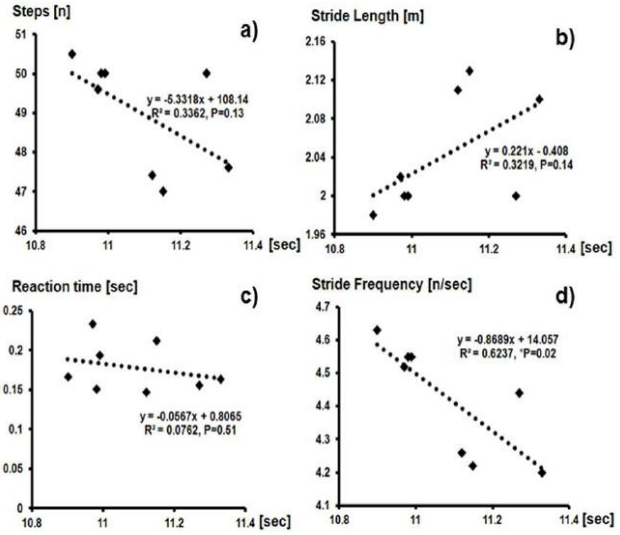
Name	V0-10	V10-20	V20-30	V30-40	V40-50	V50-60	V60-70	V70-80	V80-90	V90-100
Bolt	5.77	9.99	11.11	11.63	12.08	12.20	12.29	12.17	12.17	11.96
Gay	5.63	9.80	11.04	11.65	11.85	12.16	12.09	12.05	11.93	11.76
Powell	5.73	9.78	10.79	11.41	11.75	11.90	11.84	11.80	11.61	11.20



Biomechanics Research Project in the IAAF
Biomechanics Analysis of the Men's 100 Meters Sprint
World Championships Daegu 2011
Ji-Seon Ryu (Corea del Sur)

Name	Parameter	0-13m	-30m	-47m	-64m	-81m	-89.5m	-100m	Total teps	Avg. SL	Avg. SF
Carmelita JETER (USA)	Lap time (sec)	2.32	4.11	5.73	7.35	8.97	9.80	10.90	50.5	1.98	4.63
	Avg. Speed (m/s)	5.60	9.53	10.47	10.52	10.45	10.32	9.52			
Veronica CAMPBELL - BROWN (JAM)	Lap time (sec)	2.39	4.17	5.81	7.42	9.03	9.85	10.97	49.6	2.02	4.52
	Avg. Speed (m/s)	5.44	9.57	10.34	10.54	10.60	10.37	9.35			
Kelly-Ann BAPTISTE (TRI)	Lap time (sec)	2.20	4.11	5.76	7.39	9.02	9.85	10.98	50	2.00	4.55
	Avg. Speed (m/s)	5.92	8.87	10.32	10.43	10.41	10.24	9.32			
S. A. FRASER - PRYCE (JAM)	Lap time (sec)	2.32	4.10	5.73	7.35	8.98	9.85	10.99	50	2.00	4.55
	Avg. Speed (m/s)	5.60	9.53	10.47	10.45	10.43	9.85	9.18			
Blessing OKAGBARE (NGR)	Lap time (sec)	2.36	4.14	5.84	7.49	9.15	9.99	11.12	47.4	2.11	4.26
	Avg. Speed (m/s)	5.50	9.59	10.00	10.30	10.24	10.12	9.26			
Kerron STEWART (JAM)	Lap time (sec)	2.38	4.18	5.84	7.50	9.14	9.98	11.15	47	2.13	4.22
	Avg. Speed (m/s)	5.47	9.41	10.24	10.28	10.32	10.20	8.95			
Ivet LALOVA (BUL)	Lap time (sec)	2.38	4.22	5.94	7.60	9.27	10.12	11.27	50	2.00	4.44
	Avg. Speed (m/s)	5.46	9.24	9.90	10.20	10.22	9.92	9.16			
Marshevet MYERS (USA)	Lap time (sec)	2.41	4.25	5.94	7.62	9.28	10.14	11.33	47.6	2.10	4.20
	Avg. Speed (m/s)	5.39	9.26	10.04	10.14	10.22	9.96	8.80			

Biomechanics Research Project in the IAAF
Biomechanics Analysis of the Men's 100 Meters Sprint
World Championships Daegu 2011
Ji-Seon Ryu (Corea del Sur)

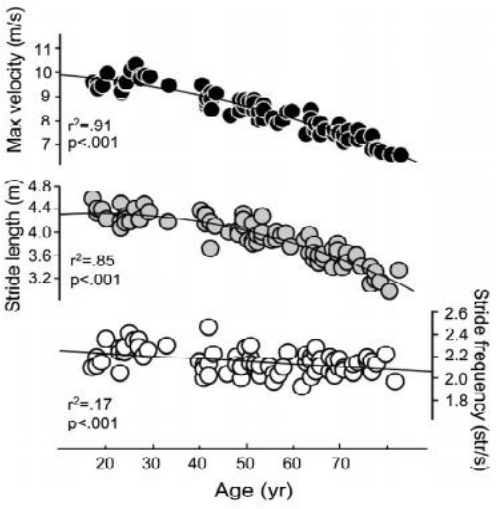


Coeficientes de correlación entre el tiempo en 100 m (F) y las características del sprint

- **a: Número de pasos**
- **b: Longitud de zancada**
- **c: Tiempo de reacción**
- **d: Frecuencia de zancada**



Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes
Marko T. Korhonen
STUDIES IN SPORT, PHYSICAL EDUCATION AND HEALTH – 137
Faculty Sport and Health Sciences (University Jyväskylä). 2009.



La desaceleración de la velocidad máxima con la edad se caracteriza por una reducción en la LZ y un aumento en el Tiempo Contacto junto con menores fuerzas de reacción al suelo y menor rigidez vertical y de piernas durante la fase de contacto.

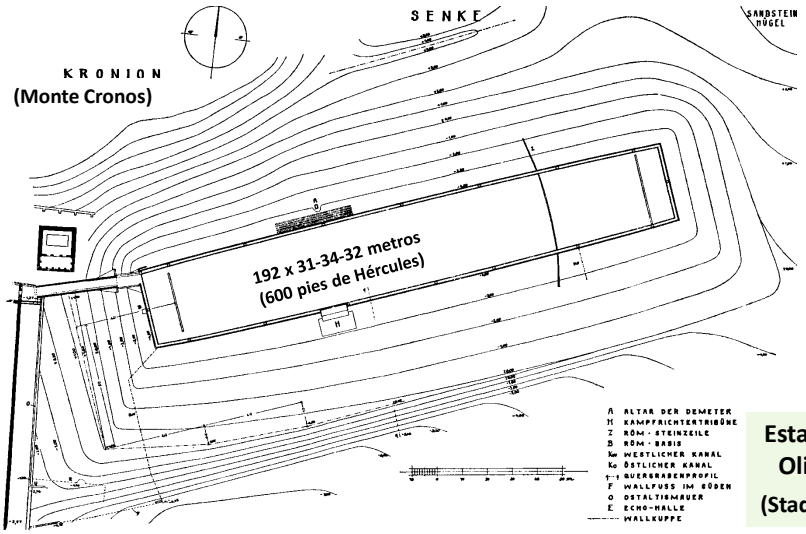
La Frecuencia de Zancada muestra una pequeña disminución mientras que el tiempo de balanceo permaneció inafectado con la edad.

La variabilidad en los parámetros biomecánicos que mostraron buena repetibilidad (CV 1-6%) fue la misma en los corredores mayores que en los más jóvenes, y no se observó ningún efecto de la edad en la simetría de las medidas.

CRONOLOGÍA DE LAS INSTALACIONES PARA LA VELOCIDAD

Estadium: J.O. Iª Olimpiada (776 a J.C.) - Korebos de Elida

Diaulo: J.O. XIVª Olimpiada (724 a J.C.) - Hypenos de Pisa



Estadio de Olimpia
(Stadionikis)

PISTA DE ATLETISMO

NÚMERO DE CALLES

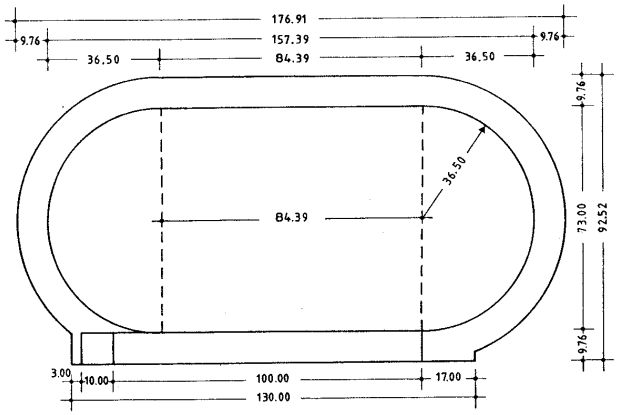
- Generalmente entre 6 y 9 calles, aunque las pistas profesionales tienen 8 o 9.

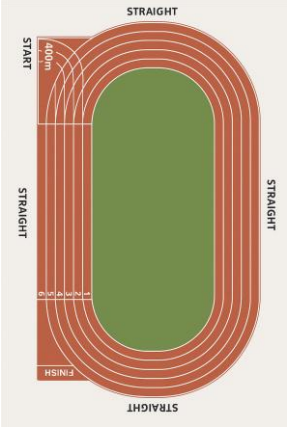
ANCHO DE LAS CALLES

- Estándar: 1.22 metros (mínimo 1.22 m, máximo 1.25 m).

DELIMITACIÓN

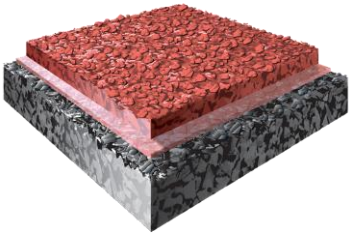
- Cada calle está marcada con líneas blancas, usualmente de 5 cm de ancho.
- Cada atleta debe mantenerse en su calle durante toda la carrera.





PISTAS / SUPERFICIES





La pista de atletismo experimentó una revolución con la introducción de las superficies de poliuretano a finales de la década de 1960

- Hasta entonces, la ceniza o el césped eran los materiales de superficie más comunes, incluso para las competiciones de alto nivel.
- Actualmente, la consistencia entre pistas, y la misma pista en días diferentes, varía mucho menos que antes.
- Las mismas superficies sintéticas pueden utilizarse en instalaciones cubiertas.
- La mayor reacción del suelo, a la fuerza de empuje en el apoyo, que proporcionan estas superficies ha permitido obtener mejores resultados en todas las pruebas.
- En el lado negativo, las pistas sintéticas más duras se han asociado con un mayor riesgo de lesiones por sobrecarga.

PISTAS DE POLIURETANO

COMPOSICIÓN BASE: Capa inferior elástica hecha con gránulos de caucho reciclado o EPDM (caucho sintético) aglutinados con resinas.

CAPA SUPERIOR: Mezcla de poliuretano y gránulos finos de goma o EPDM, aplicada de forma uniforme y sellada.

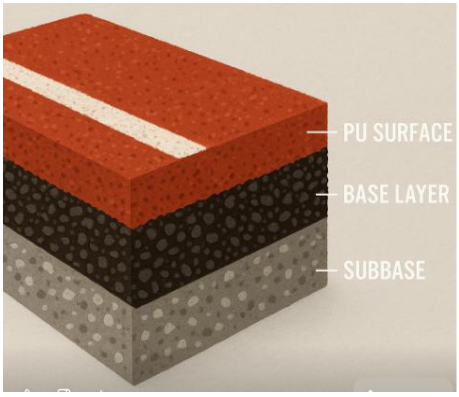
ACABADO: Texturizado con pequeñas partículas visibles, lo que mejora la adherencia y el drenaje.

Normas World Athletics
(antes IAAF):

Grosor Habitual: 13 a 15 mm

Color: rojo terracota, aunque también azul, verde o morado.

Marcaje de líneas: en blanco con pintura especial antideslizante.



EVOLUCIÓN DE LAS PISTAS DE ATLETISMO

PISTAS DE TIERRA BATIDA O CENIZA (siglo XIX – mediados del siglo XX)
Tierra compactada, arcilla, arena o ceniza volcánica. Blandas y con poca adherencia. Requerían mucho mantenimiento**.**

PISTAS DE ASFALTO O ALQUITRÁN CON RECUBRIMIENTO (años 50–60)
Mezclas de alquitrán con arena o gravilla. Superficies más duras, resistentes y regulares que la tierra, pero más duras para las articulaciones.

PISTAS DE TARTÁN (desde 1968)
Poliuretano con caucho (pista sintética de goma).**Inventor:** ***Empresa 3M*** **(Tartan Track).** Gran durabilidad. Excelente tracción y absorción de impactos en carreras y batidas. Superficie uniforme en cualquier clima

PISTAS SINTÉTICAS MODERNAS (desde los años 80)
Mezclas de poliuretano, látex, caucho reciclado, resinas.
Tipo Monocapa: Una sola capa vertida in situ. **Tipo Bicapa**: Base amortiguadora con capa superior resistente. **Modulares o prefabricadas**: Láminas instaladas sobre una base firme. Óptima combinación de rebote, agarre y absorción de impacto. Mínimo mantenimiento y mayor vida útil. Se baten más récords.

PISTAS TECNOLÓGICAS DE ÚLTIMA GENERACIÓN (actualidad y futuro)
Compuestos con nanopartículas, fibras reforzadas, reciclados sostenibles. Ajuste personalizado de la amortiguación. Superficies más reactivas y ecológicas. Algunas incluyen sensores integrados para análisis biomecánico. Ejemplo: Pistas "*Mondotrack WS*" (JJ.OO. de Tokio 2020).

ZAPATILLAS DE CLAVOS

El calzado con clavos no es una tecnología nueva, ya que ha sido un elemento indispensable en las disciplinas de carrera y salto desde la década de 1860

- Generalmente, son muy ligeros, lo que reduce el esfuerzo durante los movimientos de las piernas, pero su principal objetivo es proporcionar mayor tracción.
- Se desarrollaron con la tecnología general del calzado deportivo desde la década de 1920, liderada por fabricantes como ***Adidas*** y ***Puma*** (ALE), **Asics** (Japón) y *Nike* (EE. UU.)
- Los principales cambios en los últimos años se han centrado en los materiales utilizados, ya que los tejidos sintéticos y los plásticos han sustituido al cuero y otros materiales naturales.
- El número de clavos en el calzado es limitado (placa de clavos rígida o semirrígida con 3 a 9 clavos de ≈6 mm).
- Suelen pesar entre 100 y 150 gramos por zapatilla



ADVANCED FOOTWEAR TECHNOLOGY (AFT)

Se refiere a una generación de zapatillas de atletismo que combina espumas ligeras y resistentes en la entresuela con placas rígidas y perfiles rocker pronunciados para mejorar la economía de carrera y el rendimiento

Introducidas por Nike a finales de la década de 2010, las zapatillas AFT han supuesto mejoras significativas en el rendimiento



SUPERSPIKES

Entresuela con placas (fibra de carbono o nailon) combinada con entresuela gruesa de espuma (o cámaras de aire)

Las placas de fibra de carbono, por su efecto sobre la rigidez a la flexión longitudinal, puede influir tanto en la:

Fase de Aceleración como en la de Velocidad Máxima

The potential impact of advanced footwear technology on the recent evolution of elite sprint performances
Mason, J., Niedziela, D., Morin, J. B., Groll, A., & Zech, A.
PeerJ, 11, e16433. 2023.

AFT se asoció con una mejora del rendimiento en 6 de 10 pruebas
100 m ♂ y ♀, 200 m ♀, 110 m vallas ♂, l100 m vallas ♀ y los 400 m vallas ♀
(rango estimado: -0,037 – 0,521, p=<0,001– 0,021)

Para los 100 y 20 mejores atletas, no se observaron diferencias significativas interanuales en ninguna prueba de velocidad antes de la publicación de la *Advanced Footwear Technology* (AFT) (Años 2016-2019)

Sí se observaron diferencias significativas entre los años (2021-2022) y los años previos a la AFT (2016-2019) en 8 de cada 10 pruebas
Estas diferencias oscilaron entre una mejora del 0,40% (100 m ♂) y del 1,5 % (400 m vallas ♀)

	Pre-AFT period				AFT period	
Event (m)	2016	2017	2018	2019	2021	2022
W100	11.13 ± 0.14[#]	11.13 ± 0.14[#]	11.13 ± 0.11[#]	11.14 ± 0.12[*#]	11.09 ± 0.14	11.04 ± 0.13
M100	10.04 ± 0.08	10.07 ± 0.08[#]	10.06 ± 0.08[#]	10.06 ± 0.08[#]	10.04 ± 0.10	10.02 ± 0.08
W200	22.68 ± 0.27	22.73 ± 0.28[*]	22.69 ± 0.26[*]	22.77 ± 0.30[*#]	22.63 ± 0.35	22.57 ± 0.33
M200	20.25 ± 0.19	20.29 ± 0.16[#]	20.25 ± 0.20	20.26 ± 0.21[#]	20.25 ± 0.20	20.18 ± 0.22
W400	51.41 ± 0.68[*#]	51.46 ± 0.68[*#]	51.32 ± 0.72[*#]	51.39 ± 0.73[*#]	50.99 ± 0.75	51.07 ± 0.65
M400	45.18 ± 0.50	45.13 ± 0.46	45.10 ± 0.47	45.17 ± 0.53	45.15 ± 0.46	45.08 ± 0.43
W100H	12.87 ± 0.16	12.91 ± 0.19[*#]	12.89 ± 0.19[*]	12.88 ± 0.20[*]	12.83 ± 0.18	12.80 ± 0.22
M110H	13.43 ± 0.16[#]	13.44 ± 0.17[*#]	13.48 ± 0.16[*#]	13.46 ± 0.16[*#]	13.38 ± 0.17	13.36 ± 0.16
W400H	55.69 ± 0.91	55.78 ± 1.07	55.94 ± 1.00	55.90 ± 1.05	55.62 ± 1.19	55.55 ± 1.16
M400H	49.23 ± 0.53	49.22 ± 0.51	49.20 ± 0.59	49.25 ± 0.59	49.14 ± 0.80	49.07 ± 0.70

Effect of Advanced Footwear Technology Spikes on Sprint Acceleration: A Multiple N-of-1 Trial
Bernuz, B., Laujac, S., Sirial, C., Auffret, S., Preda, C., Slawinski, J., ... & Gavarry, O.
Sports Medicine-Open,
10(1), 92, https://doi.org/10.1186/s40798-024-00758-w. 2024

Compara las zapatillas de clavos Nike® AFT (NAS) con las zapatillas con clavos estándar (SS) sobre 30 m

	SS	NAS	*p*	SMD
Sprint Time (s)	4.81 (0.05)	4.79 (0.05)	**0.014**	0.40
V_{max}(m.s^{-1})	8.32 (0.09)	8.40 (0.09)	**< 0.001**	0.90
V_0(m.s^{-1})	8.68 (0.11)	8.76 (0.11)	**< 0.001**	0.70
$F_{0\,absolute}$(N)	407 (7)	408 (7)	0.505	
$F_{0\,relative}$(N.kg^{-1})	6.84 (0.11)	6.85 (0.11)	0.656	
RF_{max}(ratio)	48.3 (0.6)	48.6 (0.6)	**0.043**	0.50
D_{RF}(ratio)	-7.20 (0.09)	-7.12 (0.09)	0.119	
FVP(ratio)	-0.790 (0.010)	-0.783 (0.010)	0.283	
$P_{max\,absolute}$(W)	887 (23)	899 (23)	**0.006**	0.50
$P_{max\,relative}$(W.kg^{-1})	14.9 (0.4)	15.1 (0.4)	**0.013**	0.50



Se observó un efecto positivo en las características de aceleración del sprint al usar zapatillas Nike® AFT, debido a un aumento en la velocidad y la relación horizontal de la fuerza

VELOCIDAD DEL VIENTO

- **ANTES de 1936: las pruebas de velocidad y salto horizontal podían ser ayudadas por el viento a favor, pero no existía una norma estandarizada para evaluar el viento.**
  - **Por ello, los récords a veces eran cuestionados.**
- **JJ.OO. de la XI Olimpiada (Berlín - 1936): La Federación Internacional de Atletismo Amateur (IAAF) introdujo el anemómetro para algunas pruebas:** 100 m, 200 m, Salto Longitud y Triple Salto
- **NORMA ADOPTADA: Se estableció un viento a favor máximo de +2,0 m/s como límite para que una prueba se considerara válida a efectos de récord.**
  - Si el viento a favor superaba esta cifra, la marca podía ser válida para los resultados de la competición, pero no para reconocimiento del récord o posición en el ranking.
- **Con el tiempo, la norma se amplió a otras pruebas, pero el límite de +2,0 m/s se ha mantenido sin cambios desde entonces.**

EFECTO DEL VIENTO SOBRE EL RENDIMIENTO EN LAS CARRERAS DE VELOCIDAD

El Viento, a favor o en contra, tiene un efecto directo sobre el Rendimiento en Carreras de Velocidad



VIENTO A FAVOR (TAILWIND)

- El viento en la misma dirección de la carrera ayuda a reducir la resistencia del aire.
- El corredor puede mantener la velocidad con menos esfuerzo o alcanzar una mayor velocidad.
- Por eso los tiempos suelen ser más rápidos con viento a favor

VIENTO EN CONTRA (HEADWIND)

- El viento en contra aumenta la resistencia del aire.
- El atleta necesita gastar más energía para mantener su velocidad, empeorando el resultado

EFECTO SOBRE T-100 M

VELOCIDAD VIENTO	CAMBIO ESTIMADO	VELOCIDAD VIENTO	CAMBIO ESTIMADO
- 5 m/s	+ 0.35 seg.	+5 m/s	- 0.21 seg.
-4 m/s	+ 0.27 seg.	+4 m/s	- 0.18 seg.
-3 m/s	+ 0.19 seg.	+3 m/s	- 0.14 seg.
-2 m/s	+ 0.12 seg.	+2 m/s	- 0.10 seg.
-1 m/s	+ 0.06 seg.	1 m/s	- 0.05 seg.

INFLUENCIA DEL VIENTO EN CARRERAS DE VELOCIDAD

Ensayo sobre equivalencias atléticas en velocidad
IX - Influencia del viento en los registros cronométricos
Prudencio García & José María García
Atletismo Español, 31-35. 1994.

VALORES PROMEDIO PARA UNA VELOCIDAD DE 11.0 M.S^{-1}			
Velocidad del Viento (m/s)	Velocidad Media de Carrera (m/s)	Incremento Resistencia del Aire (%)	Modificación Cronométrica (s)
+5	11.348	-66.70	-0.268
+4	11.292	-56.05	-0.225
+3	11.230	-44.03	-0.177
+2	11.160	-30.66	-0.123
+1	11.083	-15.97	-0.064
0	11.000	0.00	0.000
-1	10.910	+17.23	+0.069
-2	10.814	+35.70	+0.143
-3	10.711	+55.37	+0.222
-4	10.602	+76.22	+0.306
-5	10.487	+98.23	+0.395

$R = d*s*c*V^2/2g$

INFLUENCIA DEL VIENTO EN CARRERAS DE VELOCIDAD

Ensayo sobre equivalencias atléticas en velocidad
XI - Influencia del viento
Prudencio García & José María García
Atletismo Español, 36-39. 1994.

100 yardas – Viento +2 m/s		100 metros – Viento +2 m/s	
Tiempo sin Viento (segundos)	Beneficio Cronométrico (segundos)	Incremento Resistencia del Aire (%)	Modificación Cronométrica (s)
9.0	0.1066	9.8	0.1183
9.1	0.1077	9.9	0.1195
9.2	0.1089	10.0	0.1207
9.3	0.1101	10.1	0.1219
9.4	0.1113	10.2	0.1231
9.5	0.1125	10.3	0.1243
9.6	0.1148	10.4	0.1256
9.7	0.1152	10.5	0.1268
9.8	0.1160	10.6	0.1280
9.9	0.1172	10.7	0.1292
10.0	0.1184	10.8	0.1304

"Back-of-the-envelope" wind and altitude correction for 100 metre sprint times
Jonas R. Mureika
arXiv preprint physics/0006057. 2000.

5 mejores resultados all-time de 100 m Hombres y Mujeres
Los tiempos se miden en segundos (s) y la velocidad del viento en m/s
Se asume una altitud correcta con una precisión de ±20 m

Athlete	$t_{w,II}$ (w)	Venue (Altitude)	Date	$t_{0,0}$
Maurice Greene USA	9.79 (+0.1)	Athens, GRE (110)	99/06/16	9.80
Bruny Surin CAN	9.84 (+0.2)	Athens, GRE	99/08/22	9.85
Donovan Bailey CAN	9.84 (+0.7)	Atlanta, USA (315)	96/07/27	9.88
Leroy Burrell USA	9.85 (+1.2)	Lausanne, SWI (600)	94/07/06	9.92
Ato Boldon TRI	9.86 (−0.4)	Athens, GRE	98/06/17	9.84
Frank Fredericks NAM	9.86 (−0.4)	Lausanne, SWI	96/07/03	9.86
Florence Griffith-Joyner USA	10.49 (+0.0)	Indianapolis, USA (220)	88/07/16	10.50
	10.61(+1.2)	Indianapolis, USA	88/07/17	10.68
Marion Jones USA	10.72 (+0.0)	Monaco (10)	98/08/08	10.72
Christine Aaron FRA	10.73 (+2.0)	Budapest, HUN (150)	98/08/19	10.84
Merlene Ottey JAM	10.74 (+1.3)	Milano, ITA (121)	96/09/07	10.82
Evelyn Ashford USA	10.76 (+1.7)	Zurich, SWI (410)	84/08/22	10.87

"Back-of-the-envelope" wind and altitude correction for 100 metre sprint times
Jonas R. Mureika
arXiv preprint physics/0006057. 2000.

Top 5 all-time wind-assisted marks (w > +2.0 m/s)

Athlete	$t_{w,II}$ (w)	Venue (Altitude)	Date	$t_{0,0}$
Obadele Thompson BAR	9.69 (+5.7)	El Paso, USA (1300)	96/04/13	9.91
Carl Lewis USA	9.78 (+5.2)	Indianapolis, USA	88/07/16	9.98
Andre Cason USA	9.79 (+4.5)	Eugene, USA	93/06/16	9.97
Maurice Greene USA	9.79 (+2.9)	Eugene, USA	98/05/31	9.92
Leonard Scott USA	9.83 (+7.1)	Knoxville, USA (270)	99/04/09	10.07
Griffith-Joyner USA	10.49 (+5.5)	Indianapolis, USA	88/07/16	10.72
	10.54(+3.0)	Seoul, SKR (85)	88/09/25	10.69
Marion Jones USA	10.75 (+4.1)	New Orleans, USA (10)	98/06/19	10.95
Gail Devers USA	10.77 (+2.3)	San Jose, USA (10)	94/05/28	10.90
Ekaterini Thanou GRE	10.77 (+2.3)	Rethymno, GRE (20)	99/05/29	10.90
Evelyn Ashford USA	10.78 (+3.1)	Modesto, USA (25)	84/05/12	10.94

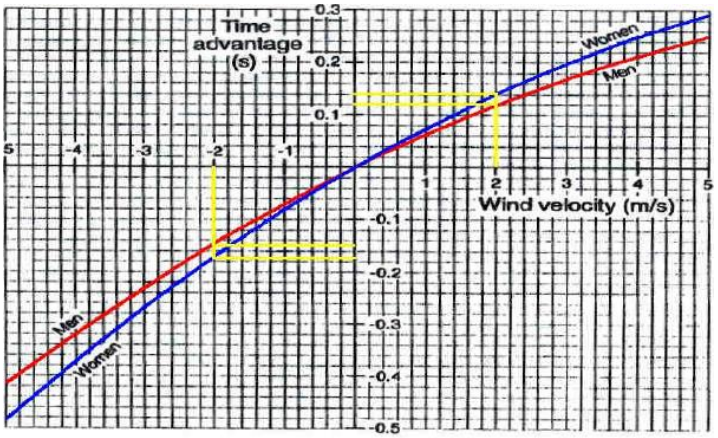
The effect of wind on 100-m sprint times
Nicholas P. Linthorne
Journal of Applied Biomechanics, 10(2), 110-131. 1994.

El efecto del viento en los tiempos 100 m se determinó utilizando los finalistas en las Pruebas Olímpicas de EE. UU. y los Campeonatos TAC durante 10 años, y a múltiples actuaciones de atletas individuales en los Juegos Olímpicos y Campeonatos Mundiales

La tasa de mejora disminuyó gradualmente con el aumento de la velocidad del viento

La desventaja de un viento frontal fue mayor que el beneficio de un viento de cola de misma magnitud

La ventaja de un viento de popa de 2 m/s fue de 0,10±0,01 s para sprinters ♂ y 0,12±0,02 s para ♀



The Effects of Wind and Altitude in the 200-m Sprint Mike D. Quinn
Journal of Applied Biomechanics, 19, 49-59. 2003.

Algunas actuaciones que oficialmente cuentan con viento e contra se han visto afectadas al promediarse a lo largo de la carrera

Algunas actuaciones que se enfrentan a un viento en contra en la recta se han beneficiado de un viento de cola general

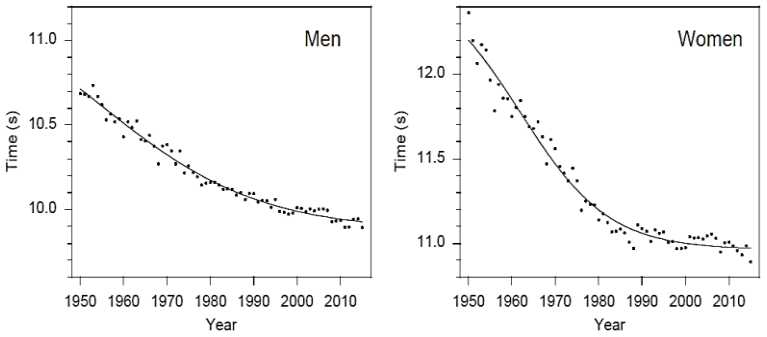
Estiman que, en promedio, para un viento de 2 m/s que sopla en la recta, en realidad el corredor de 200 m se beneficia de un viento de cola general de tan solo 0,95 m/s

Head wind: time lost (s)	–5.0	–4.0	–3.0	–2.0	–1.0
Men's 100	0.340	0.262	0.189	0.121	0.058
Men's 200	0.318	0.251	0.184	0.121	0.059
Women's 100	0.378	0.291	0.209	0.134	0.064
Women's 200	0.357	0.280	0.205	0.135	0.065
Tail wind: time gained (s)	**+1.0**	**+2.0**	**+3.0**	**+4.0**	**+5.0**
Men's 100	0.053	0.101	0.145	0.183	0.217
Men's 200	0.056	0.112	0.164	0.214	0.262
Women's 100	0.058	0.110	0.156	0.196	0.231
Women's 200	0.062	0.123	0.180	0.235	0.287

Improvement in 100-m Sprint Performance at an Altitude of 2250 m
Nicholas P. Linthorne
Sports, 4, 29; doi:10.3390/sports4020029. 2016.

A 2250 m de altitud, la menor densidad del aire disminuye la resistencia, permitiendo una mayor velocidad

La mejora se debe casi exclusivamente a la reducción de la resistencia aerodinámica, siendo un factor determinante en las marcas obtenidas en pruebas celebradas en altura



Evolución de los registros en 100 m en hombres (izq) y mujeres (dcha) entre 1950 y 2010
Se observa una mejora rápida hasta los años 80 y una posterior estabilización, lo que sugiere una aproximación al límite fisiológico del rendimiento humano.

INFLUENCIA DE LA ALTITUD EN CARRERAS DE VELOCIDAD

Ensayo sobre equivalencias atléticas en velocidad
XIII - Influencia de la Altitud
Prudencio García & José María García
Atletismo Español, 30-32. 1994.

Altitud (m)	Incremento (%) Resistencia Aire	Equivalencia Viento Favor (m/s)	Incremento Velocidad (m/s)	Beneficio Cronométrico (s)
600	5.92	0.3614	0.03089	0.0238
800	7.83	0.4800	0.04084	0.0314
1000	9.70	0.5977	0.05063	0.0390
1200	11.54	0.7146	0.06025	0.0464
1400	13.36	0.8306	0.07899	0.0536
1600	15.14	0.9456	0.08813	0.068
1800	16.89	1.0598	0.09711	0.0678
2000	18.61	1.1731	0.10595	0.0747
2200	20.30	1.2857	0.10595	0.0815
2400	21.96	1.3972	0.11461	0.0882
2600	23.59	1.5079	0.12313	0.0948
2800	25.20	1.6179	0.13151	0.1012
3000	26.77	1.7268	0.13974	0.1075

The Effects of Wind and Altitude in the 200-m Sprint Mike D. Quinn
Journal of Applied Biomechanics, 19, 49-59. 2003.

En carreras de 200 m, existe un único anemómetro que registra la velocidad del del viento en la recta, no su dirección

Es evidente que, para la misma lectura oficial del viento, un atleta puede enfrentarse a condiciones muy diferentes. El modelo estima que, para la misma lectura del viento, las condiciones predominantes pueden producir una diferencia de tiempo de hasta 0,5 s

Corrección estimada (s) en 200 m para un viento de +2 m/s

Wind direc. θ°	Actual wind speed (m/s)	Lane 1 Men	Lane 1 Women	Lane 8 Men	Lane 8 Women	Avg of all 8 lanes Men	Avg of all 8 lanes Women
−70	5.85	−0.14	−0.16	−0.14	−0.17	−0.16	−0.17
−50.3	3.13	0	0	0.01	0.01	0	0
−30	2.31	0.05	0.06	0.07	0.08	0.06	0.07
0	2	0.10	0.11	0.13	0.14	0.11	0.12
+30	2.31	0.15	0.16	0.18	0.20	0.16	0.18
+53.2	3.34	0.20	0.22	0.24	0.27	0.22	0.25
+70	5.85	0.30	0.33	0.35	0.38	0.33	0.36

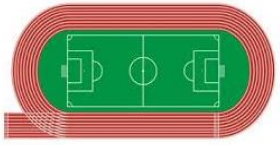
Ventaja por cada Calle a 2 m/s

θ = 0 Lane	Wind reading = +2 m/s Men	Wind reading = +2 m/s Women	Wind reading = +4.22 m/s Men	Wind reading = +4.22 m/s Women
1	0.099	0.110	0.202	0.222
2	0.100	0.111	0.203	0.223
3	0.105	0.116	0.211	0.232
4	0.109	0.121	0.219	0.241
5	0.113	0.125	0.228	0.250
6	0.116	0.128	0.234	0.256
7	0.123	0.136	0.247	0.271
8	0.126	0.139	0.253	0.277
Avg.	0.112	0.123	0.225	0.247

EFECTO DE LA ALTURA SOBRE EL RENDIMIENTO EN LAS CARRERAS DE VELOCIDAD

Es un hecho comprobado que la Altura moderada tiene un efecto beneficioso sobre el rendimiento en pruebas de velocidad





ALTITUD (m)	MEJORA T-100 (segundos)	EFECTO SOBRE EL RESULTADO
Nivel del Mar	0.000 s	Referencia
500 metros	0.01-0.02 seg.	Casi Imperceptible
1000 metros	0.03-0.04 seg.	Ligera Ayuda
1500 metros	0.05-0.06 seg.	Ayuda Notable
2000 metros	0.07-0.08 seg.	Ventaja Significativa
2250 metros	0.10-0.25 seg.	Altura Excelente

EFECTO DE LA ALTITUD (≈ 2250 M) SOBRE PRUEBAS DE VELOCIDAD Y VALLAS

Prueba	Beneficio estimado en tiempo	% de mejora aprox.	Referencias principales
100 m lisos (h)	−0,19 s (±0,10)	~1,9 %	Linthorne (2017), Peronnet & Thibault (1991)
100 m lisos (m)	−0,23 s (±0,13)	~2,1 %	Linthorne (2017)
200 m lisos	−0,12 a −0,16 s	~0,8–1,0 %	Mureika (2001), BrianMac (altwind)
400 m lisos	−0,02 a −0,05 s	~0,1–0,2 %	Mureika (2001), Peronnet & Thibault (1991)
100 m vallas (mujeres)	−0,14 a −0,18 s	~1,2–1,5 %	Modelos teóricos + ajuste de resistencia
110 m vallas (hombres)	−0,11 a −0,15 s	~1,0–1,2 %	Modelos teóricos + ajuste de resistencia
400 m vallas	−0,01 a −0,03 s	<0,1 %	Pugh (1970), Peronnet & Thibault (1991)

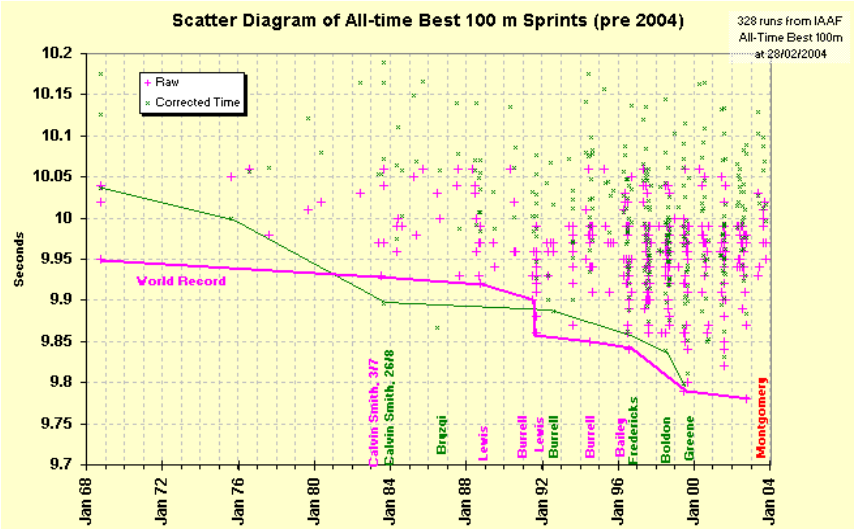
Adjusted Time	Name	Venue	Date	Raw Time	Wind	Raw Rank	Adj Rank	Up	Record Type
9.80	Maurice Greene	Athina	16 06 1999	9.79	0.1	2	1	1	W&A
9.81	Maurice Greene	Sevilla	22 08 1999	9.8	0.2	3	2	1	
9.83	Maurice Greene	Edmonton	05 08 2001	9.82	-0.2	4	3	1	
9.84	Ato Boldon	Athina	17 06 1998	9.86	-0.4	11	4	7	A
9.85	Maurice Greene	Berlin	01 09 2000	9.86	-0.2	12	5	7	
9.85	Bruny Surin	Sevilla	22 08 1999	9.84	0.2	5	6	-1	
9.85	Maurice Greene	Sydney	23 09 2000	9.87	-0.3	19	7	12	
9.86	Frank Fredericks	Lausanne	03 07 1996	9.86	-0.4	13	8	5	A
9.86	Tim Montgomery	Edmonton	05 08 2001	9.85	-0.2	8	9	-1	
9.87	Viktor Bryzgin	Leningrad	07 06 1986	10.03	-2.5	286	10	276	A
9.87	Ato Boldon	Athína	16 06 1999	9.86	0.1	14	11	3	
9.87	Maurice Greene	Athína	03 08 1997	9.86	0.2	15	12	3	
9.88	Ato Boldon	Kuala Lumpur	17 09 1998	9.88	-0.1	26	13	13	
9.88	Tim Montgomery	Paris	14 09 2002	9.78	2	1	14	-13	W
9.89	Maurice Greene	Osaka	13 05 2000	9.91	-0.4	46	15	31	
9.89	Leroy Burrell	Barcelona	01 08 1992	9.97	-1.3	159	16	143	A
9.89	Donovan Bailey	Atlanta, GA	27 07 1996	9.84	0.7	6	17	-11	W
9.89	Donovan Bailey	Abbotsford	19 07 1997	10.03	-2.1	287	18	269	
9.89	Maurice Greene	Athína	11 06 2001	9.91	-0.3	47	19	28	
9.90	Maurice Greene	Roma	07 07 1999	9.85	0.8	9	20	-11	
9.90	Calvin Smith	Bruxelles	26 08 1983	10.04	-2.2	294	21	273	A
9.90	Maurice Greene	Uniondale, NY	21 07 1998	9.96	-1	129	22	107	
9.90	Maurice Greene	Sevilla	21 08 1999	9.91	-0.2	48	23	25	
9.90	Michael Marsh	Walnut, CA	18 04 1992	9.93	-0.6	70	24	46	
9.90	Linford Christie	Stuttgart	15 08 1993	9.87	0.3	20	25	-5	
9.90	Maurice Greene	Zürich	11 08 2000	9.94	-1	87	26	61	
9.90	Maurice Greene	Edmonton	04 08 2001	9.88	0	27	27	0	
9.90	Ato Boldon	Lausanne	02 07 1999	9.86	0.4	16	28	-12	
9.90	Ato Boldon	Atlanta, GA	27 07 1996	9.93	-0.6	71	29	42	

Comparing 100m Sprints
Sea-Level Still-Wind Trends in Elite Performances

Ejemplo de Ranking 100 m (H) (≤9.90 s) ajustados a velocidad del viento y altura en prueba

COMPARING 100m SPRINTS
Sea-Level Still-Wind Trends in Elite Performances
Jonas Mureika

COMPARING 100m SPRINTS
Sea-Level Still-Wind Trends in Elite Performances
Jonas Mureika
Diagrama de Dispersión de Marcas (N: 354) en 100 m (1968-2004)
Marcas Ajustadas a Velocidad del Viento y Altitud



"Back-of-the-envelope" wind and altitude correction for 100 metre sprint times
Jonas R. Mureika
arXiv preprint physics/0006057. 2000.

Top 5 all-time altitude-assisted marks (H > 1000 m)

Athlete	$t_{w,H}$ (w)	Venue (Altitude)	Date	$t_{0,0}$
Obadele Thompson BAR	9.87 (−0.2)	Johannesburg, RSA (1750)	98/09/11	9.91
Seun Ogunkoya NGR	9.92 (−0.2)	Johannesburg, RSA	98-09-11	9.96
Calvin Smith USA	9.93 (+1.4)	Colorado Springs, USA (1853)	83/07/03	10.04
Jim Hines USA	9.95 (+0.3)	Mexico City, MEX (2250)	68/10/14	10.03
Olapade Adeniken NGR	9.95 (+1.9)	El Paso, USA (1300)	94-04-16	10.07
Marion Jones USA	10.65 (+1.1)	Johannesburg, RSA	98/09/12	10.76
Dawn Sowell USA	10.78 (+1.0)	Provo, USA (1380)	89/06/03	10.81
Evelyn Ashford USA	10.79 (+0.6)	Colorado Springs, USA	83/07/03	10.88
Diane Williams USA	10.94 (+0.6)	Colorado Springs, USA	83/07/03	11.03
Chandra Sturrup BAH	10.97 (+1.1)	Johannesburg, RSA	98/09/12	11.08

REGLAMENTO DE COMPETICIONES EN PRUEBAS ATLÉTICAS DE VELOCIDAD



ORGANIZACIÓN DE LAS SERIES EN PRUEBAS DE VELOCIDAD Y VALLAS

R	1ª RONDA			2ª RONDA			3ª RONDA		
Atletas	Nº Series	Puesto	Tiempo	Nº Series	Puesto	Tiempo	Nº Series	Puesto	Tiempo
9-16	2	3	2						
17-24	3	2	2						
25-32	4	3	4	2	4				
33-40	5	4	4	3	4	4	4	2	4
41-48	6	4	8	4	4			2	4
49-56	7	4	4	4	4			2	4
57-64	8	3	8	4	4			2	4

ORGANIZACIÓN DE LA 2ª RONDA EN PRUEBAS DE VELOCIDAD Y VALLAS

Se clasifica a los atletas con los siguientes criterios:

- **Ganador Serie más Rápida.**
- **Ganador Segunda Serie más Rápida, etc.,.**
- **Atleta con Mejor Marca de los Clasificados por Tiempos.**
- **Etc....**

Asignación de Serie a los Atletas Clasificados

S-A	**1º**	**6º**	**7º**	**12º**	**13º**	**18º**	**19º**	**24º**
S-B	**2º**	**5º**	**8º**	**11º**	**14º**	**17º**	**20º**	**23º**
S-C	**3º**	**4º**	**9º**	**10º**	**15º**	**16º**	**21º**	**22º**

FOTO-FINISH

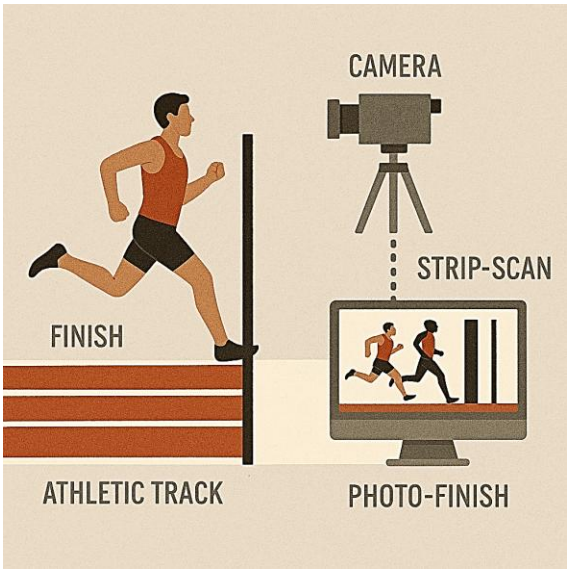


FOTO-FINISH



PRIMEROS INTENTOS:

JJ.OO. de la IX Olimpiada de Ámsterdam 1928:

Se probó una cámara llamada "***Zeiss kinetoscope***", aunque no era obligatoria ni oficial, servía solo como apoyo en caso de dudas.

PRIMER USO OFICIAL:



JJ.OO. de la X Olimpiada de Los Ángeles 1932:

Se utilizó la cámara "***Kirby Two-Eyed Camera***", considerada el primer sistema oficial de photo-finish en atletismo.

- Tomaba imágenes en intervalos de 1/100 de segundo**.**
- Se usó para dirimir llegadas muy ajustadas en las pruebas de velocidad.
- A partir de ahí, la IAAF la reconoció como válida para confirmar resultados.



CONSOLIDACIÓN:

Durante los años 40 y 50 la tecnología fue mejorando.

En los JJOO. de la XIV Olimpiada de Londres 1948

Se introdujo la "***Omega Timer***" con integración de cronometraje electrónico y foto-finish: cronometraje oficial a 1/100 segundo con registro visual de llegada.

FOTO-FINISH

PRIMEROS AVANCES:

JJ.OO. de la IX Olimpiada de Tokio 1964:

Introducción del cronometraje totalmente automático:
(TAC, *Fully Automatic Timing*)



- Se integra el disparo del "starter" con el sistema fotográfico y electrónico **DE CRONOMETRAJE**.
- Desde aquí, las marcas empiezan a ser 100% fiables.

TEMPORADA DE 1977:

La IAAF decreta que solo las marcas obtenidas con cronometraje automático son válidas para poder ser reconocidas como récords mundiales en pruebas de velocidad.

(60,100,200 y 400m – 60, 100, 110 y 400m vallas)



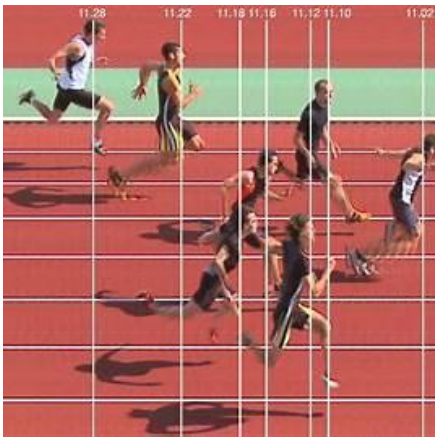
ACTUALIDAD:

Sistemas digitales de *photo-finish* de alta velocidad (i.e. ***Omega Scan'O'Vision***), que capturan hasta 10.000 imágenes por segundo, permitiendo reflejar llegadas a milésimas de segundo.

FOTO-FINISH

Representación típica de la tecnología de ***strip-scan*** (***fotografía de rendija***) utilizada en las ***FOTO-FINISH*** modernas. En ella se observan:

- Corredores que cruzan la línea de meta, capturados en diferentes momentos, pero también proyectados sobre una misma línea de llegada.
- Líneas verticales, y datos, que indican posiciones temporales exactas en las que cada atleta cruzó.
- El fondo blanco continuo es la repetición del plano de meta a lo largo del tiempo, lo que permite comparar de forma precisa el orden de llegada



El tiempo lo determina el torso del atleta cuando cruza línea de meta
En los JJ.OO. de París (2024), Noah Lyles (USA) ganó la Medalla de Oro en los 100 m gracias a una diferencia de apenas 0,005 segundos.

FOTO-FINISH

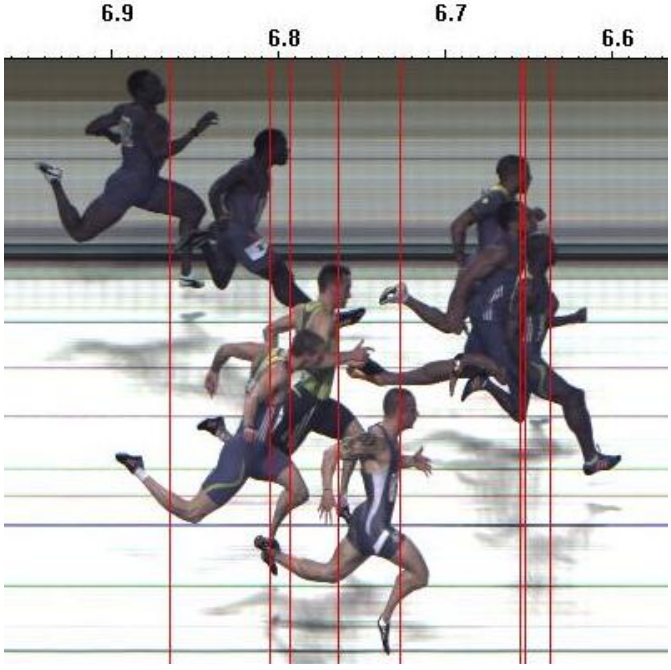
En carreras de velocidad, la foto-finish se refiere al uso de una cámara de alta velocidad para determinar al ganador cuando 2 o más corredores terminan muy cerca uno del otro, haciendo imposible distinguir al ganador a simple vista (incluso con repeticiones a cámara lenta)

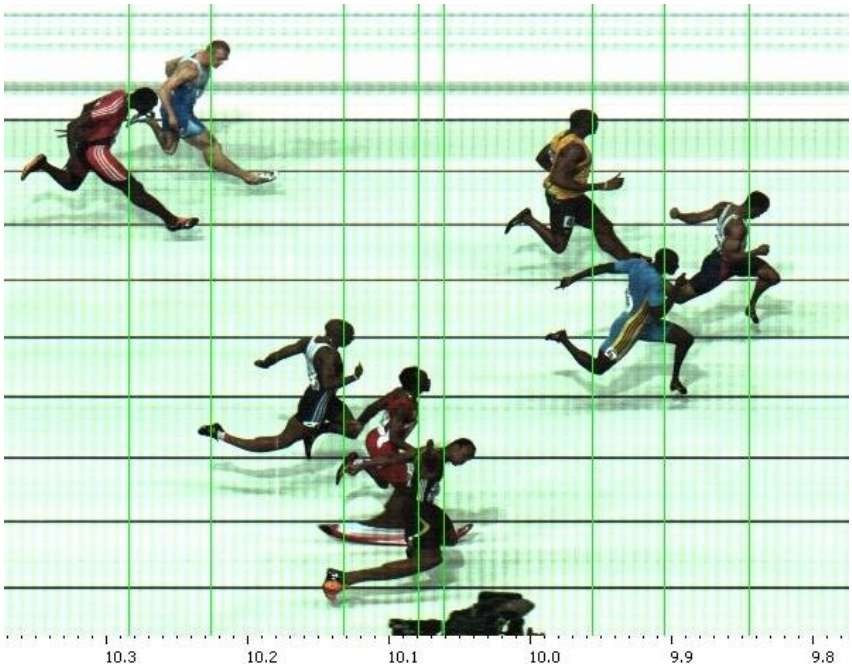
CÓMO FUNCIONA:
Las cámaras de foto finish utilizan una técnica de fotografía de franja, capturando una fina franja de la línea de meta a alta velocidad.

RESOLUCIÓN TEMPORAL:
La cámara captura una secuencia de imágenes a lo largo de la línea de meta, donde cada posición representa un momento específico.

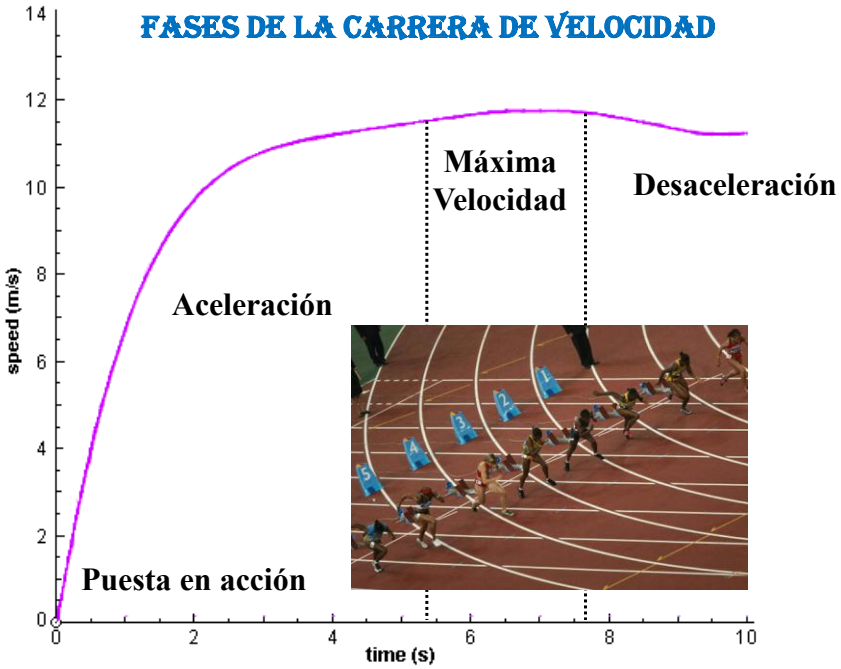
PARTE DEL CUERPO:
El tiempo oficial de llegada se determina por la parte del cuerpo que cruza la línea primero. En atletismo, es el torso (pecho, abdomen, pelvis y espalda).

MARGEN DE ERROR:
El tiempo oficial tiene un pequeño margen de error, pero la tecnología de foto finish permite determinar con mayor precisión al ganador.


6.9
6.8
6.7
6.6


10.3
10.2
10.1
10.0
9.9
9.8

FASES DE LA CARRERA DE VELOCIDAD



Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres

Krzysztof Mackala

New Studies in Athletics, 22(2), 7-16. 2007.

Proponen una estructura más compleja que divide el evento en siete fases:



Fase I: Aceleración Inicial (0-20 m);

Fase II: Segunda Aceleración (20-40 m);

Fase III: Pico Inicial de Velocidad (40-50 m);

Fase IV: 1ª Regulación de Velocidad (50-60 m);

Fase V: 2ª Regulación de Velocidad (60-70 m);

Fase VI: Máxima Velocidad (70-80 m);

Fase VII: Desaceleración (80-100 m).

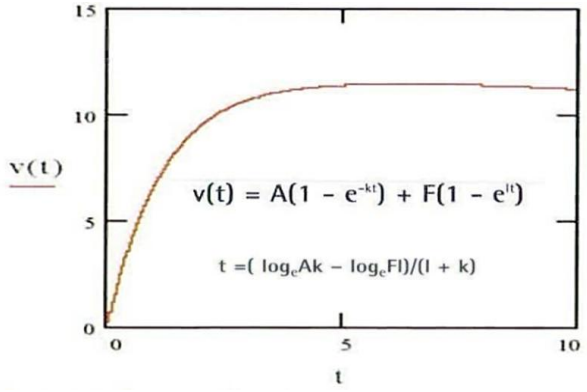
A mathematical model of the 100 m and what it means

Kevin Prendergast

New Studies in Athletics, 16(3), 31-36 2001

MODELO MATEMÁTICO DE LOS 100 M LISOS

Basado en datos de rendimiento de élite (CM 1999)

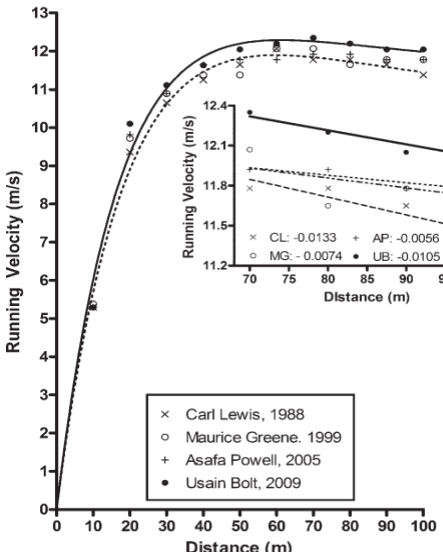


El modelo nos permite identificar y describir los componentes de cada una de las fases de la prueba

The Science of Speed:
Determinants of Performance in the 100 m Sprint

Aditi S. Majumdar & Robert A. Robergs

International Journal of Sports Science & Coaching 6(3), 479-493. 2011



En la élite, existe una gran variedad de formas de correr 100 m

A pesar de sus diferentes técnicas de carrera y de diferente morfología,

Carl Lewis (1988), Maurice Greene (1999), Asafa Powell (2005) y Usain Bolt (2008)

muestran curvas de velocidad muy similares en los 100 m

Usain Bolt sigue siendo único por su mayor Tasa de Aceleración y Velocidad Maxima

Todos comenzaron a reducir su velocidad entre los 60 y 70

Assessment of sprint parameters in top speed interval in 100 m sprint: a pilot study under field conditions

Seidl, T., Russomanno, T. G., Stöckl, M., & Lames, M.
Frontiers in Sports and Active Living, 3, 689341. 2021.

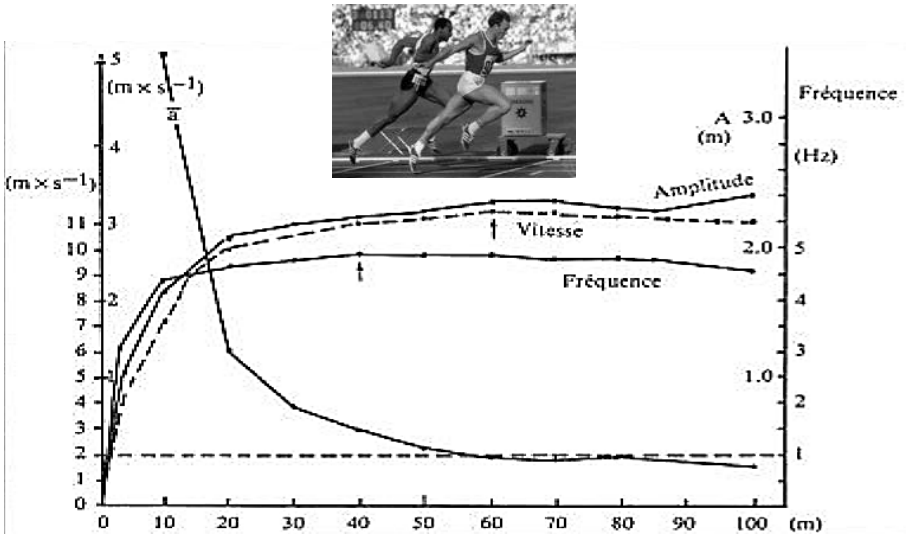
No se encontraron correlaciones significativas para la amplitud de la velocidad intracíclica en los atletas masculinos, y solo con LZ a Vmax en las atletas femeninas

Esto podría significar que la amplitud de Vmax. constituye una dimensión independiente del rendimiento en el sprint, que afecta a Vmax., con un r=0,370 (en hombres: 0,169)

	Male				Female				*t*-test			Reliability ICC
	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std	Min	Max	*t*-Values	*p*-Values	Effect size	
Sprint time (s)	11.93	0.56	11.21	12.67	13.08	0.44	12.34	14.11	6.47	$p < 0.001$	2.22	0.963
Max. speed (m/s)	9.44	0.50	8.86	10.18	8.47	0.35	7.88	9.03	−6.23	$p < 0.001$	2.26	0.990
Start acceleration (m/s²)	6.29	0.55	5.39	7.32	5.84	0.44	4.92	6.57	−2.56	$p < 0.016$	0.90	0.851
Speed endurance (%)	93.11	3.23	88.07	98.54	91.06	3.69	84.01	97.99	−1.65	$p < 0.109$	0.59	0.190
Top speed start location (m)	47.94	4.82	43.01	59.06	43.08	4.51	36.17	57.08	210.00	$p < 0.001$	0.56	0.440+
Top speed end location (m)	68.64	4.80	63.53	79.39	63.92	4.70	57.69	78.63	203.00	$p < 0.003$	0.51	0.416+
Top speed length (m)	20.69	0.66	19.96	22.27	20.84	0.68	19.73	22.04	0.60	$p < 0.552$	0.21	0.336
Top speed start time (s)	6.52	0.60	5.76	7.93	6.47	0.59	5.54	8.11	−0.25	$p < 0.802$	0.09	0.424
Top speed end time (s)	8.72	0.65	7.83	10.18	8.93	0.61	8.12	10.55	0.94	$p < 0.357$	0.33	0.518
Top speed duration (s)	2.20	0.13	2.01	2.41	2.47	0.12	2.30	2.68	5.83	$p < 0.001$	2.07	0.903
Top speed step time (s)	0.23	0.01	0.22	0.24	0.24	0.01	0.22	0.26	1.51	$p < 0.141$	0.54	0.914
Top speed step length (m)	2.10	0.09	1.99	2.21	2.00	0.09	1.80	2.14	−2.97	$p < 0.006$	1.06	0.865
Top speed amplitude (m/s)	1.31	0.31	0.82	1.77	0.71	0.11	0.51	0.91	245.00	$p < 0.001$	0.80	0.976
Normalized top speed amplitude (%)	13.88	3.18	8.93	18.27	8.42	1.25	6.26	10.40	227.00	$p < 0.001$	0.67	0.970

Valeri Filipovich Borzov (Campeón Olímpico en JJ.OO. Múnich 1972) muestra que la **Velocidad Máxima** se alcanza a ≈60 metros y la FZ después de los 40 metros

En los últimos 14-15 m, la velocidad disminuyó sólo ligeramente, debido a que Borzov logró mantener una FZ alta a pesar del aumento de la LZ al final de carrera



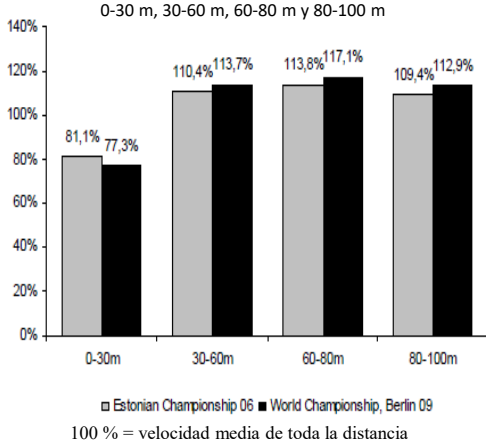
Entrenamiento de las pruebas de velocidad (100 y 200 metros) para juniors
T. Popov
Cuadernos de Atletismo, 19, 41-50. 1986.

FASE	60 M	100 M	200 M	400 M
TR y Despegue de los Tacos de Salida	20%	5-10%	1-5 %	-//-
Fase de Aceleración	40%	25-30%	15-20%	-//-
Fase de Máxima Velocidad	40%	40%	40%	40%
Resistencia a la Máxima Velocidad	-//-	25%	40%	60%

EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD EN LAS DIFERENTES FASES DE UNA CARRERA DE VELOCIDAD

Running velocity dynamics in 100 m sprint: comparative analysis of the world top and estonian top male sprinters
Mikola Misjuk & Mehis Viru
Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis, 17, 131-138. 2011.

Velocidades de mejores velocistas masculinos de Estonia y del mundo en diferentes tramos de la carrera de 100 m
0-30 m, 30-60 m, 60-80 m y 80-100 m



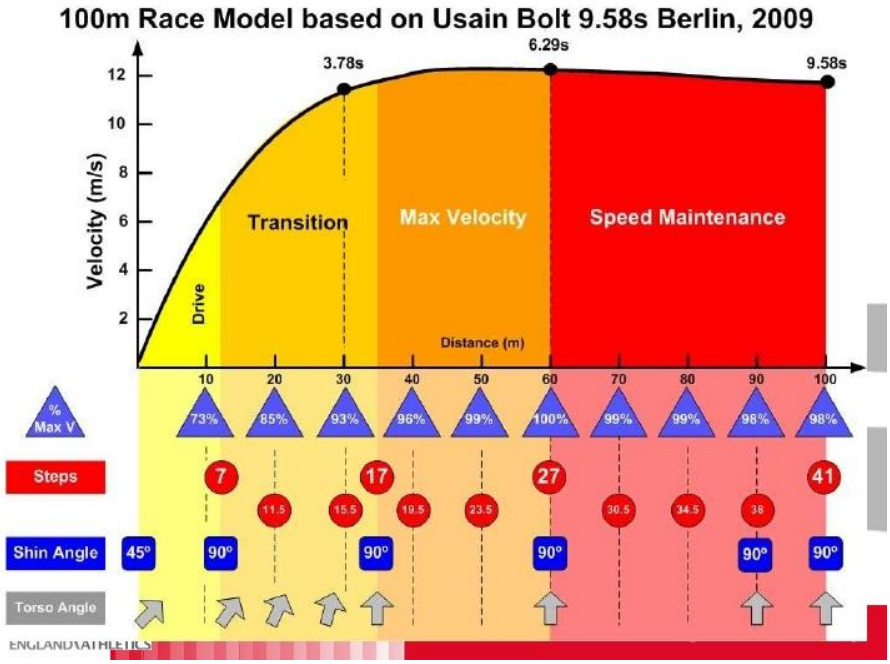
100 % = velocidad media de toda la distancia

Los estonios pierden menos V (5,1 %) que mejores del mundo en la distancia 0-30 m

La pérdida frente a los mejores del mundo es mayor y aproximadamente igual (12,2% a 12,5%) en las demás secciones de la carrera (30-60 m, 60-80 m y 80-100 m)

Los estonios tienen una capacidad de aceleración relativamente mejor en comparación con el resto de las capacidades físicas necesarias para correr 100 m a alto nivel

Los estonios pierden más (12.5%) frente a los mejores del mundo en la última sección de la carrera (80-100 m)

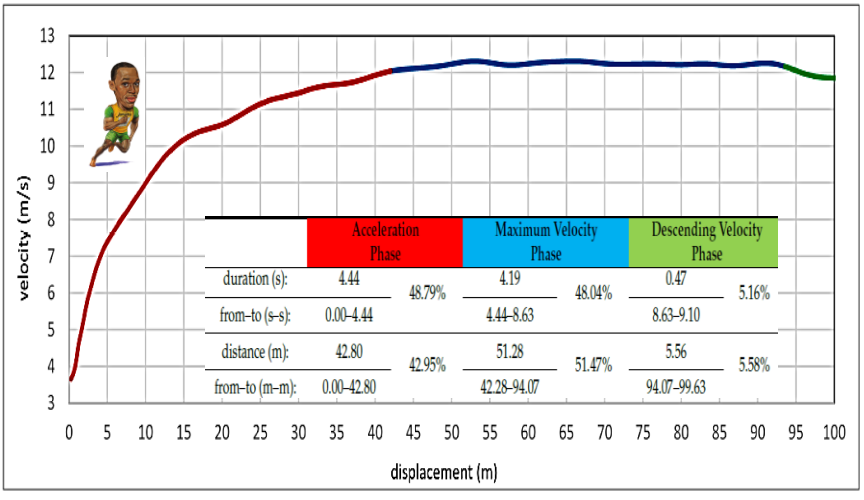


Multicomponent Velocity Measurement for Linear Sprinting: Usain Bolt's 100 m World-Record Analysis

Stanislav Štuhec, Peter Planjšek, Milan Coh 1 & Krzysztof Mackala

Bioengineering, 10, 1254. https://doi.org/10.3390/bioengineering10111254.2023

Evolución de la velocidad de carrera de Usain Bolt, dividida en tres fases:
Aceleración, Velocidad Máxima & Pérdida de Velocidad



The dynamics of" sprint" running.
Furusawa, K., Hill, A. V., & Parkinson, J. L.
Proceedings of the Royal Society of London. Series B, 102(713), 29-42. 1927.

Estudio pionero que aplicó principios de la fisiología y la biomecánica al estudio del sprint
(Es considerado un trabajo fundacional en la biomecánica del sprint)

Describen la carrera de 100 m como una curva de aceleración rápida inicial, seguida de un periodo de velocidad máxima sostenida por poco tiempo, y luego una fase de declive

Identificaron que el sprint está limitado no solo por factores mecánicos (LZ & FZ), sino por la capacidad metabólica y mecánica de los músculos:

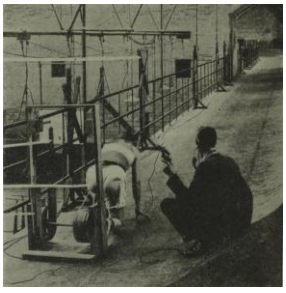
- Los músculos producen potencia máxima solo durante unos segundos.
- La fatiga metabólica obliga a reducir la fuerza aplicada, causando la pérdida de velocidad.

Sobre el concepto de Velocidad Máxima plantea el siguiente razonamiento:

"La velocidad máxima admisible de movimiento.—Considere una serie de animales similares de diferente tamaño, y supongamos que las dimensiones lineales de cada uno de ellos se caracterizan por la longitud l. Sea M la masa de una de sus extremidades y v la velocidad máxima que puede alcanzar en esa extremidad. Entonces, el momento de la extremidad es proporcional a Mv. Este momento se crea al inicio de un movimiento, o se destruye al final del mismo, por una fuerza F que actúa durante un tiempo t; y podemos escribir, ignorando las constantes, Mv = Ft. Ahora bien, t, el tiempo empleado en producir o detener un movimiento, es proporcional a l/v, mientras que M es proporcional a l3, de modo que, ignorando también las constantes, l3 = Fl/v"

The equation of motion of a runner, exerting a maximal effort
Charles Herbert Best & Ruth C. Partridge
Proceedings of the Royal Society of London. Series B, 103(724), 218-225. 1928.

Este artículo es clave porque transformó las observaciones de las carreras de velocidad representándola a través de una ecuación de movimiento, anticipando las herramientas de la biomecánica computacional actual



- **Buscaban cuantificar con rigor matemático el movimiento de un corredor a máxima intensidad.**
- **Mostraron que la velocidad máxima es transitoria, determinada por la interacción entre potencia muscular y resistencia externa.**
- **Supuso un puente entre la fisiología experimental de Hill y la modelización biomecánica moderna del sprint.**

Experimentos en los que se han aplicado resistencias externas de magnitud variable a un corredor muestran que la velocidad máxima del sujeto disminuye en la cantidad calculada a partir de las ecuaciones propuestas po Furusawa, Hill y Parkinson (1927)

Esto demuestra satisfactoriamente que la resistencia interna de los músculos es real, en el sentido de que tiene el mismo efecto que una resistencia externa añadida.

How 100-m event analyses improve our understanding of worldclass men's and women's sprint performance

Slawinski J, Termoz N, Rabita G, Guilhem G, Dorel S, Morin JB & Samozino P.

Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, doi: 10.1111/sms.12627. 2015.

Para un rendimiento élite en 100 m, más allá de la aceleración inicial, es crucial la capacidad de mantener horizontalmente la fuerza durante altas velocidades

Los hombres sobresalen en esto, lo que explica su mejor rendimiento relativo

Las mujeres, al tener aceleraciones más cortas y deceleraciones más largas, obtienen mejores rendimientos si logran prolongar estas fases mediante una capacidad mejorada de mantener fuerza a velocidad máxima

VARIABLES MECÁNICAS DOMINANTES

Velocidad Máxima y Potencia Media Relativa (W/kg) en 100 m están muy correlacionadas con el rendimiento final ($r > 0{,}80$; $p \leq 0{,}001$).

DIFERENCIAS ENTRE SEXOS

•Casi todas las variables mecánicas (i.e. Velocidad Media, Potencia Total y Máxima) fueron significativamente mayores en hombres, excepto la fuerza media normalizada por peso (N/kg) durante la aceleración o en toda la carrera, que fue similar entre ambos.

•Los hombres alcanzan mayor V_{max} (≈11,53 m/s) que las mujeres (≈10,39 m/s) y también la alcanzan en un tiempo más lento — lo cual significa una fase de aceleración más extensa.

FASES DE LA CARRERA

•Las mujeres presentan una aceleración más corta y una deceleración más prolongada, lo que explica su menor V_{max} y la mayor pérdida de velocidad hacia el final, reduciendo su rendimiento.

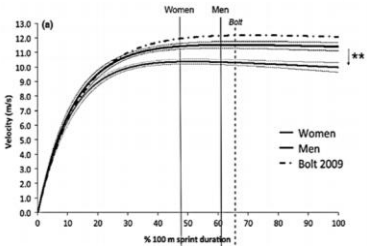
•Sugiere que, además de alcanzar la máxima velocidad, ser capaces de mantener la aplicación de fuerza horizontal a alta velocidad es clave, y es algo que los hombres hacen mejor.

How 100-m event analyses improve our understanding of worldclass men's and women's sprint performance

Slawinski J, Termoz N, Rabita G, Guilhem G, Dorel S, Morin JB & Samozino P.

Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, doi: 10.1111/sms.12627. 2015.

Events	Sprinters studied	Measurements
2nd World Championships *Rome 1987*	7 men and 8 women	Video
24th Olympic Games *Seoul 1988*	7 men and 8 women	Video
3rd World Championships *Tokyo 1991*	8 men and 0 women	Video
6th World Championships *Athens1997*	7 men and 8 women	Laser/radar
7th World Championships *Sevilla 1999*	6 men and 6 women	Video
11th World Championships *Osaka 2007*	5 men and 5 women	Laser/radar
29th Olympic Games *Beijing 2008*	1 man	Video
12th World Championships *Berlin 2009*	8 men and 8 women	Laser/radar
13th World Championships *Daegu 2011*	0 men and 8 women	Laser/radar
30th Olympic Games *London 2012*	1 man	Video



$$x(t) = \int V_{max} \cdot (e^{-\frac{t}{\tau 2}} - e^{-\frac{t}{\tau 1}})dt$$

$$x(t) = \int V_{max} \cdot (e^{b.t} - e^{a.t})dt$$

$$v(t) = V_{max} \cdot (\frac{e^{b.t}}{b} - \frac{e^{a.t}}{a})$$

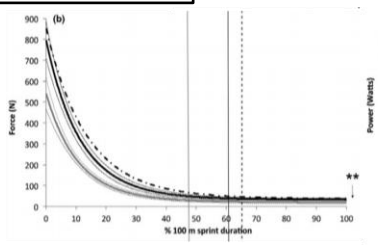
$$b = -\frac{1}{\tau 2} \text{ and } c = -\frac{1}{\tau 1}$$

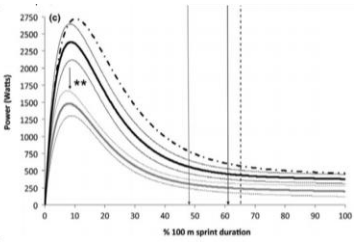
$$v_H(t) = V_{max} \cdot (e^{b.t} - e^{a.t})$$

$$t) = \frac{dv_H(t)}{dt} = V_{max} \cdot (e^{b.t} - e^{a.t})dt$$

$$a_H(t) = V_{max} \cdot (b.e^{b.t} - a.e^{a.t})$$

$$F_H(t) = m.a_H(t) + F_{aero}(t)$$





Multicomponent Velocity Measurement for Linear Sprinting: Usain Bolt's 100 m World-Record Analysis

Stanislav Štuhec, Peter Planjšek, Milan Coh 1 & Krzysztof Mackala

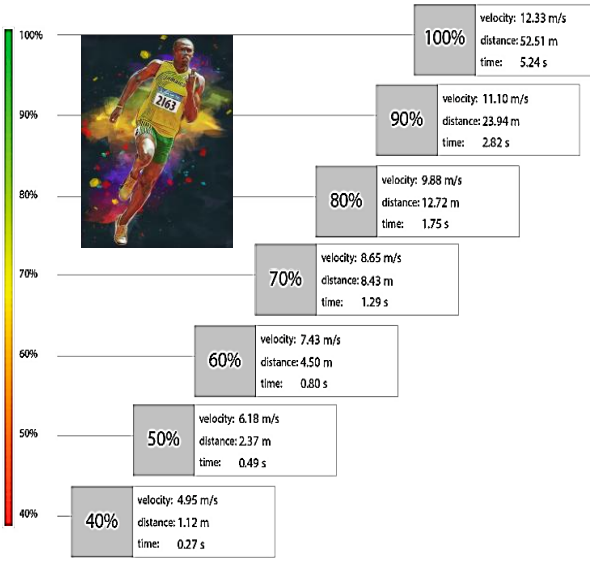
Bioengineering, 10, 1254. https://doi.org/10.3390/bioengineering10111254. 2023

Presenta cambios en la velocidad máxima de carrera, divididos en valores porcentuales

Bolt alcanzó su velocidad máxima a 52,51 m, con 12,33 m/s

Esta velocidad se alcanzó en 5,24 segundos

Por ejemplo, en comparación con el 60% del valor máximo, esta velocidad fue 4,90 m/s menor y se alcanzó en 4,5 m, es decir, en la zona de aceleración inicial (0,80 s)



Running velocity dynamics in 100 m sprint: comparative analysis of the world top and Estonian top male sprinters

M. Misjuk & M. Viru

Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis

17, 131-138. 2011.

Velocistas estonios (2006) pierdan menos velocidad que los mejores del mundo en la sección de 0-30 m (5,1%).

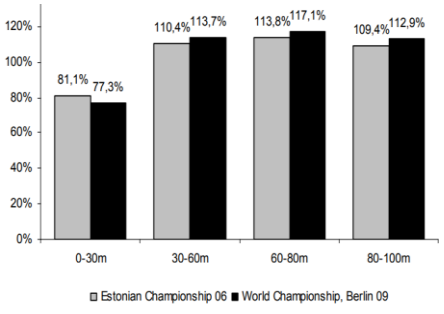
La pérdida, frente a los mejores corredores del mundo, es mayor y aproximadamente igual (entre 12,2% y 12,5%) en las demás secciones (30-60, 60-80 y 80-100 m).

Los velocistas estonios pierden más velocidad que los mejores velocistas del mundo en la última sección de la carrera (80-100 m), donde la pérdida asciende al 12,5%.

Velocidades relativas de mejores velocistas de Estonia y del mundo en diferentes tramos de carrera : 0-30 , 30-60 , 60-80 y 80-100

100 % corresponde la V_{media} de toda la distancia

Athlete	Time			
	30m	60m	80m	100m
1.	4.02	6.77	8.61	10.51
2.	4.05	7.00	8.89	10.84
3.	4.03	6.91	8.85	10.93
4.	4.06	7.07	9.00	11.00
5.	4.08	7.17	9.10	11.12
6.	4.06	7.12	9.11	11.15
7.	4.09	7.20	9.17	11.21
Mean ± SD	4.06±0.02	7.03±0.14	8.96±0.18	10.97±0.22



The Training and Development of Elite Sprint Performance: an Integration of Scientific and Best Practice Literature
Haugen, T., Seiler, S., Sandbakk, Ø., & Tønnessen, E.
Sports Medicine-Open, *5*(1), 44-60. 2019.

	n	30 m (s)	60 m (s)	80 m (s)	30–60 m (s)	60–80 m (s)	80–100 m (s)	60–100 m (s)
100 m men								
9.58[a]	1	3.78	6.31	7.92	2.53	1.61	1.66	3.27
9.71–9.80	5	3.82 ± 0.01	6.37 ± 0.03	8.05 ± 0.03	2.55 ± 0.02	1.68 ± 0.03	1.72 ± 0.03	3.40 ± 0.05
9.81–9.90	7	3.83 ± 0.04	6.42 ± 0.04	8.12 ± 0.02	2.60 ± 0.02	1.70 ± 0.03	1.75 ± 0.02	3.45 ± 0.05
9.91–10.00	12	3.85 ± 0.04	6.46 ± 0.04	8.18 ± 0.04	2.61 ± 0.02	1.73 ± 0.01	1.77 ± 0.02	3.50 ± 0.03
10.01–10.10	21	3.89 ± 0.04	6.51 ± 0.03	8.26 ± 0.03	2.62 ± 0.03	1.74 ± 0.01	1.79 ± 0.02	3.54 ± 0.04
10.11–10.20	24	3.95 ± 0.04	6.60 ± 0.05	8.36 ± 0.05	2.64 ± 0.03	1.75 ± 0.01	1.81 ± 0.04	3.57 ± 0.03
100 m women								
10.61–10.70	4	4.07 ± 0.02	6.89 ± 0.03	8.76 ± 0.03	2.82 ± 0.01	1.87 ± 0.02	1.90 ± 0.05	3.78 ± 0.06
10.71–10.80	12	4.10 ± 0.03	6.94 ± 0.04	8.83 ± 0.03	2.84 ± 0.01	1.88 ± 0.02	1.93 ± 0.03	3.82 ± 0.04
10.81–10.90	5	4.17 ± 0.06	6.99 ± 0.04	8.89 ± 0.03	2.85 ± 0.02	1.90 ± 0.01	1.95 ± 0.03	3.86 ± 0.04
10.91–11.00	6	4.17 ± 0.07	7.05 ± 0.04	8.97 ± 0.03	2.87 ± 0.04	1.92 ± 0.02	1.99 ± 0.03	3.92 ± 0.04
11.01–11.10	6	4.18 ± 0.05	7.09 ± 0.03	9.03 ± 0.02	2.89 ± 0.04	1.94 ± 0.02	2.01 ± 0.02	3.95 ± 0.03
11.11–11.20	9	4.20 ± 0.05	7.15 ± 0.05	9.13 ± 0.04	2.95 ± 0.02	1.98 ± 0.02	2.04 ± 0.04	4.02 ± 0.05

Analyzing the Olympic 100-meter sprints
Pierre-Jean Vazel
https://www.hmmrmedia.com/2021/10/tokyo-sprint-analysis/

Tiempos intermedios sobre las distancias de 30, 60 y 80 m, comparando el Récord Mundial con actuaciones en los Juegos Olímpicos de Tokio (2021)
Los primeros 30 m representan la Aceleración; 30 y 60 m, la sección de Velocidad Máxima, utilizada también en los entrenamientos con las series de 30 m lanzados; los 60 m corresponden a la distancia de competición en Pista Cubierta; entre 60 y 80 m, la sección de velocidad máxima; y entre 80 y 100 m, la capacidad de mantenimiento de la velocidad/resistencia

MEN	**RT**	***RT-30***	**30m**	***30-60***	**60m**	***60-80***	**80m**	***80-100***	**100m**
World Record									
Bolt	0.146	*3.63*	3.78	*2.53*	6.31	*1.61*	7.92	*1.66*	9.58
Tokyo 2021 Final									
Jacobs	0.161	*3.67*	3.84	*2.57*	6.41	*1.67*	8.08	*1.72*	9.80
Kerley	0.128	*3.66*	3.79	*2.60*	6.39	*1.71*	8.10	*1.74*	9.84
De Grasse	0.155	*3.72*	3.88	*2.60*	6.48	*1.69*	8.17	*1.72*	9.89
Simbine	0.141	*3.73*	3.88	*2.62*	6.50	*1.70*	8.20	*1.73*	9.93
Baker	0.148	*3.66*	3.81	*2.62*	6.43	*1.72*	8.15	*1.80*	9.95
Su	0.167	*3.70*	3.87	*2.61*	6.48	*1.72*	8.20	*1.78*	9.98
Adegoke	0.157	*3.68*	3.84	*2.72*	6.56	-	-	-	DNF
Tokyo 2021 Semi-final 3									
Su	0.142	*3.58*	3.73	*2.56*	6.29	*1.74*	8.03	*1.80*	9.83
Baker	0.190	*3.63*	3.82	*2.55*	6.37	*1.69*	8.06	*1.77*	9.83
Jacobs	0.179	*3.66*	3.84	*2.56*	6.40	*1.68*	8.08	*1.76*	9.84
Simbine	0.140	*3.72*	3.86	*2.60*	6.46	*1.70*	8.16	*1.74*	9.90

Kinematical Analysis of Hundred Meters (100m) Sprinters of Elite and Sub Elite Level in Pakistan

Majid Fasih & Arslan Zia

European Journal of Sports & Exercise Science, 8 (3), 1-13. 2020.

Table: 1 Sprinter	100 m(s)	30 m(s)	60 m(s)	80 m(s)	30-60 m(s)	60-80 m(s)	80-100 m(s)	60-100 m(s)
Ali Ahmad	10.34	4.06	6.71	8.47	2.65	1.76	1.87	3.63
Farhan Shah	10.50	4.11	6.77	8.58	2.66	1.81	1.92	3.73
M. Laeeq Naveed	10.55	4.08	6.76	8.59	2.68	1.83	1.96	3.79
Abdullah	10.60	4.13	6.81	8.63	2.68	1.82	1.97	3.73
Muhammad Shafiq	10.66	4.10	6.80	8.66	2.70	1.86	2.00	3.86

PROMEDIO DE ZANCADAS POR DISTANCIA DE PRUEBA

CARRERAS DE VELOCIDAD

(60, 100, 200 & 400 M – 60, 100/110 & 400 M VALLAS)

Prueba	Número Pasos	Prueba	Número Pasos
60 m	32 – 36	60 m	36 – 42
100 m	41 – 48	100 m	46 – 54
200 m	80 – 95	200 m	90 – 105
400 m	160 – 190	400 m	180 – 210
60 m vallas	35 – 37	60 m vallas	35 – 38
110 m vallas	51 – 53	110 m vallas	52 – 55
400 m vallas	180 – 200	400 m vallas	185 - 210

Cerrado a 30/08/2025

VELOCISTAS EXPLOSIVOS					VELOCISTAS RESISTENTES				
Atleta	**60**	**100**	**200**	**400**	**Atleta**	**60**	**100**	**200**	**400**
C. Coleman	6.34	9.76	19.85	-	U. Bolt	-	9.85	19.19	45.28
M. Green	6.39	9.78	19.86	-	Y. Blake	6.45	9.69	19.26	46.32
R. Baker	6.40	9.76	20.06	46.18	N. Lyles	6.43	9.79	19.31	45.87
A. Cason	6.41	9.79	20.11	-	M. Johnson	-	10.09	19.32	43.18
L. Jacobs	6.41	9.80	20.61	-	L. Tebogo	-	9.86	19.46	44.29
D. Chambers	6.42	9.97	20.31	-	E. Knighton	-	9.96	19.49	45.37
B. Su	6.42	9.83	21.15	-	W. Dix	6.58	9.88	19.53	46.75
T. Browell	6.42	9.76	20.03	-	J. Gatlin	6.45	9.74	19.57	-
A. Blake	6.42	9.88	20.20	-	K. Bednarek	-	9.79	19.57	44.73
T. Harden	6.43	9.92	20.38	-	T. Gay	6.55	9.69	19.58	44.89
	6.406 ± 0.026	9.825 ± 0.074	20.256 ± 0.391				9.834 ± 0.124	19.428 ± 0.145	45.187 ± 1.082

TÉCNICA DE LA CARRERA DE VELOCIDAD

VELOCIDA Y RELEVOS
Carlos Gil Pérez
Editorial Augusto Pila Teleña. Madrid (España). 1977.

¿ES FÁCIL CORRER?

Dese luego, como gesto natural, correr es fácil, y prueba de ello es que los niños suelen hacerlo bastante bien; pero lo que no cabe duda es que cuando lo que se pretende es alcanzar un gran rendimiento como el que necesita el atletismo de alta competición, a los dones naturales hay que añadir el perfeccionamiento del gesto con un trabajo concienzudo y perseverante, a fin de conseguir los beneficios máximos

Entre los contenidos para lograr una mayor velocidad debemos incluir:

LA TÉCNICA DE CARRERA

La técnica de carrera es el patrón coordinado de movimientos (postura, zancada, acción de brazos y apoyos) con el que el corredor transforma la fuerza muscular en propulsión minimizando las fuerzas de frenado y el coste energético

En otras palabras, es la organización cinemática y cinética del gesto de correr que influye de forma sustancial en la economía y en el rendimiento

TÉCNICA DE CARRERA



Training and evaluation course for coaches
Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos
Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso
Universidad Católica Murcia – Comité Olímpico Español (2025)

LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA TÉCNICA DE SPRINT SE PUEDEN SINTETIZAR EN TRES PLANOS:

1. **POSTURA:**

   Mantener el tronco erguido y estable en la **Fase de Máxima Velocidad**, con ligera inclinación hacia delante en la **Fase de Aceleración**.

2. **ACCIÓN DE BRAZOS:**

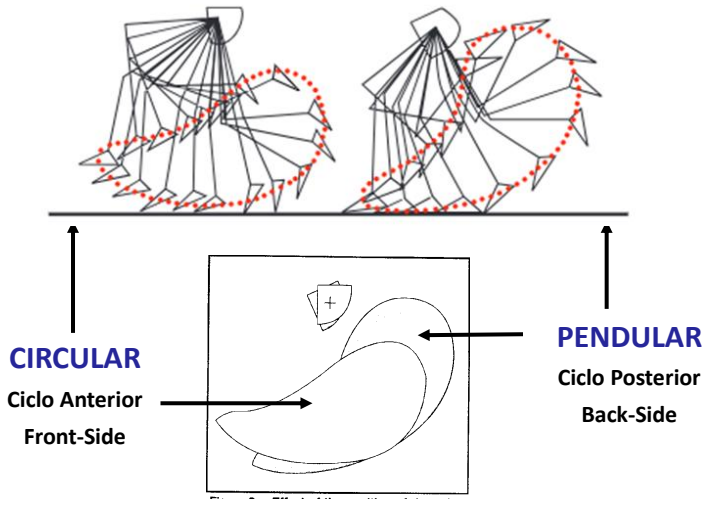
   Braceo rítmico y coordinado, desde la cadera hasta el mentón, sin cruzar la línea media del cuerpo.

3. **ACCIÓN DE PIERNAS Y PIES:**

   Apoyo reactivo bajo el Centro de Masas, acción activa del pie ("*garra*"), recuperación alta de rodilla y transición fluida entre apoyo y vuelo.

TÉCNICA DE CARRERA EN PRUEBAS DE VELOCIDAD

Étude biomécanique de la course à pied
Leboeuf, F., de Leluardière, F. A., Lacouture, P., Duboy, J., Leplanquais, F., & Junqua, A. Podologie, 27-020-a-20. 2006.



TÉCNICA DE CARRERA

TÉCNICA CIRCULAR VS. PENDULAR

DESCRIPCIÓN:

- **TÉCNICA CIRCULAR (FRONT SIDE):**

  El pie dibuja un movimiento circular en el aire, con mayor flexión de rodilla y elevación del tobillo. Es típica en velocistas de élite y se asocia con más velocidad y eficiencia, sobre todo en pruebas cortas.

- **TÉCNICA PENDULAR (BACK SIDE):**

  El pie avanza describiendo un arco más reducido y directo, con menor flexión de rodilla y elevación del tobillo. Se considera una técnica más simple y natural, frecuente en corredores de media y larga distancia.

DIFERENCIAS CON LA TÉCNICA PENDULAR:

- **MOVIMIENTO DEL PIE:** En la **TÉCNICA PENDULAR**, el pie se mueve como un péndulo cerca del suelo, con poca flexión de rodilla y tobillo.
- **VELOCIDAD:** La **TÉCNICA PENDULAR** suele asociarse a ritmos de carrera más bajos.
- **EFICIENCIA:** Aunque la **TÉCNICA PENDULAR** puede ser eficiente a ritmos más bajos y distancias más largas de velocidad (200-400 m), la **TÉCNICA CIRCULAR** se considera más eficiente para ritmos más rápidos y, especialmente, en distancias cortas (≤100 m).

TIPOS DE VELOCISTAS

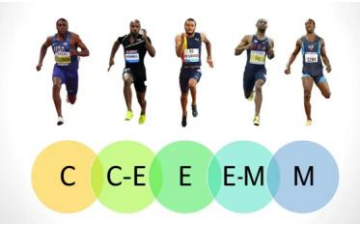
Los velocistas se pueden clasificar según su:

Morfología - Distancia de Carrera - Técnica Biomecánica

Las categorías comunes incluyen 2 tipos de velocistas

Concéntricos *vs*. Elásticos

Explosivos *vs*. Resistentes



SE DIFERENCIAN EN:

Potencia y Aceleración frente a Velocidad Máxima y Fuerza del Tobillo

velocistas con predominio de empuje vs. con predominio de tracción

Que priorizan la propulsión hacia adelante frente a un estilo más elástico y reactivo

Además, los velocistas se distinguen por la prueba en la que se especializan, (100 m, los 200 m o los 400 m)

TÉCNICA DE CARRERA EN LA FASE DE MÁXIMA VELOCIDAD

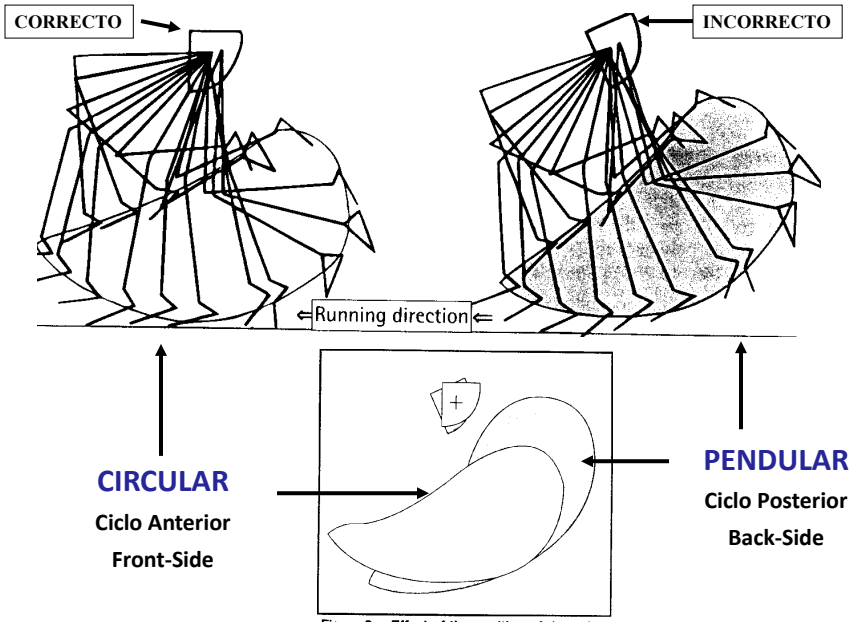
EVOLUCIÓN DE LA TÉCNICA DE CARRERA EN CARRERAS DE VELOCIDAD

- El modelo pendular fue el primero y describe bien la oscilación simple de la pierna.
- El modelo circular surge como corrección pedagógica y se aproxima más a lo que hacen los corredores élite (más "por delante").

El movimiento de los velocistas no es ni puramente pendular ni puramente circular, sino una elipse controlada, con predominio de mecánica "front-side"

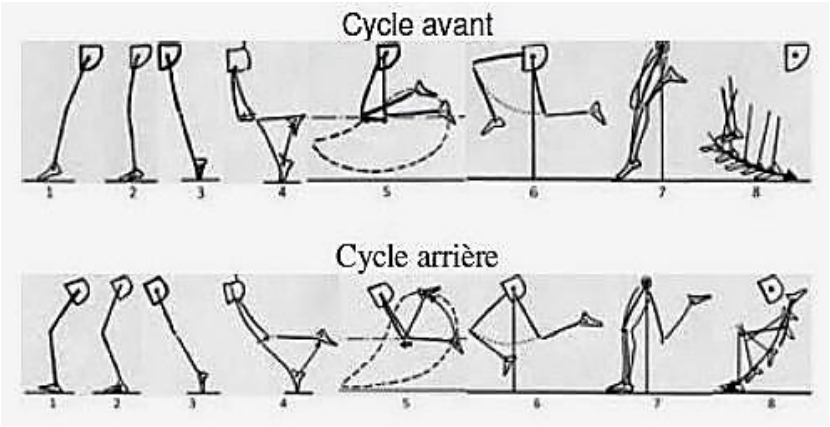
- Estudios con fotogrametría y plataformas de fuerza muestran que los velocistas élite destacan por recobros rápidos y por colocar el pie bajo la cadera, reduciendo la oscilación pendular larga hacia atrás.
- No obstante, el movimiento no es "circular perfecto", sino más bien una elipse:
  - El pie describe un arco hacia atrás (fase de apoyo).
  - Un arco hacia arriba y delante (recobro + elevación de muslo).
  - Ataque descendente corto hacia el apoyo.
- El patrón real está entre ambos modelos: una oscilación pendular, pero controlada y acortada hasta parecer circular en los mejores velocistas.
- Algunos estudios remarcan que el grado de "front-side" es clave: velocistas más rápidos muestran menor trabajo trasero (back-side) y mayor actividad del muslo en el plano frontal.

TÉCNICA DE CARRERA EN PRUEBAS DE VELOCIDAD



Biomécanique de la locomotion humaine: influence de la chaussure et de la fatigue sur les ajustements neuro-mécaniques
Cédric Morio
Doctoral dissertation. Aix-Marseille. 2011.

Representación gráfica de la trayectoria del pie durante la zancada en relación con la cadera
CICLOGRAMA



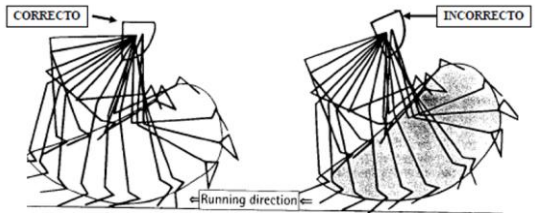
Training and evaluation course for coaches
Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos
Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso
Universidad Católica Murcia – Comité Olímpico Español (2025)

TÉCNICA CIRCULAR (CICLO ANTERIOR)

Se caracteriza por una trayectoria amplia del pie por delante de la cadera antes de realizar el apoyo. En este modelo el apoyo se produce de forma reactiva y cercana a la vertical del CM, lo que reduce la fase negativa de amortiguación y favorece una impulsión más eficaz el tobillo describe un recorrido más visible en el plano anterior, permitiendo un apoyo más corto en tiempo y más eficiente en la transmisión de fuerzas

Desde la perspectiva del entrenamiento, este patrón es propio de corredores de alto nivel, ya que exige un elevado control técnico, una gran capacidad de fuerza reactiva y un equilibrio adecuado entre amplitud y frecuencia de zancada

Entre sus principales ventajas destacan la economía de carrera, al minimizar pérdidas de velocidad en el contacto, y la mejor proyección hacia adelante, ya que el apoyo se realiza con el pie “bajo la cadera” y no retrasado



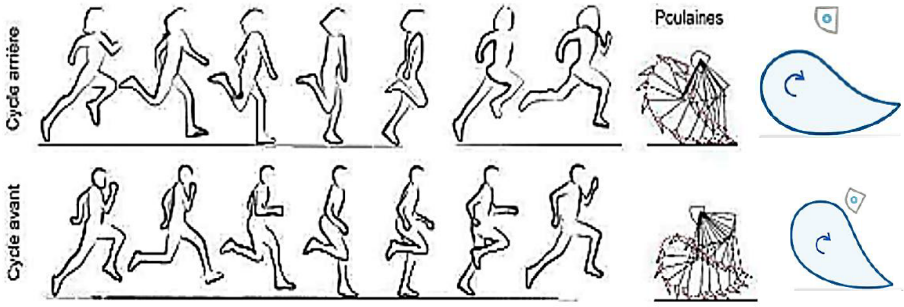
Validation of an integrated experimental set-up for kinetic and kinematic three-dimensional analyses in a training environment
Boisnoir, A., Decker, L., Reine, B., & Natta, F.
Sports Biomechanics, 6(2), 215-223. 2007.

ZANCADA CIRCULAR

Es la más frecuente entre velocistas

Está marcada por un punto precedido por una ligera inclinación. Desde este punto, la extremidad inferior regresa hacia atrás con un movimiento de agarre y arrastre sobre el suelo ausente en el estilo pendular

La técnica de circular es adoptada principalmente por la mayoría de los velocistas más expertos, mientras que los principiantes prefieren la técnica pendular



TÉCNICA CIRCULAR



TÉCNICA PENDULAR



TÉCNICA PENDULAR (CICLO POSTERIOR)

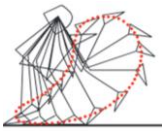
***"Back Side"*, Rear Mechanics" o "Backside Mechanics"**

Gran parte de la zancada se produce detrás de las caderas

Se caracteriza por un recorrido amplio del pie por detrás de la cadera antes de descender hacia el suelo e iniciar el siguiente apoyo

El contacto con el suelo se produce de manera más retrasada respecto al CM

Esta técnica alarga la fase negativa de amortiguación y reduce la eficacia de la impulsión, provocando una pérdida parcial de velocidad en cada apoyo



Una mecánica excesiva de la parte trasera suele implicar:

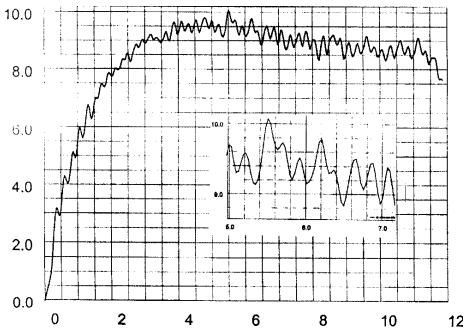
- Tiempos de contacto con el suelo más largos
- Zancada excesiva hacia atrás en lugar de avanzar
- Frecuencia de zancada reducida (cadencia)
- Aceleración y velocidad máxima menos eficientes

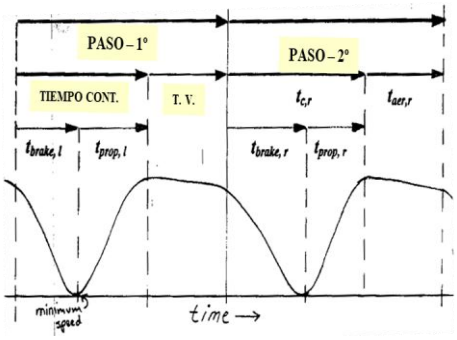
Desde la perspectiva del entrenamiento este tipo de patrón es muy común en atletas jóvenes o en fases iniciales de aprendizaje, ya que coincide con un gesto natural de carrera. Aunque resulta fácil de reproducir y no exige un control técnico avanzado, se asocia con mayores tiempos de apoyo, menor economía de carrera y una mayor carga excéntrica en isquiotibiales, lo que aumenta el riesgo de lesión

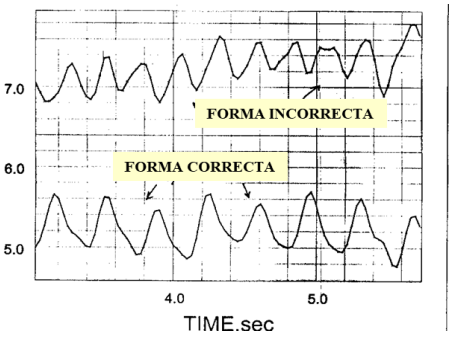
ASIMERÍA DE LOS PASOS EN LAS CARRERAS DE VELOCIDAD

Indica desequilibrio dinámico en la carrera o, en ocasiones, falta de coordinación o eficiencia que, en casos extremos, puede aumentar el riesgo de lesiones y limitar el rendimiento

DINÁMICA DE LA VELOCIDAD EN UNA CARRERA DE 100 METROS







Neuro-biomechanics of maximum velocity sprinting
Seagrave, L., Mouchbahani, R., & O'Donnell, K.
New Studies in Athletics, 24(1), 19-27. 2009.

Se ha demostrado que cualquier velocidad entre el 95% y el 100 % de la velocidad máxima absoluta del atleta emplea una mecánica de carrera idéntica

Los autores insisten en la necesidad de diferenciar INTENSIDAD (% $V_{máx}$) de CALIDAD TÉCNICA (qué tan "perfectamente" se ejecuta el modelo), subrayando que el objetivo es preservar el mismo modelo técnico, aunque el esfuerzo sea levemente submáximo (≈95%: i.e. 200 m)

Para que los atletas adapten sus patrones motores a la mecánica de la carrera de alta velocidad y, por lo tanto, mejoren su eficiencia mecánica en esta parte clave de la carrera, deben desarrollar un modelo técnico conceptual sólido

Ese modelo técnico de carrera debe introducirse, ensayarse y perfeccionarse, y posteriormente revisarse continuamente

Al evaluar y enseñar la mecánica de la carrera a alta velocidad, el entrenador debe proporcionar a los atletas puntos clave en los que concentrarse conscientemente mientras aprenden a reprogramar sus patrones motores

Es útil desglosar el movimiento de forma coherente con una progresión de enseñanza sistemática y eficiente

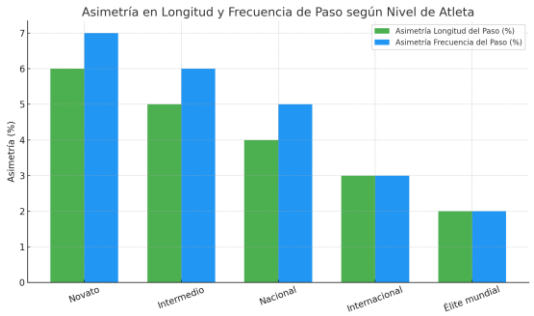
ASIMETRÍA EN LA MARCHA O LA CARRERA

ASIMETRÍA

Diferencia entre el comportamiento de las piernas derecha e izquierda en parámetros del paso:

- Longitud del Paso (Step Length)
- Frecuencia o Cadencia (Step Frequency / Cadence)
- Duración de la Fase de Apoyo y la Fase de Oscilación
- Fuerza de Impulso o Reacción del suelo

En condiciones ideales, los pasos deberían ser simétricos
(Sin embargo, en la práctica siempre existe un grado de asimetría)



TIPOS DE ASIMETRÍA

LONGITUD DE ZANCADA

Diferencia en la distancia cubierta por un paso izquierdo *vs*. derecho

- **Factores que la afectan:**
  - ***Dominancia lateral***
    - Pierna dominante suele dar pasos más largos
  - ***Lesiones o debilidades musculares***
  - ***Fatiga***
    - Aumenta la asimetría.
  - ***Anomalía Morfológicas***
    - Diferencia en longitud de piernas

FRECUENCIA DE ZANCADA

Ritmo o Frecuencia de las Zancadas de Carrera

- **Factores que la afectan:**
  - *Relación con la cadencia*:
    - Número pasos/segundo o minuto.
- *Una ligera asimetría en FZ puede deberse a*:
  - Variaciones en la fuerza de impulsión de cada pierna.
  - Control Neuromotor
    - Ejemplo: diferencias en coordinación
  - Fatiga Neuromuscular: una pierna pierde frecuencia más rápido.

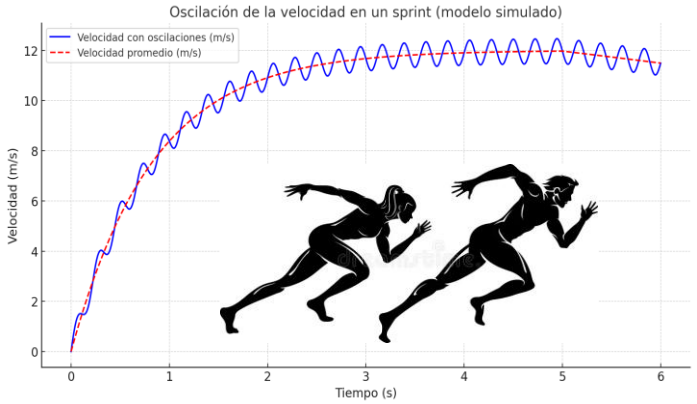
ASIMETRÍA ACEPTABLE (VALORES DE REFERENCIA)

- < 3 %: Considerada dentro de la normalidad (Asimetría Funcional)
- 3–6 %: puede afectar la eficiencia en el rendimiento
- >6–10 %: Suele estar asociada a lesión, déficit de fuerza o desbalance estructural

CAMBIOS EN LA VELOCIDAD DURANTE LA CARRERA DE 100 M

La oscilación de la velocidad es un reflejo de naturaleza cíclica y asimétrica que se observa en cada apoyo por efecto de cambios constantes entre las fuerzas de frenado y de propulsión que genera el corredor durante la prueba

El "secreto" de los grandes velocistas no es solo alcanzar una velocidad punta muy elevada, sino minimizar la magnitud de esas oscilaciones, logrando apoyos simétricos, breves y reactivod, que permitan sostener la mayor velocidad posible durante más metros

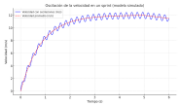


OSCILACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LOS SPRINTS

CICLO DE ZANCADA ASIMÉTRICO

- En cada apoyo (ya sea con pierna derecha o izquierda) la velocidad se reduce ligeramente durante el primer contacto del pie con el suelo.
  - Parte de la energía cinética se disipa en la frenada.
- En la fase de impulso, el atleta recupera e incrementa esa velocidad.
  - Se genera un comportamiento tipo "***sierra***" en la curva de velocidad.

TENDENCIA GENERAL



- ***FASE ACELERACIÓN***:
  - Oscilaciones grandes porque los tiempos de apoyo son más largos.
- ***FASE DE MÁXIMA VELOCIDAD***:
  - Oscilaciones más pequeñas y rítmicas, gracias a apoyos muy cortos y reactivos.
- ***FASE DE RESISTENCIA A LA VELOCIDAD:***
  - Reaparece mayor irregularidad, con descensos más acusados provocados por la fatiga.

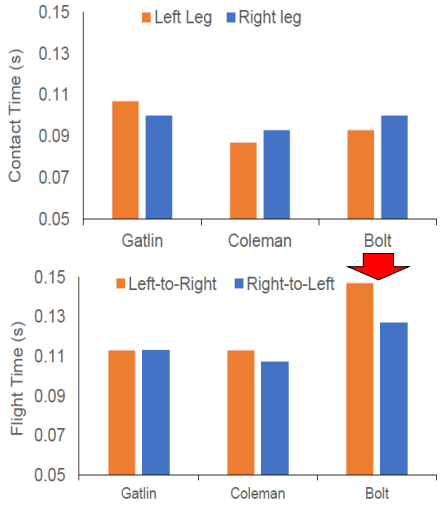
OSCILACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LOS SPRINTS

FACTORES QUE MODULAN LA OSCILACIÓN

- ***TIEMPO DE CONTACTO***:
  - Cuanto más corto y reactivo, menor pérdida de velocidad en la fase de frenado.
- ***Rigidez de las Articulaciones*** (especialmente tobillo-rodilla):
  - Permite una transmisión más elástico-reactiva-refleja de fuerzas, reduciendo oscilaciones.
- ***Simetría entre Piernas***:
  - Desequilibrios técnicos, morfológicos y condicionales, aumentan la variabilidad de la velocidad.
- ***Fatiga:***
  - A medida que avanza el sprint, los apoyos se vuelven menos eficientes y las oscilaciones aumentan.

Preliminary Analysis of the Men's 100 m Final

IAAF World Championships 2017



Los 3 medallistas muestran una ligera asimetría caracterizada por diferencias en los Tiempos de Contacto durante la Fase de Máxima Velocidad

Sin embargo, Usain Bolt muestra un patrón asimétrico notable en el Tiempo de Vuelo



CURSO DE ENTRENADORES DE ATLETISMO

Juan Manuel García Manso
Juan Alfonso García Roca

LAS CARRERAS DE VELOCIDAD EN ATLETISMO

SALIDA DE TACOS



PUESTA EN ACCIÓN

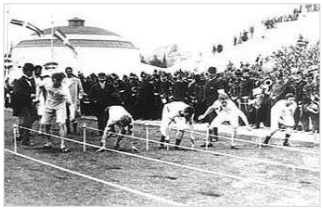
COLOCACIÓN EN LOS TACOS

POSICIÓN DE PARTIDA

ACCIÓN SOBRE LOS TACOS



LA SALIDA EN PRUEBAS DE VELOCIDAD EN LAS CARRERAS ATLÉTICAS





Antes de la década de 1920

Agujeros excavados en la pista — Inconsistente, lenta y peligrosa

Décadas de 1920 a 1940

Primeros Tacos de metal/madera — Soporte básico; Primeras innovaciones

Décadas de 1950 a 1970

Tacos ajustables y estandarizados — Mejores salidas; Adopción oficial

Décadas de 1980 a 2000

Tacos ergonómicos y personalizados — Eficiencia Biomecánica mejorada

Década de 2010 a la actualidad

Tacos inteligentes con sensores — Sincronización; Detección salidas falsas

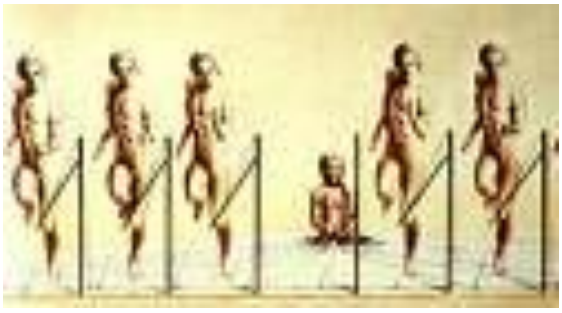
LA SALIDA (*ÁFESIS*) EN LOS JUEGOS ANTIGUOS

Balbides



Salida en el Estadio de Olimpia

Hísplex



Salida en los Juegos Istmicos Poseidon

Función del *alitarca* (acompañante) y el *mastigáforo* (juez sancionador)

EVOLUCIÓN DE LA SALIDA EN CARRERAS DE VELOCIDAD

(De la salida en movimiento a la salida parada)



Salida de pie:
J. Owens (1890) 100y: 9.8



Salida agachada:
Murphy con Sherril en Yale 1887



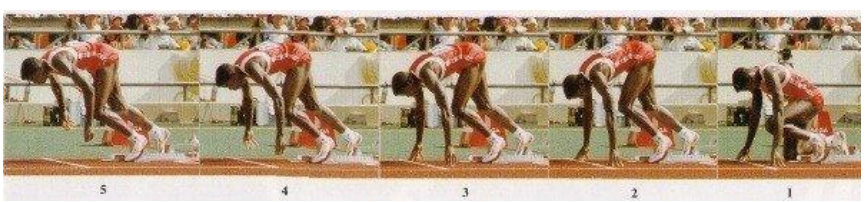
2ª Serie eliminatoria de los JO de 1896 – Museo Benaki Atenas

Elliot (GB)
Curtis (USA) Vencedor
Schmidt (Din)
Marshall (GB)
Chalkokondylis (Grecia)

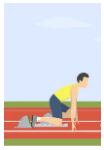
SPRINTING FROM START TO FINISH
Tom Tellez & Doolittle, D.
Track technique, 88, 2802-2805. 1984.

Los principales objetivos del atleta sobre los tacos de salida son:

- Establecer una posición equilibrada en los tacos durante la salida.
- Obtener una posición del Centro de Masas lo más alto y ligeramente hacia delante que se pueda respecto a la base de apoyo.
- Aplicar una fuerza contra los tacos cuya línea de acción pase por las articulaciones de tobillo, rodilla, cadera, centro del tronco y la cabeza.
- Aplicar esta fuerza contra los tacos y a través del cuerpo en un ángulo de 45º.
- Abandonar los tacos con la mayor velocidad posible.



SALIDA



FASES DE LA SALIDA EN VELOCIDAD

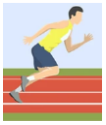
1. A SUS PUESTOS

- El juez da la orden.
- El atleta se coloca en los tacos: los pies apoyados en ellos, las manos detrás de la línea de salida apoyadas en el suelo.
- El cuerpo se inclina hacia adelante, rodillas apoyadas en el suelo.



2. LISTOS

- El corredor eleva la cadera por encima de la altura de los hombros.
- Se genera tensión muscular para impulsarse al disparo.
- El peso del cuerpo se traslada hacia adelante.



3. SALIDA/DISPARO DE SALIDA

- Al disparo (o sonido electrónico), el atleta reacciona y se impulsa sobre los tacos.
- El cuerpo sale inclinado hacia adelante, aumentando progresivamente la verticalidad en los metros siguientes.

- A la voz de ***"¡A sus puestos!"*** o de ***"¡Listos!"***, según sea el caso, todos los atletas tomarán, de inmediato y sin dilación alguna, su plena y definitiva posición de salida.
- Si el Juez de Salidas considera que no está todo conforme para proceder a la salida después que los atletas están en la posición de "A sus puestos", ordenará a los atletas retirarse de sus puestos y los Ayudantes del Juez de Salidas los colocarán nuevamente

SALIDA (REGLAMENTO)

- **Solamente se permitirá una salida falsa por serie sin la descalificación del atleta/s responsable/s de la salida falsa**
  - Cualquier atleta/s responsable/s de posteriores salidas falsas en la serie será descalificado (Art. 162.7).
- En la posición de "listos" todos los corredores deben permanecer inmóviles antes de la salida (Art. 162.2).
- **Hasta la distancia de 400 metros La salida obligatoriamente sera agachada y desde tacos (Art. 162.4).**
- Los dos pies deben estar en contacto de los tacos (Art. 162.4).

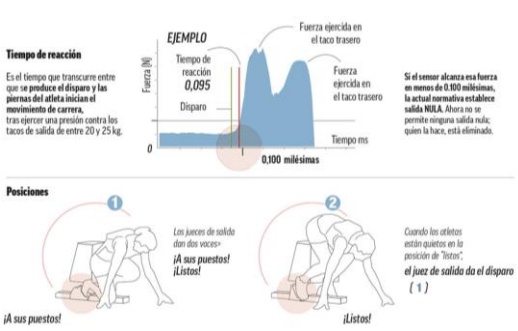




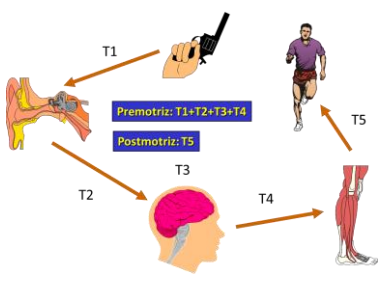
SALIDAS NULAS

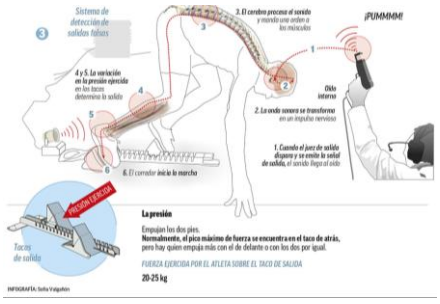
- El atleta, no iniciará su salida hasta después del disparo de pistola.
- Si, a juicio del ***Juez de Salidas*** o ***Adjuntos del Juez***, lo hace antes, se considerará que ha realizado una salida falsa.
- Cuando se utilice un ***Sistema de Información de Salidas*** se considerará nula la salida cuando el TR sea inferior a 0.100 segundos.
- Cualquier movimiento de un atleta, que no incluya ni conlleve una pérdida de contacto de uno o de los dos pies del atleta con las planchas de los tacos de salida o de sus manos con el suelo, no deberá ser considerado como inicio de salida.
- El **Juez de Salidas** debería advertir o descalificar solamente al o a el/los atletas que, en su opinión, fueron responsables de la salida falsa.
- Si la salida falsa no es atribuible a ningún atleta, nadie será advertido, y una tarjeta verde será mostrada a todos los atletas.
- Cuando se use un ***Sistema de Información de Salidas***, la prueba aportada por el aparato será aceptada como concluyente por el Juez.

LA SALIDA DE TACOS



La salida desde tacos es el conjunto de acciones técnicas y posturales que realiza el velocista, desde la posición de "***a sus puestos***" hasta los primeros pasos de aceleración, utilizando los tacos como punto de apoyo para proyectar el cuerpo hacia adelante con potencia, coordinación y eficacia.





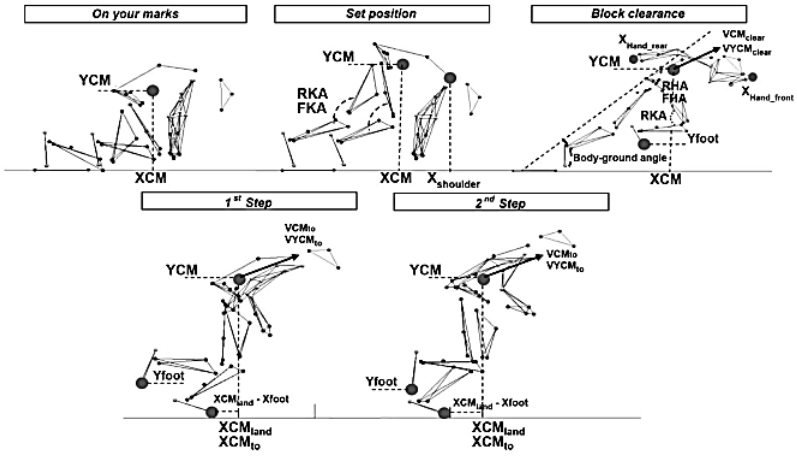
LA SALIDA DE TACOS

Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start

Slawinski, J., Bonnefoy, A., Levêque, J. M., Ontanon, G., Riquet, A., Dumas, R., & Chèze, L.
The Journal of Strength & Conditioning Research, 24(4), 896-905. 2010.

Para analizar el movimiento de los atletas en la salida, se suelen identificar tres fases críticas (a sus puestos, listos y empuje sobre los tacos)

El primer y el segundo paso se utilizaron para describir la fase de aceleración



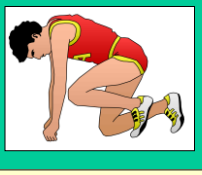


Pruebas de Velocidad

Primera Fase: SALIDA



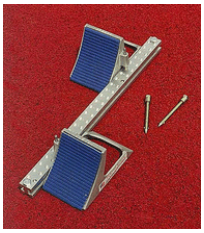
Reglamento Básico



Puesta en Acción

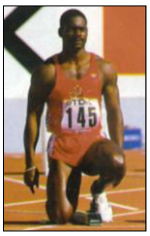
Colocación Sobre los Tacos

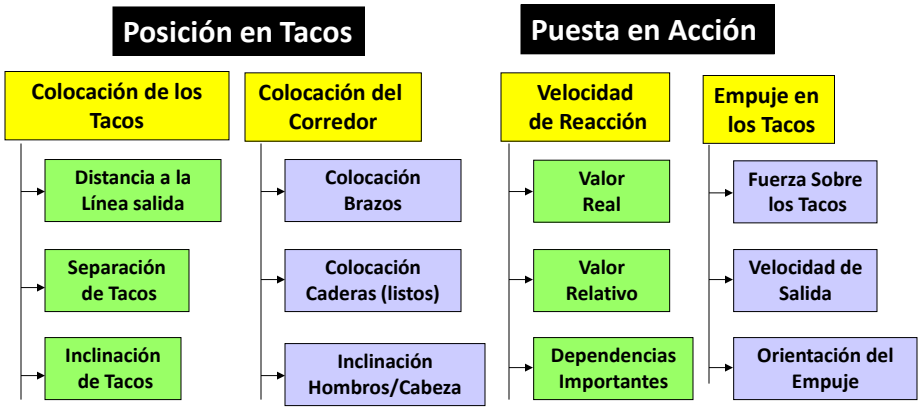
TIPO DE SALIDA



Salida en las Carreras de 60-100-200-400 Metros (Colocación y Salida)

Aparición de los Tacos: 1927
Reglamentario - 1932





TACOS DE SALIDA

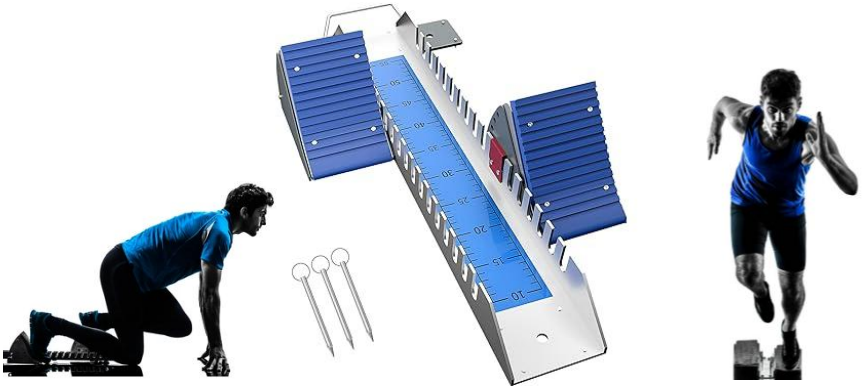
El australiano Charlie Booth (1903-2008) y su padre son reconocidos por ser los inventores en 1929 de los tacos de salida utilizados en las carreras de velocidad

- Antes, los atletas usaban pequeñas paletas para cavar agujeros para los pies que les proporcionaban un mejor impulso al inicio de la carrera.
- Con el tiempo, los tacos de salida se fabricaron con diferentes materiales, comenzando con madera y acero, y luego con el aluminio, más ligero.
- La separación e inclinación de los tacos son ajustables y, en algunos modelos, incluso se puede seleccionar la distancia entre ellos.
- Creados inicialmente con el objetivo de aumentar el rendimiento, los tacos de salida utilizados en competiciones de alto nivel incorporan altavoces que garantizan que el sonido del disparo de salida llegue simultáneamente a todos los corredores, así como sensores para detectar el movimiento inicial o el tiempo de reacción de los atletas.





TACOS DE SALIDA



MEDIDAS DE LOS TACOS DE SALIDA DE ATLETISMO

- **Tacos de Competición: longitud de riel de 80 cm y 7,5 cm de ancho**
- **Tacos de Entrenamiento: longitud de 60-64 cm y 7.5 cm de ancho**

TACOS DE SALIDA

- **Los tacos consistirán en 2 planchas para los pies en las cuales presionarán los pies del atleta en la posición de salida.**
  - Las planchas para los pies estarán inclinadas de forma que se acomoden a la posición de salida del atleta, pudiendo ser planas o ligeramente cóncavas.
  - La superficie de estas estará preparada para acomodar los clavos de las zapatillas, bien sea con ranuras o hendiduras en la superficie en que se coloca el pie, o cubriendo la superficie de la plancha reposapiés con un material apropiado que permita el empleo de zapatillas de clavos.
- **El montaje de estas planchas para los pies sobre una estructura rígida puede ser regulable, pero no permitir movimiento alguno durante la salida efectiva.**
  - En todos los casos, dichas planchas serán ajustables delante o atrás, cada una respecto de la otra.
- **Para cualquier registro sometido a ratificación como Récord Mundial, tacos estarán conectados a un *Sistema de Información de Salidas* aprobado por la Federación Internacional.**

COLOCACIÓN DE LOS TACOS DE SALIDA EN LAS PRUEBAS DE VELOCIDAD

Los atletas suelen ajustar la colocación de los tacos individualmente: Algunos atletas se sienten más fuertes con ajustes más cerrados, otros con ángulos más abiertos, dependiendo de la longitud de la pierna, la fuerza y el ritmo de la zancada

Sprints cortos (60-100 m):

Tacos más juntos; Ángulos pronunciados; Potencia Explosiva.

200-400 m:

Espacio entre tacos mayor; Ángulos más suaves para conservar energía.

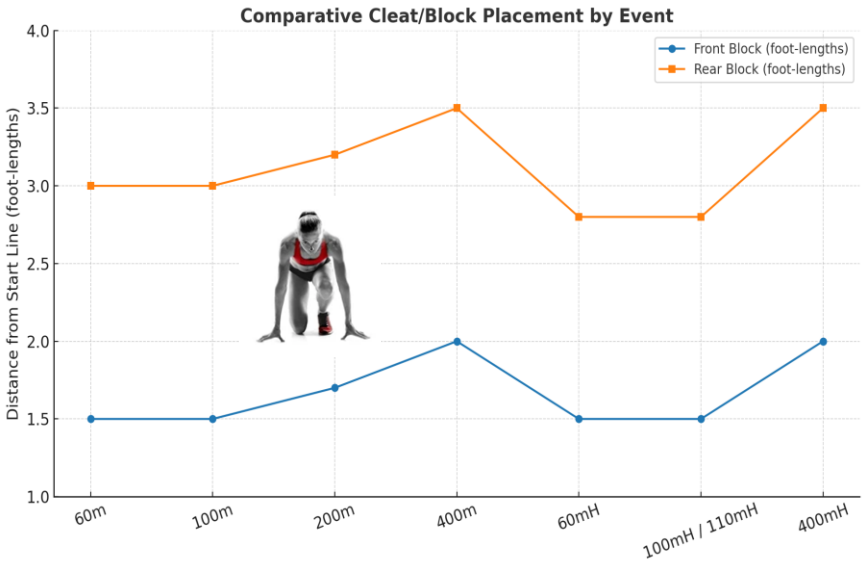
Sprint con vallas (60 m, 100 m, 110 m):

Bloques ligeramente más juntos, ajustados a ritmo/zancada hasta 1ª valla.

400 m Vallas:

Similar a 400m lisos: salida más abierta y controlada, sin excesiva explosividad.

COLOCACIÓN DE LOS TACOS DE SALIDA EN LAS PRUEBAS DE VELOCIDAD





SALIDAS EN PRUEBAS DE 60, 100, 200 & 400 M LISOS



ESPECIALISTAS DE 60 M/100 M:

- **Bloques ligeramente más juntos para maximizar la fuerza explosiva.**
- **La punta del pie delantero casi llega a la línea; el pie trasero se mantiene firmemente flexionado para un impulso rápido.**
- ***Objetivo*: aceleración máxima en distancias muy cortas.**

ESPECIALISTAS DE 200 M:

- **Ubicación similar a la de 100 m, pero puede abrirse ligeramente (un poco más de espacio entre bloques) para una transición más suave a la fase de máxima velocidad.**
- ***Salida en Curva*: pie delantero siempre dentro del bloque para mayor estabilidad.**

ESPECIALISTAS DE 400 M:

- **Los bloques suelen colocarse más más abiertos); el bloque trasero más atrás.**
- **Ángulos a veces menos pronunciados para reducir tensión y ahorrar energía.**
- ***Objetivo*: salida fuerte pero controlada para evitar un arranque prematuro.**

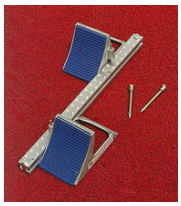
SALIDAS EN PRUEBAS DE 60, 100, 110 & 400 M VALLAS



- **60m VALLAS / 100mV / 110mV:**
  - **La separación entre tacos es MUY específica.**
  - **Taco delantero suele colocarse de forma que la primera valla se supere en 7-8 pasos (mujeres) o 7-8/9 pasos (hombres).**
  - **Taco trasero suele estar un poco más cerca del taco delantero que en las carreras lisas, ya que se necesita un primer paso más rápido para alcanzar una zancada adecuada.**
  - ***Énfasis*: reacción rápida y ritmo en la primera valla, no en la fase de impulso máximo como en los 100 m lisos.**
- **400m VALLAS:**
  - **Similar a 400m lisos: Bloques más abiertos, empuje menos agresivo.**
  - ***Objetivo*: equilibrar una salida fuerte con ritmo hasta la primera valla (normalmente 21-23 zancadas).**
  - **Los ángulos y la colocación de los tacos suelen ser menos agresivos que en los corredores de vallas de velocidad (60, 100 110 mV).**

Salida en las Carreras de 60-100-200-400 Metros

Colocación de los Tacos de Salida



Colocación de los Tacos

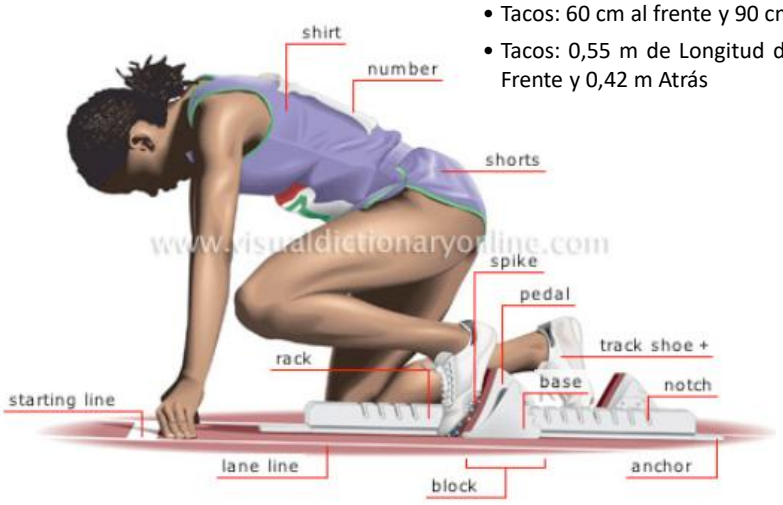
- **Distancia a la Línea salida**
- **Separación de Tacos**
- **Inclinación de Tacos**
  - **Depende del Modelo**

- Distancia 1er-taco/LS:	1-1½ (2) pies (35-45 cm)
- Distancia 2º-taco/LS:	2½-3 pies (85-95 cm)
- Distancia C.M./LS:	16/20/27cm *vs* nivel
- Distancia 1er-2º-taco:	1 a ½ pies (25-30 cm)
- P.C. en manos *vs.* nivel:	75-80%/60-75%-55-65%
- Altura cadera:	55-60 cm
- Separación Tacos:	Metatarso (8-12 cm)
- Ángulo Taco Adelantado;	40-45º
- Ángulo Taco Atrasado:	55-60º

Valores promedio de la salida intermedia

¡ A SUS PUESTOS !

- Pierna Fuerte al Frente
- Pierna Hábil o Pierna Rápida Atrás
- Tacos: 60 cm al frente y 90 cm Atrás
- Tacos: 0,55 m de Longitud de Pierna al Frente y 0,42 m Atrás





Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

3

POSICIÓN DEL CORREDOR EN LOS TACOS

Distancia Horizontal entre Línea de Salida y Proyección CM, en la posición "Set" es un factor que diferencia a los velocistas de diferente nivel de rendimiento

Los Velocistas más rápidos tienden a situar su CM más cerca de la línea de salida y más cerca del suelo

- Velocistas Élite (MM: 10,27"±0,14) & Velocistas Medios (MM: 11,31"±0,28): mostraron valores de 22,9 cm y 27,8 cm, respectivamente.
- Velocistas Medios (MM: 11,10"±0,17) & Velocistas Lentos (MM: 11,95"±0,24): presentaron valores de 16,2 cm y 24,8 cm, respectivamente.

Una posición más agachada solo es posible gracias a la elevada fuerza explosiva de las mejores velocistas, que les permite generar mayores niveles de fuerza sobre los tacos y reducir el recorrido horizontal del CM.

Esta posición se complementa con unos hombros más adelantados, ejerciendo mayor tensión sobre los brazos y permitiendo una mayor velocidad de apoyo durante la fase posterior.

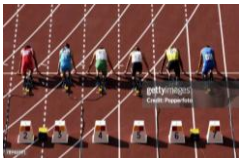
ÁNGULOS DE LOS TACOS

- Modelo MONDO AC010
  - 51º - 60º - 68º - 75º
- Modelo SEIKO (168)
  - 20º - 30º - 40º - 45º - 50º



Atleta	Taco Delantero (º)	Taco Trasero (º)
Mayola	60º - Medio Bajo	68º - Medio Alto
Berlanga	51º - Bajo	51º - Bajo
Beitia	51º - Bajo	51º - Bajo
Mocholi	51º - Bajo	60º - Medio Bajo
Obikwelu	51º - Bajo	60º - Medio Bajo
Maestra	51º - Bajo	60º - Medio Bajo
Rodríguez	60º - Medio Bajo	60º - Medio Bajo
Santos	60º - Medio Bajo	60º - Medio Bajo
Córcoles	68º - Medio Alto	68º - Medio Alto
Carmen Blay	51º - Bajo	51º - Bajo

Separación en los Tacos de los Finalistas en el Campeonato del Mundo de París de 2003 (HOMBRES)



Atleta	Marca Seg.	TR ms	Distancia Taco Delantero	Distancia Taco Trasero	Distancia Entre Tacos	Pie Taco Delantero
Collins	10.17	148	59 cm	83.5 cm	24.0 cm	Izquierdo
Brown	10.08	152	42 cm	83.0 cm	41.0 cm	Izquierdo
Campbell	10.08	112	59 cm	96.5 cm	37.5 cm	Derecho
Chambers	10.08	145	67 cm	98.5 cm	31.5 cm	Izquierdo
Montgomery	10.11	140	47 cm	78.5 cm	31.5 cm	Izquierdo
Williams	10.13	133	39 cm	83.5 cm	44.5 cm	Izquierdo
Aeji Aliu	10.21	132	59 cm	97.5 cm	37.5 cm	Izquierdo
Emedolu	10.22	164	60 cm	87.0 cm	28.0 cm	Izquierdo

Separación en los Tacos de los Finalistas en el Campeonato del Mundo de París de 2003 (MUJERES)



Atleta	Marca Sec.	TR ms	Distancia Taco Delantero	Distancia Taco Trasero	Distancia Entre Tacos	Pie Taco Delantero
White	10.85	184	59 cm	76.5 cm	17.5 cm	Izquierdo
Edwards	10.93	133	48 cm	76.0 cm	28.0 cm	Izquierdo
Block	10.99	160	48 cm	72.5 cm	24.5 cm	Izquierdo
Sturrup	11.02	136	46 cm	77.0 cm	31.5 cm	Derecho
Thanou	11.03	219	36 cm	60.5 cm	24.5 cm	Derecho
Arron	11.06	182	55 cm	83.0 cm	28.0 cm	Izquierdo
Bailey	11.07	205	40 cm	67.5 cm	17.5 cm	Derecho
Devers	11.11	150	50 cm	78.0 cm	28.0 cm	Izquierdo

Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

1

COLOCACIÓN DE LOS TACOS

Depende en gran medida de la distancia anteroposterior de los bloques. Este aspecto es lo que define el tipo de salida. Existen 3 tipos de salidas: AGRUPADAS (<0,30 m); MEDIAS (0,30 a 0,50 m); ALARGADAS (>0,50 m)

La separación entre Bloques es de:
SEPARACIÓN: 23,5±1,9 cm (M: 11,97±2,6 segundos)

SEPARACIÓN: 32,0 ± 5,0 cm (H: 10,79±0,21 segundos)

La mayoría de velocistas adoptan distancias cercanas al tipo de **SALIDA AGRUPADA**, favoreciendo el posicionamiento del CM cerca de la línea de salida

SALIDA ALARGADAS aumentan la velocidad de salida de los tacos (la velocidad horizontal del CM al despegar, pero vinculadas a aumento en el tiempo de empuje en los bloques, lo que implica un rendimiento significativamente peor a los 5 y 10 m de carrera cuando la comparamos con la **SALIDA AGRUPADA**

SALIDA MEDIA ofrece mejor compromiso entre el tiempo de empuje y la fuerza ejercida sobre los tacos, lo que permite mejores tiempos a los 10 m de carrera

Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

2

COLOCACIÓN DE LOS TACOS

COLOCACIÓN DE LOS TACOS Y MORFOLOGÍA DEL DEPORTISTA

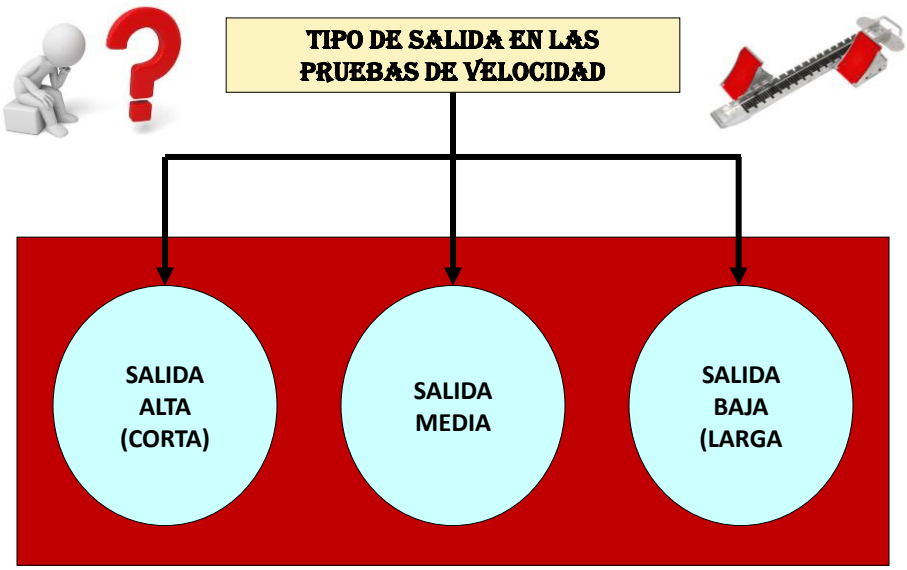
Ajustar el espaciado entre Bloques a las longitudes relativas del tronco y extremidades inferiores del velocista (incrementando en un 25,02% el espacio entre Bloques), permite una *mayor fuerza e impulso en la pierna trasera* y una mayor *Potencia Horizontal Media Normalizada Total* (NAHEP)

Inclinación de los Tacos & Pretensión sobre los Tacos antes del disparo

Inclinación de los Tacos: afecta las longitudes iniciales de las unidades músculo-tendinosas flexoras plantares y determina la mecánica muscular y los parámetros de fuerza externa durante la fase de apoyo

Reducciones en la inclinación de ambos Tacos (65º a 40°), lo que significa mayor preestiramiento músculo-tendinoso, que conducen a aumentos en la velocidad de salida y mayores Momentos y Potencias pico, especialmente en tobillo

Reducciones en la inclinación del Bloque Frontal (70º a 30°) también aumentan agudamente la velocidad de salida sin afectar la duración de fase de impulso



COLOCACIÓN CORTA: se caracteriza por situar el taco delantero a una distancia aproximada de 1,5 pies desde la línea de salida, mientras que el trasero queda a un pie respecto al delantero.

- Provoca ángulos cerrados en tobillos, rodillas y caderas, lo que permite una salida muy explosiva y con elevada FZ en los 1os metros.
- Exige altos niveles de Fuerza Reactiva y Control Postural. Se recomienda a velocistas experimentados y con buena capacidad de aceleración.

COLOCACIÓN INTERMEDIA: es la más habitual y la más aconsejada en procesos de enseñanza y tecnificación. En este caso, el taco delantero se coloca a 1,5–2 pies de la línea de salida y el trasero a 2–3 pies respecto al delantero.

- Buen equilibrio entre FZ y LZ, garantizando estabilidad y un buen control del CM.
- Se adapta a la mayoría de los atletas, facilita una reacción eficaz sin comprometer la aceleración.

COLOCACIÓN LARGA: taco delantero a unos 2 pies de la línea y el trasero a 3 o más, lo que genera ángulos más abiertos en rodillas y caderas.

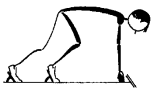
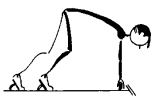
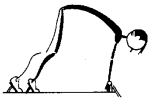
- Permite un empuje más amplio y progresivo, adecuado para atletas con mayor desarrollo de Fuerza Máxima o que prefieren una aceleración más extendida.
- Reduce la frecuencia de los pasos iniciales y puede provocar salidas menos rápidas.

Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

Valamatos, M. J., Abrantes, J. M., Carnide, F., Valamatos, M. J., & Monteiro, C. P. International Journal of Environmental Research and Public Health 19(7), 4074. https://doi.org/10.3390/ijerph19074074. 2022.

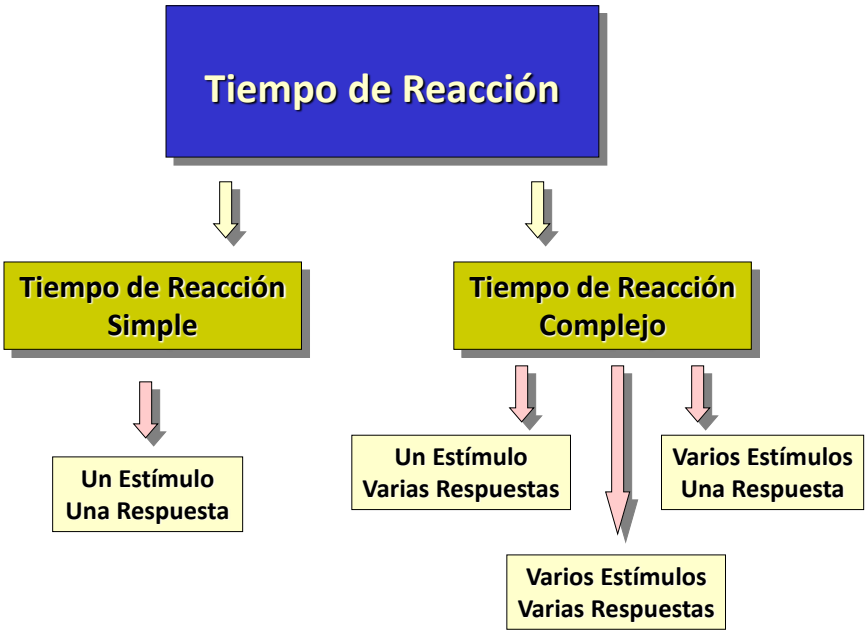
Tipo de Salida	Distancia Anteroposterior entre Tacos	Separación entre Bloques	Características Principales	Efectos en el Rendimiento
Agrupada	**< 0,30 m**	23,5 ± 1,9 cm (M: 11,97 ± 2,6 s)	Posiciona el CM cerca de la línea de salida	Favorece reactividad inmediata, pero menor empuje inicial.
Media	**0,30 – 0,50 m**	32,0 ± 5,0 cm (H: 10,79±0,21 s)	Equilibrio entre empuje y fuerza ejercida sobre tacos	Mejores tiempos a 10 m de carrera; opción más eficiente y estable.
Alargada	**> 0,50 m**	Similar a la media (≈32 cm)	Aumenta el tiempo de empuje horizontal del CM al despegar.	Mejora la velocidad en 5 y 10 m respecto a la salida agrupada, aunque con menor frecuencia inicial.

HISTORIA DE LAS TÉCNICA
Julio Bravo Durcal (1986)

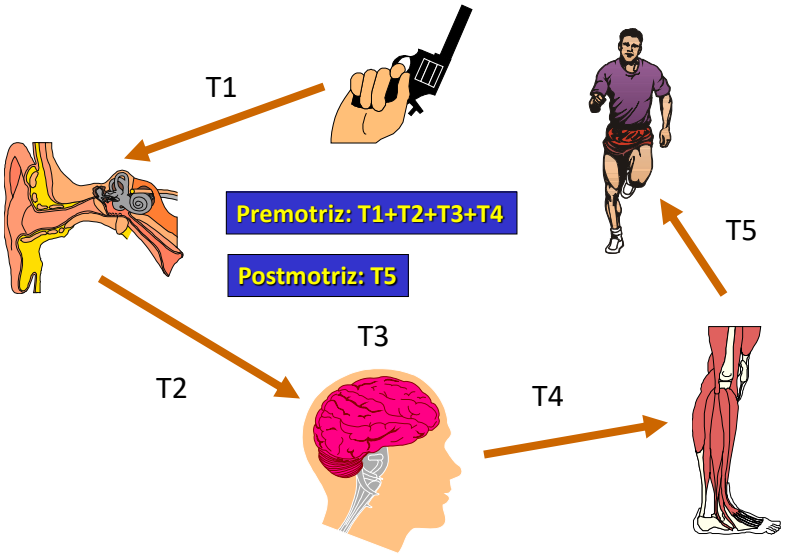
	**Posición algo estrecha de pies entre sí y normal a las manos** **Cadera horizontal o ligeramente levantada** Armin Hary (RM 10.0 en 1960, Campeonato Olímpico Roma 100 m.) Livio Berruti (Campeonato Olímpico Roma 200 m. con 20.5 RM igualado) Tommie Smith (Campeonato Olímpico Méjico 200 m. con 19.83 RM) Donal Quarrie (Campeonato Olímpico Montreal 200 m.)
	**Posición algo estrecha de pies y manos** **Cadera ligeramente levantada** Paul Drayton (RM 20.3 en 1962) James Hines (Campeonato Olímpico Méjico con 9.95 RM) Pietro Mennea (RM 19.72 en 1979 y Campeonato Olímpico Moscú)
	**Posición estrecha de pies y normal a las manos** **Cadera levantada** Ira Murchison (10.1 en 1956, RM igualado) Robert Morrow (Campeonato Olímpico Melbourne con 20.6 RM igualado) Harry Jerome (10.0 en 1960, RM igualado) Calvin Smith (RM 9.93 en 1983)
	**Posición normal de pies y estrecha a las manos** **Cadera algo levantada** Alan Wells (Campeonato Olímpico Moscú 100 m.)
	**Posición muy estrecha de pies** **Cadera muy levantada** Robert Hayes (Campeonato Olímpico Tokio con 10.0 RM igualado) Henry Carr (RM 20.2 en 1964, Campeonato Olímpico Tokio 200 m.) Carl Lewis (Campeonato Olímpico Los Angeles 100 y 200 m.)

ERRORES MÁS FRECUENTES EN LA SALIDA DE 60-100-200 METROS

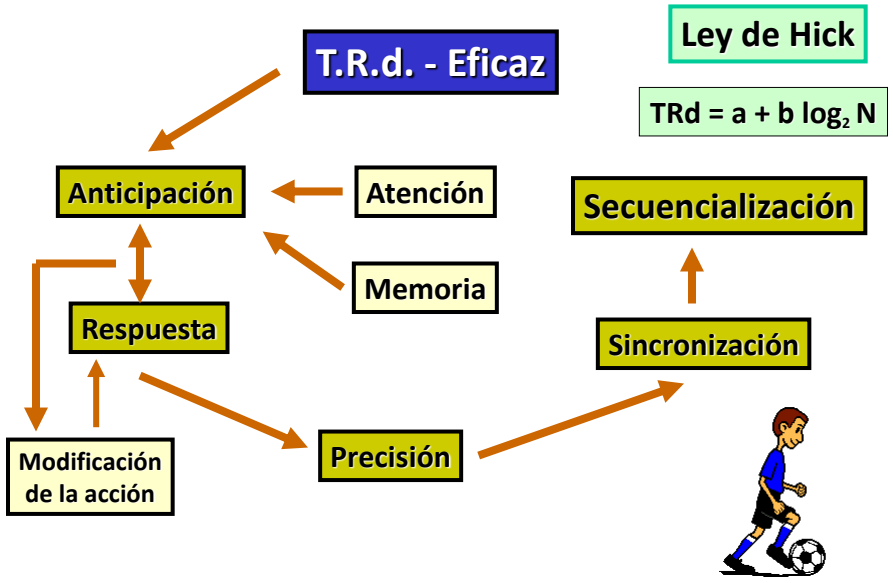
- **SOBRE LOS TACOS**
  - Inadecuada distribución del P.C. sobre los 4 apoyos.
  - Inadecuada proyección de los hombros sobre apoyo de manos.
  - Selección incorrecta de la atención: disparo *vs.* empuje.
- **EMPUJE EN LOS TACOS**
  - Acciones musculares.
    - Extensores de la articulación de la rodilla.
    - Extensión de cadera (importancia de isquiotibiales)
    - Acción flexores plantares ¿reactiva?
- **PUESTA EN ACCIÓN**
  - Incorrecta relación Amplitud – Frecuencia en los primeros apoyos.
  - Excesivo desplazamiento lateral de los apoyos.



Tiempo de Reacción Simple



Tiempo de Reacción Discriminativo



Tipos de Anticipación en el Deporte

- **Anticipación Espacial**
- **Anticipación Temporal**

> **"El enemigo ha de ignorar donde pienso librar yo la batalla.
> Porque si lo ignora, deberá encontrarse preparado en muchos puntos.
> Y, si está preparado en muchos puntos, los oponentes que encontraré en cualquiera de tales puntos serán poco numerosos...
> Generalmente, el que ocupa primero el terreno y espera al enemigo está en posición de fuerza; el que llega al lugar más tarde y se precipita al combate, se encuentra ya debilitado"**
>
> **Sun Tzu**

REQUISITOS PARA UNA BUENA ANTICIPACIÓN EN EL DEPORTE

ATENCIÓN FOCALIZADA

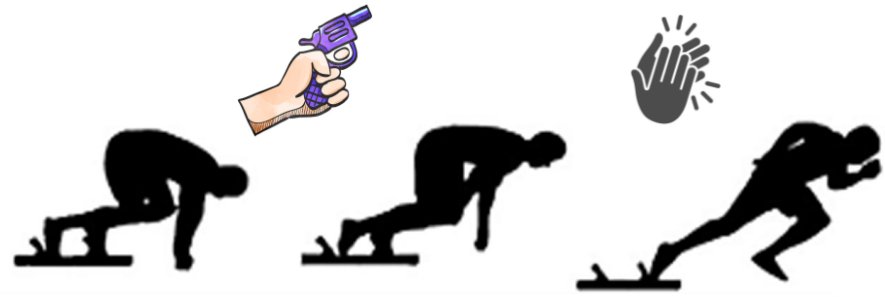
- **Movimientos Extraños**
  - De los contrarios
  - De los compañeros
  - Del móvil
- **Movimientos Propios**
  - Respecto a las decisiones
  - Respecto a los desplazamientos
  - Respecto a las acciones técnicas

ANTICIPACIÓN AL DESARROLLO DEL JUEGO

TIEMPO DE REACCIÓN

TIEMPO DE REACCIÓN SIMPLE

Se define como:
El tiempo que transcurre tras el inicio de un estímulo (Disparo) y la primera respuesta observable resultante (Empuje sobre los tacos)



TIEMPO DE REACCIÓN

La fase de reacción es la primera fase de una carrera de velocidad, comenzando con el disparo que realiza el juez de salida y terminando cuando el atleta inicia el movimiento con el que abandonan el taco de salida

IMPLICA:

Respuesta Auditiva: Los velocistas reaccionan al disparo de salida (o tono electrónico). El tiempo de reacción se mide desde el disparo hasta el momento en que se aplica fuerza contra los bloques.

Procesamiento Neuronal: El cerebro procesa el sonido y envía una señal a los músculos. Las fibras musculares de contracción rápida se activan para iniciar un movimiento explosivo.

Acción Muscular Inicial: Comienza el primer impulso con las piernas (cuádriceps, glúteos, pantorrillas). Las manos se levantan de la pista a medida que el cuerpo avanza.

TIEMPO DE REACCIÓN TÍPICO:

Velocistas Élite: Alrededor de 0,12 a 0,15 segundos.

Salidas Nulas: Cualquier tiempo inferior a 0.10 segundos se considera demasiado rápido y se asume que el atleta anticipó su salida al disparo.

Direção do foco atencional no tempo de resposta na partida do bloco no Atletismo

José Vasconcelos-Raposo & Estefânia Sá

American Journal of Sport Training, 1-13. 2016.

SE RECONOCEN DOS FASES DEL TIEMPO DE REACCIÓN SIMPLE:

FASE PREMOTORA

- **Tiempo que tarda el receptor en captar el estímulo (tiempo transcurrido entre la aparición del estímulo y su recepción por el individuo).** Este componente está estrechamente relacionado con la capacidad de concentración (mayor capacidad de concentración ⇒ menor TR);
- **Tiempo que tarda el estímulo en viajar por vía aferente, es decir, el tiempo desde que el estímulo llega al receptor en el área cerebral de cada modalidad sensorial.** Este aspecto se relaciona con la velocidad de conducción del impulso nervioso (no se puede entrenar);
- **Tiempo que se tarda en elaborar la respuesta, es decir, seleccionar una respuesta correcta o apropiada de entre todas las experiencias almacenadas en la memoria** (esta es la fase que mejor se puede desarrollar mediante entrenamiento);
- **Tiempo que tarda el estímulo en viajar por la vía eferente hasta llegar a la placa motora terminal** (factor muy estable que solo puede cambiar mínimamente con el entrenamiento);

FASE MOTORA

- **Tiempo que tarda el músculo en estimularse, es decir, en iniciar la contracción**.

VARIABLES QUE AFECTAN AL TIEMPO DE REACCIÓN

- **CARACTERÍSTICAS DEL ESTÍMULO ELICITADOR**
  - Intensidad de la Estimulación
    - Mayor intensidad menor latencia
    - Límite de Intensidad Facilitadora
  - Simultaneidad de Estímulos

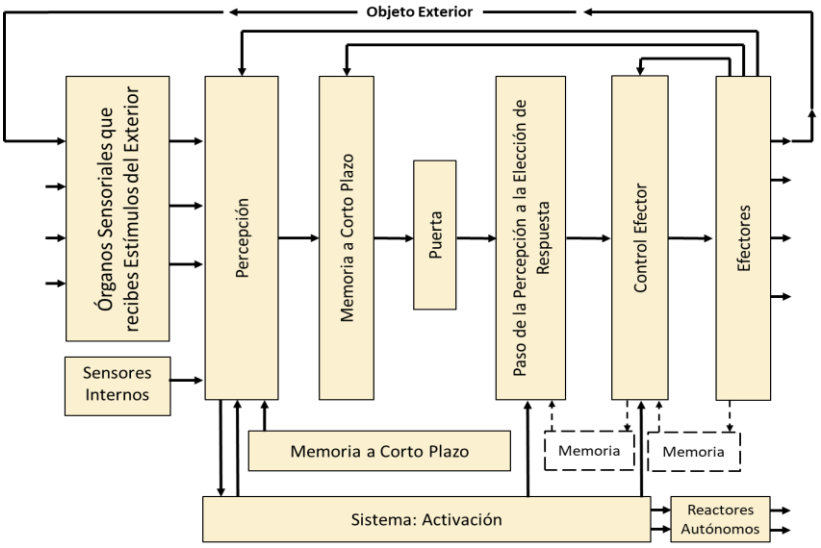


- **ESTADO DE ORGANOS IMPLICADOS EN LA REACCIÓN**
  - Órgano (Sistema) estimulado
    - Menor a Mayor: Auditivo → Táctil → Visual
  - Nivel de Preactivación
  - Nivel de Fatiga
  - Edad o Sexo
- **ENTORNO DONDE SE PRODUCE EL PROCESO**
  - Complejidad de la respuesta
  - Conocimiento del proceso
    - Experiencia
  - Motivación
  - Grado de dificultad



PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Skilled Performance: Perceptual and Motor Skills
Alan Traviss Wellford
Scott Foresman & Company. EE.UU.



TIEMPO DE REACCIÓN EN CARRERAS DE VELOCIDAD

Sprint start regulation in Athletics: a critical review
Milloz, M., Hayes, K., & Harrison, A. J.
Sports Medicine, 51(1), 21-31. 2021.

La salida está estrictamente controlada para garantizar máxima equidad en la competición

Sistemas de Información de Salida **(SIS)** certificados por ***World Athletics*** registran los Tiempos de Respuesta de los atletas en la competencia para garantizar que ningún atleta obtenga una ventaja al responder en **<100 ms** después de la señal de salida que da el Juez de Salidas

Los **SIS** usan diferentes tecnologías para dar la señal de salida y registrar el TR

Falta de evidencia científica sobre el *Umbral de Salida Falsa* de 100 ms (valor criticado en la literatura)

Las investigaciones demuestran que el inicio de la reacción de fuerza en el brazo es el primer evento biomecánico detectable en la salida

Se necesita más investigación para comprender con precisión la secuencia de eventos y el control motor de la salida, a fin de mejorar la tecnología SIS y determinar rigurosamente el límite mínimo de RT en la salida de sprint

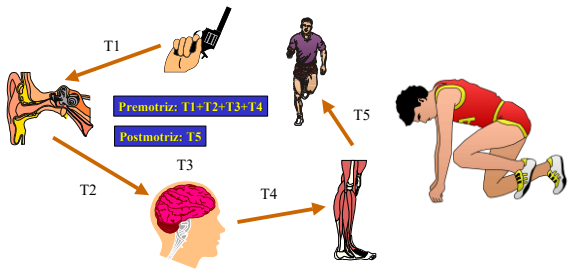
Valoración del Tiempo de Reacción (ms)				
Excepcional	Bueno	Medio	Bajo	Malo
<130 ms.	130-155 ms.	156-185 ms.	186-210 ms.	>210 ms.

Velocidad de Reacción

- Valor Real
- Valor Relativo
- Dependencias Importantes
  - Atención
  - Anticipación
  - Autoconfianza

Distancia (m)	P Value (Hombres)	P Value (Mujeres)
100 metros	<0.0000	<0.0000
200 metros	<0.0056	<0.0025
400 metros	<0.0502	<0.0399

Tiempo de Reacción



The importance of reaction time in athletics:
influence on the results of sprint runs of world championships finalists
Ratko Pavlović
Central European Journal of Sport Sciences and Medicine,34(2), 53–65. 2021.

MUESTRA:
(244 hombres y 243 mujeres)
Participantes en finales de CM desde 2001 (Edmonton) hasta 2019 (Doha)

El presente estudio demostró que el

TIEMPO DE REACCIÓN

NO PUEDE SER CONSIDERADO UN PREDICTOR FIABLE Y DE CALIDAD DEL ÉXITO EN CARRERAS DE VELOCIDAD DE 200 A 400 METROS

En las carreras más cortas (i.e. 100 m) presenta un impacto parcial, solo para la muestra masculina (r=0,230, p<0,044)

No obstante, entrenadores y atletas deben implementar entrenamientos específicos para mejorar el Tiempo de Reacción en carreras competitivas con el fin de mejorar el rendimiento atlético general, así como en todos los demás segmentos de la carrera

Influence of Reaction Time on Athletic Performance
David E. Martin & John F. Buoncristiani
New Studies in Athletics, 10(1), 67-79. 1995.

TIEMPO DE REACCIÓN MASCULINO (♂) (N: 630)
Campeonato del Mundo de Stuttgart (1993)

DISTANCIA	Nº	MEDIA	MÁS RÁPIDO	MÁS LENTO
100 m	120	166 ± 21	115	233
200 m	121	222 ± 49	144	376
400 m	92	263 ± 75	115	446
110 m V	69	168 ± 28	110	250
400 m V	80	247 ± 52	153	375
100 m Decatlón	25	161 ± 26	109	201
110 m V Decatlón	22	170 ± 21	126	211
400 m Decatlón	22	263 ± 57	128	354
4 x 100 m	47	194 ± 51	138	390
4 x 400 m	44	296 ± 65	143	424

Influence of Reaction Time on Athletic Performance
David E. Martin & John F. Buoncristiani
New Studies in Athletics, 10(1), 67-79. 1995.

TIEMPO DE REACCIÓN FEMENINO (♀) (N: 515)
Campeonato del Mundo de Stuttgart (1993)

DISTANCIA	Nº	MEDIA	MÁS RÁPIDO	MÁS LENTO
100 m	111	171 ± 30	125	353
200 m	100	228 ± 46	154	4376
400 m	56	281 ± 87	125	644
100 m V	74	173 ± 26	99	254
400 m V	68	264 ± 58	147	400
200 m Heptatlón	30	235 ± 47	130	314
100 m V Heptatlón	34	179 ± 21	129	228
4 x 100 m	19	205 ± 42	146	270
4 x 400 m	21	297 ± 85	151	476

Strategic aspects of reaction time in world-class sprinters
Christian Collet
Perceptual and Motor Skills, 88(1), 65-75. 1999.

El RT debe considerarse una habilidad que depende de la experiencia y el aprendizaje, y está asociada a la longitud de la carrera

Cuanto más corta es la carrera, más importante es el RT para el rendimiento final (tanto en tiempo como en puesto), por lo que los velocistas intentan disminuir el RT en las carreras cortas (60 m y 100 m)

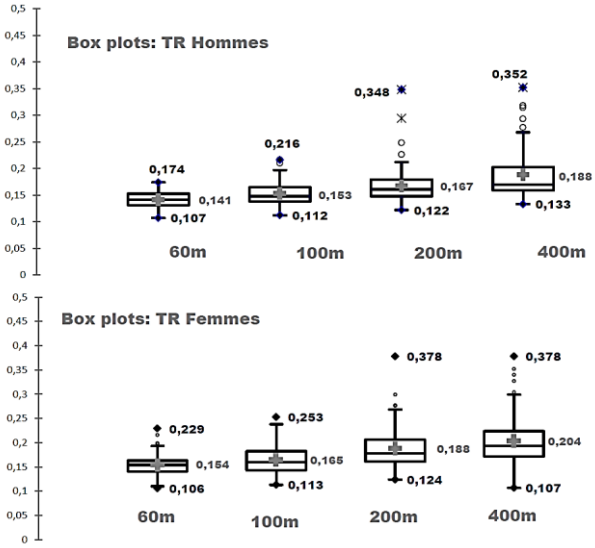
Las carreras de distancia intermedia presentan valores intermedios de RT

Este comportamiento podría explicarse por la importancia del RT en todos los factores que influyen en el rendimiento en velocidad y en la asignación de recursos y gasto de concentración

World Championships & Olympic Games

60 M (n = 68)	100 M (n = 102)	200 M (n = 32)	400 M (n = 64)
143.99 ms ± 27.62	**147.61 ms** ± 24.67	**172.66 ms** ± 39.39	**203.00 ms** ± 56.58

Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.



El **Tiempo de Reacción** es el tiempo transcurrido entre la detección de la señal de activación y el inicio de la acción muscular de la respuesta al movimiento.
La **Velocidad de Reacción** es a una combinación de:

- Percepción de la información
- Análisis
- Activación muscular del procesamiento

La velocidad de reacción a una señal, en realidad, se refiere al dominio de la agudeza neuromuscular, es decir, a un aspecto motor y a un aspecto sensorial.

EJEMPLO DE LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL TR Y EL RESULTADO EN DIFERENTES PRUEBAS DE VELOCIDAD

Campeonato España Málaga – 2005 (Hombres)			Campeonato España Málaga – 2005 (Mujeres)		
Beitia	152	4º	Recio	179	5º
Rodríguez	157	7º	Conde	148	1º
Maestra	130	2º	Blay	175	4º
Mocholi	154	5º	Alonso	195	7º
Berlanga	139	3º	Sanz	157	2º
Zarzuelo	127	1º	Iglesias	160	3º
Puigtió	168	8º	Duque	301	9º
Borreguero	154	5º	Trapero	190	6º
			Mun	202	8º

CAMPEONATO DEL MUNDO DE STUTTGART – 1993
(HOMBRES)

Distancia	Marca	TR	Menor	Mayor
100 metros	10.5 +/-0.69	166 +/-21	115	233
200 metros	21.0 0.68	222 +/-49	144	376
400 metros	45.9 +/-1.0	263 +/-75	115	446[2]
110 vallas	13.6 +/-0.35	168 +/-28	110	250
400 vallas	49.7 +/-1.19	247 +/-52	153	375
100 decatlón	11.1 +/-0.26	161 +/-26	109[1]	201
110 decatlón	14.6 +/-0.40	170 +/-21	126	211
400 decatlón	49.3 +/-1.18	263 +/-57	128	354

CAMPEONATO DEL MUNDO DE STUTTGART – 1993
(MUJERES)

Distancia	Marca	TR	Menor	Mayor
100 metros	11.6 +/-0.69	171 +/-30	125	353
200 metros	23.5 +/-1.15	228 +/-46	154	346
400 metros	52.6 +/-2.28	281 +/-87	125	644[2]
100 vallas	13.2 +/-0.43	173 +/-26	99[1]	254
400 vallas	55.9 +/-1.63	264 +/-58	147	400
100v Heptatlón	13.9 +/-0.76	179 +/-21	129	228
200 Heptatlón	24.9 +/-0.94	235 +/-47	130	314

Atlanta 1996

JUEGOS OLÍMPICOS
ATLANTA (1996)



ATLETA	MARCA	TR
DonOvan Bailey	9.835	0.174
Frankie Fredericks	9.888	0.143
Ato Baldon	9.900	0.164
Dennis Mitchell	9.986	0.145
Michael Marsh	9.993	0.147
Davidson Ezinwa	10.138	0.157
Michael Green	10.159	0.169

CAMPEONATO DEL MUNDO SEVILLA (1999)



ATLETA	MARCA	TR
Maurice Green	9.80	0.132
Bruny Surin	9.84	0.127
Owain Chambers	9.97	0.140
Obadele Thompson	10.00	0.145
Tim Harden	10.02	0.136
Tim Montgomery	10.04	0.136
Jason Gardner	10.07	0.142
Streete-Thompson	10.24	0.173

EJEMPLO DE LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL TR Y EL RESULTADO EN DIFERENTES PRUEBAS DE VELOCIDAD

TR C.E. Madrid - 1986			TR J.O. Atenas - 2004		
Desruelles	**161**	**6º**	**Gatlin**	**188**	**8º**
Bringmann	**159**	**5º**	**Obikwelu**	**163**	**3º**
Marie Rose	**135**	**2º**	**Greene**	**151**	**1º**
Emmelman	**158**	**4º**	**Crawford**	**161**	**2º**
Berger	**126**	**1º**	**Powell**	**166**	**5º**
Arqués	**149**	**3º**	**Collins**	**175**	**6º**
			Thompson	**164**	**4º**
			Zakari	**178**	**7º**

Differences in time of start reaction in the sprint disciplines in the finals of the Olympic Games (Athens, 2004 - London, 2012)

Ratko Pavlović, Dobromir Bonacin & Danijela Bonacin

Acta Kinesiologica 8(1), 53-61. 2014.

Se analizaron los resultados de 144 finalistas (72 H y 72 M) que participaron en las finales de 100 m, 200 m y 400 m

La evaluación del TR inicial (ms) y los resultados en carrera (s) se basaron en los informes publicados oficialmente por la **Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo (IAAF)**

			Mean	Min.	Max.	Range	SD
Athena 2004	100	m	,168	,151	,188	,037	,012
		w	,185	,154	,212	,058	,020
	200	m	,210	,153	,294	,141	,049
		w	,199	,162	,259	,097	,031
	400	m	,260	,178	,352	,174	,050
		w	,245	,205	,276	,071	,024
Beijing 2008	100	m	,146	,133	,169	,036	,014
		w	,183	,149	,234	,085	,033
	200	m	,177	,144	,212	,068	,025
		w	,186	,167	,206	,039	,015
	400	m	,230	,164	,318	,154	,051
		w	,242	,181	,378	,197	,066

Start reaction time and performance at the sprint events in World Athletic Championships

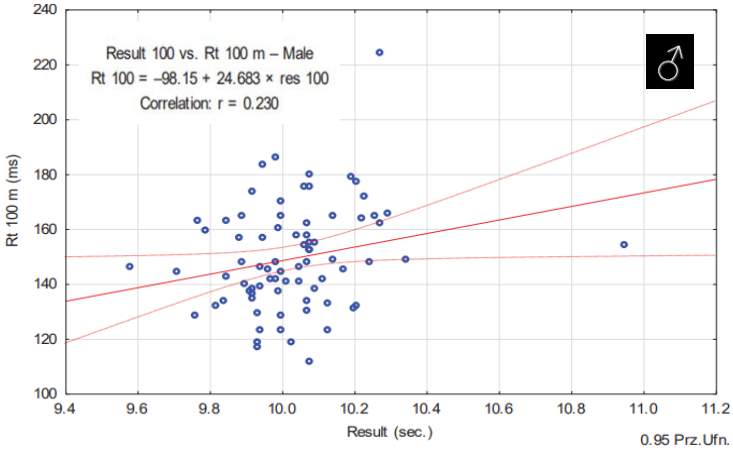
Pilianidis, T. H., Mantzouranis, N., & Kasabalis, A.

International Journal of Performance Analysis in Sport, 12(1), 112-118. 2012.

Mean (95%CI) Fastest-Slowest	100m		200m	
	Reaction Time (ms)	Time (s)	Reaction Time (ms)	Time (s)
Athens 1997	130 (122-137) 120-140	9.98 (9.89-10.07) 9.86-10.12	135 (115-156) 110-180	20.28 (20.16-20.39) 20.04-20.44
Seville 1999	136 (131-142) 127-145	9.96 (9.86-10.05) 9.80-10.07	144 (129-159) 131-174	20.19 (20.00-20.38) 19.90-20.48
Edmonton 2001	148 (138-157) 132-162	10.02 (9.89-10.14) 9.82-10.24	153 (138-168) 134-179	20.19 (20.12-20.25) 20.04-20.25
Paris 2003	140 (120-159) 112-164	10.13 (10.06-10.20) 10.07-10.22	156 (139-173) 129-176	20.37 (20.30-20.44) 20.30-20.47
Helsinki 2005	141 (130-153) 123-165	10.07 (9.99-10.15) 9.88-10.20	157 (142-172) 124-174	21.12 (19.36-22.87) 20.04-26.27
Osaka 2007	150 (133-167) 130-180	10.03 (9.91-10.15) 9.85-10.23	157 (142-172) 143-186	20.13 (19.88-20.37) 19.76-20.57
Berlin 2009	138 (125-151) 119-165	9.91 (9.72-10.10) 9.58-10.34	155 (143-166) 133-179	20.05 (19.63-20.46) 19.19-20.68

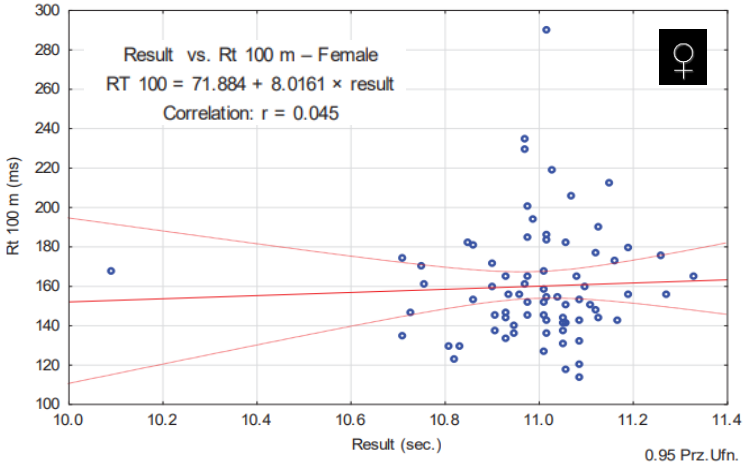
The importance of reaction time in athletics:
influence on the results of sprint runs of world championships finalists
Ratko Pavlović
Central European Journal of Sport Sciences and Medicine,34(2), 53–65. 2021.

MUESTRA: (244 hombres y 243 mujeres)
Participantes en finales de CM desde
2001 (Edmonton) hasta 2019 (Doha)



The importance of reaction time in athletics:
influence on the results of sprint runs of world championships finalists
Ratko Pavlović
Central European Journal of Sport Sciences and Medicine,34(2), 53–65. 2021.

MUESTRA: (244 hombres y 243 mujeres)
Participantes en finales de CM desde
2001 (Edmonton) hasta 2019 (Doha)

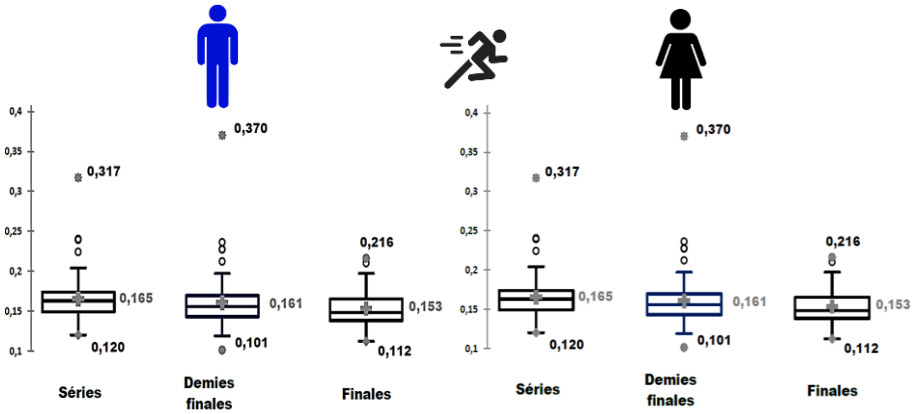


Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.

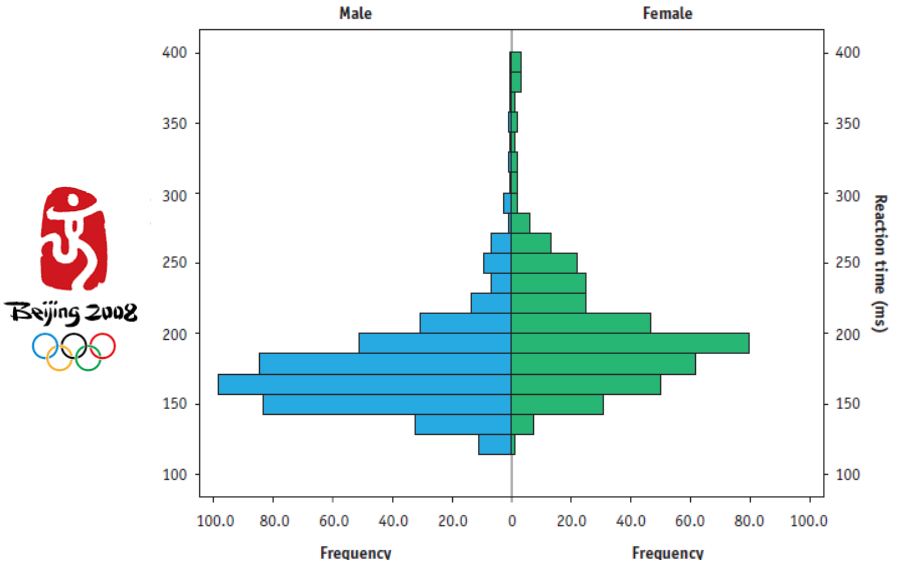
TIEMPOS DE REACCIÓN

100m

(Series, Semifinales & Finales)

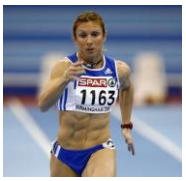


How Usain Bolt can run faster – effortlessly
John D. Barrow
The Royal Statistical Society, 9(2), 9-12. 2012.



JUEGOS OLÍMPICOS
SYDNEY (2000) (H & M)





ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Mauricie Greene	9.87	0.197	Ekaterini Thánou	11.12	0.206
Ato Bolton	9.99	0.136	Tayna Lawrence	11.18	0.163
Obedel Thompson	10.10	0.216	Merlene Ottey	11.19	0.179
Dwain Chambers	10.08	0.174	Zhanna Block	11.20	0.223
Jon Drummond	10.09	0.147	Chandra Sturrup	11.21	0.193
Darren Campbell	10.13	0.193	Savatheda Fynes	11.22	0.253
Kim Collins	10.17	0.210	Debbie Fergusson-McKenzie	11.29	0.238
Aziz Zakari	DNF	0.180	Marion Jones	DQ	0.189

CAMPEONATOS DEL MUNDO
EDMONTON (CANADA) (2001)

ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Maurice Green	9.82	0.132	Zhanna Block	10.82	0.123
Bernard Williams	9.94	0.146	Ekaterini Thánou	10.91	0.145
Ato Boldon	9.98	0.148	Chandra Sturrup	11.02	0.154
Dwain Chambers	9.99	0.160	Chryste Gaines	11.06	0.141
Kim Collins	10.07	0.162	Debbie Ferguson McKenzie	11.13	0.189
Christian Malcolm	10.11	0.142	Mercy Nku	11.17	0.142
Aziz Zakari	10.24	0.148	Marion Jones	DQ	0.146
Tim Montgomery	DQ	0.157	Kelli White	DQ	0.151

CAMPEONATOS DEL MUNDO PARIS (FRANCIA) (2003)

ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Kim Collins	10.07	0.148	Torri Edwards	10.93	0.133
Darrel Brown	10.08	0.152	Chandra Sturrup	11.02	0.136
Darren Campbell	10.08	0.112	Ekaterini Thánou	11.03	0.219
Bernard Williams	10.13	0.133	Christine Arron	11.06	0.182
Dejl Aliu	10.21	0.132	Aleen Bailey	11.07	0.205
Uchenna Emedolu	10.22	0.164	Gail Devers	11.11	0.150
Dwain Chambers	DQ	0.145	Kelli White	DQ	0.184
Tim Montgomery	DQ	0.140	Zhanna Block	DQ	0.160



JUEGOS OLÍMPICOS ATENAS (2004) (H)

ATLETA (H)	MARCA	TR
Justin Gatlin	9.85	0.188
Francis Obikwelu	9.86	0.163
Maurice Greene	9.87	0.151
Shawn Crawford	9.89	0.161
Asafa Powell	9.94	0.166
Kim Collins	10.00	0.175
Obadele Thompson	10.10	0.164
Aziz Zakari	DNF	0.178

Reaction Time Trends in the Sprint and Hurdle Events at the 2004 Olympic Games: Differences Between Male and Female Athletes

Vesna Babiç & Ana Delalija

New Studies in Athletics, 24(1), 59-68. 2009.

Event	Level	N	Mean	Min	Max	SD	Skew	Kurt	Max D
100m	F	7	0.167	0.151	0.188	0.012	0.831	1.272	0.243
	SF	8	0.156	0.139	0.188	0.016	1.287	1.793	0.211
	Q	61	0.165	0.113	0.239	0.026	1.016	1.018	0.141
200m	F	7	0.210	0.153	0.294	0.049	0.761	-0.121	0.194
	SF	8	0.214	0.150	0.299	0.047	0.454	0.254	0.134
	Q	35	0.203	0.141	0.270	0.041	0.102	-1.322	0.143
400m	F	8	0.260	0.178	0.352	0.050	0.276	1.839	0.245
	SF	15	0.254	0.187	0.336	0.042	0.646	-0.193	0.147
	Q	27	0.262	0.161	0.371	0.058	0.305	-0.747	0.115
110mH	F	8	0.164	0.139	0.204	0.021	0.674	0.978	0.192
	SF	7	0.157	0.124	0.196	0.023	0.401	0.250	0.141
	Q	29	0.166	0.128	0.227	0.023	0.620	0.535	0.102
400mH	F	8	0.248	0.150	0.390	0.068	1.187	3.374	0.256
	SF	16	0.229	0.162	0.313	0.040	0.138	-0.094	0.094
	Q	10	0.290	0.164	0.391	0.083	-0.405	-1.037	0.141

CAMPEONATOS DEL MUNDO
HELSINKI (FINLANDIA) (2005)

ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Justin Gatlin	9.88	0.157	**Lauryn Williams**	10.93	0.146
Michael Frater	10.05	0.141	**Verónica Campbell Brown**	10.95	0.139
Kim Collins	10.05	0.146	**Christine Arron**	10.98	0.165
Francis Obikwelu	10.07	0.134	**Chandra Sturrup**	11.09	0.113
Dwight Thomas	10.09	0.138	**Me'Lisa Barber**	11.09	0.120
Leonard Scott	10.13	0.123	**Sherone Simpson**	11.09	0.132
Marc Burns	10.14	0.165	**Muna Lee**	11.09	0.153
Aziz Zakari	10.20	0.131	**Yuliya Nestsiarenka**	11.13	0.144

CAMPEONATOS DEL MUNDO
OSAKA (JAPÓN) (2007)

ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Tyson Gay	9.85	0.143	Verónica Campbell Brown	11.01	0.167
Derrick Atkins	9.91	0.137	Lauryn Williams	11.01	0.145
Asafa Powell	9.96	0.145	Carmelita Jeter	11.02	0.189
Olusoji A. Fasuba	10.07	0.130	Torri Edawards	11.05	0.141
Churandy Martina	10.08	0.180	Kim Gevaert	11.05	0.143
Marlon Devonish	10.14	0.149	Christine Arron	11.08	0.164
Matic Osovnikar	10.23	0.172	Kerron Stewrt	11.12	0.177
Marcc Burns	10.29	0.166	Uludamola Osayomi	11.26	0.175



JUEGOS OLÍMPICOS
BEIJING (2008) (H & M)



ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Usain Bolt	9.69	0.165	Shelly Fraser-Pryce	10.78	0.190
Richard Thompson	9.89	0.133	Sherone Simpson	10.98	0.155
Walter Dix	9.91	0.133	Kerron Stewart	10.98	0.232
Churandy Martina	9.93	0.169	Lauryn Stewart	11.03	0.149
Usafa Powell	9.95	0.134	Muna Lee	11.07	0.234
Michael Frater	9.97	0.147	Jeannette Kwarkye	11.14	0.161
Marc Burns	10.01	0.145	D. Ferguson McKenzie	11.19	0.167
Darvis Patton	10.03	0.142	Torri Edwards	11.20	0.179

CAMPEONATOS DEL MUNDO
BERLÍN (2009) (H & M)

ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Usain Bolt	9.58	0.146	Shelly Ann Fraser Pryce	10.73	0.146
Tyson Gay	9.71	0.144	Kerron Stewart	10.75	0.170
Asafa Powell	9.84	0.134	Carmelita Jeter	10.90	0.160
Daniel Bailey	9.93	0.129	Veronca Campbell Brown	10.95	0.135
Richard Thompson	9.93	0.119	Lauryn Williams	11.01	0.158
Dwain Chambers	10.00	0.123	Debbie Fergusson McKenzie	11.05	0.130
Marc Burns	10.00	0.165	Chandra Sturrup	11.05	0.137
Darvis Patton	10.34	0.149	Aleen Bailey	11.16	0.176

JUEGOS OLÍMPICOS
LONDRES (2012) (H & M)





ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Usain Bolt	9.63	0.165	Shelly-Ann Fraser-Pryce	10.75	0.153
Yohan Blake	9.75	0.179	Carmelita Jeter	10.78	0.153
Justin Gatlin	9.79	0.178	Veronica Campbell-Brown	10.81	0.143
Tyson Gay	9.80	0.145	Tianna Madison	10.85	0.171
Ryan Bailey	9.88	0.176	Allyson Felix	10.89	0.176
Churandy Martina	9.94	0.139	Kelly-Ann Baptiste	10.94	0.128
Richard Thompson	9.98	0.160	Murielle Ahoure	11.00	0.156
Asafa Powell	11.99	0.156	Blessing Okagbare	11.01	0.165

CAMPEONATO DEL MUNDO
DAEGU (2011) (H & M)



ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Yohan Blake	9.92	0.174	**Carmelita Jeter**	10.90	0.167
Walteer Dix	10.08	0.175	**Veronica Campbell Brown**	10.97	0.234
Kim Collins	10.09	0.155	**Kelly Ann Baptiste**	10.98	0.151
Christophe Lemaitre	10.19	0.179	**Shelly A. Fraser Pryce**	10.99	0.194
Daniel Bailey	10.26	0.165	**Blessing Okagbare**	11.12	0.147
Jimmy Vicaut	10.27	0.162	**Kerron Stewart**	11.15	0.212
Nesta Carter	10.95	0.154	**Ivet Lalova Collio**	11.27	0.156
Usain Bolt	DQ	**-0.104**	**Mashevet Myers**	11.33	0.164

Differences in time of start reaction and achieved result in the sprint disciplines in the finals of the Olympic Games in London and the World Championship in Moscow
Ratko Pavlović
Sport Scientific And Practical Aspects, 12(1), 25-36. 2015.

Se observa menor homogeneidad en 400 m femeninos (Londres) y 100 m (Moscú), con valores de curtosis más altos, sugiriendo que el rango de TR en esta disciplina es mayor que finalistas femeninas

En 200 m masculinos de Londres, se registró mayor variabilidad en ambos parámetros, aunque ligeramente menor que en el caso anterior de finalistas femeninas

TR promedio en 100 m femeninos de Londres fue de 0,155 s, con TR más rápido (0,128 s)

			Mean RT	Min.	Max.	Range	SD	Skew.	Kurt.
London 2012	100	m	0,162	0,139	0,179	0,040	0,015	-,338	-1,343
		w	0,155	0,128	0,176	0,048	0,015	-,525	,148
	200	m	0,174	0,153	0,216	0,063	0,020	1,396	2,177
		w	0,165	0,150	0,176	0,026	0,009	-,707	-,448
	400	m	0,162	0,143	0,185	0,042	0,013	,487	,081
		w	0,192	0,167	0,258	0,091	0,028	2,042	4,829
Moscow 2013	100	m	0,163	0,142	0,186	0,044	0,014	,489	,343
		w	0,171	0,151	0,229	0,078	0,025	2,072	4,696
	200	m	0,156	0,138	0,177	0,039	0,016	,476	-1,971
		w	0,166	0,146	0,197	0,051	0,018	,770	-,640
	400	m	0,207	0,155	0,350	0,195	0,068	1,577	2,207
		w	0,225	0,163	0,276	0,113	0,040	-,115	-1,187

Differences in time of start reaction and achieved result in the sprint disciplines in the finals of the Olympic Games in London and the World Championship in Moscow

Ratko Pavlović

Sport Scientific And Practical Aspects, 12(1), 25-36. 2015.

JJ.OO. Londres 2012

100m Men				100m Women			
Vind: 1,5m/s		Time Reaction	Result	Vind: 1,5m/s		Time Reaction	Rezultata
1.	Usain Bolt	0.165	9.63	1.	Shelly-Ann Fraser-Pryce	0.153	10.75
2.	Yohan Blake	0.179	9.75	2.	Carmelita Jeter	0.153	10.78
3.	Justin Gatlin	0.178	9.79	3.	Veronica Campbell-Brown	0.143	10.81
4.	Tyson Gay	0.145	9.80	4.	Tianna Madison	0.171	10.85
5.	Ryan Bailey	0.176	9.88	5.	Allyson Felix	0.176	10.89
6.	Churandy Martina	0.139	9.94	6.	Kelly-Ann Baptiste	0.128	10.94
7.	Richard Thompson	0.160	9.98	7.	Murielle Ahoure	0.156	11.00
8.	Asafa Powell	0.155	11.99	8.	Blessing Okagbare	0.165	11.01
200m Men				200m Women			
Vind: 0,4m/s		Time Reaction	Result	Vind:-0,2m/s		Time Reaction	Result
1.	Usain Bolt	0.180	19.32	1.	Allyson Felix	0.174	21.88
2.	Yohan Blake	0.172	19.44	2.	Shelly-Ann Fraser-Pryce	0.169	22.09
3.	Warren Weir	0.162	19.84	3.	Carmelita Jeter	0.167	22.14
4.	Wallace Spearmon	0.165	19.90	4.	Veronica C. Brown	0.176	22.38
5.	Churandy Martina	0.157	20.00	5.	Sanya Richards-Ross	0.171	22.39
6.	Christophe Lemaitre	0.153	20.19	6.	Murielle Ahoure	0.161	22.57
7.	Alex Quinonez	0.185	20.57	7.	Myriam Soumare	0.157	22.63
8.	Anaso Jobodwana	0.216	20.69	8.	Semoy Hackett	0.15	22.87
400m Men				400m Women			
Vind:---		Time Reaction	Result	Vind:---		Time Reaction	Result
1.	Kirani James	0.163	43.94	1.	Sanya Richards-Ross	0.189	49.55
2.	Luguelin Santos	0.185	44.46	2.	Christine Ohuruogu	0.174	49.70
3.	Lalonde Gordon	0.159	44.52	3.	Deedee Trotter	0.167	49.72
4.	Chris Brown	0.166	44.79	4.	Amantle Montsho	0.198	49.75
5.	Kevin Borlee	0.151	44.81	5.	Novlene Williams-Mills	0.258	50.11
6.	Jonathan Borlee	0.173	44.83	6.	Antonina Krivoshapka	0.175	50.17
7.	Demetrius Pinder	0.153	44.98	7.	Francena Mccorory	0.196	50.33
8.	Steven Solomon	0.143	45.14	8.	Rosemarie Whyte	0.184	50.79

Differences in time of start reaction and achieved result in the sprint disciplines in the finals of the Olympic Games in London and the World Championship in Moscow

Ratko Pavlović

Sport Scientific And Practical Aspects, 12(1), 25-36. 2015.

Campeonato del Mundo Moscú 2013

100m Men				100m Women			
Wind: -0,3m/s		Reaction Time	Result	Wind: -0,3m/s		Reaction Time	Result
1.	Usain Bolt	0.163	9.77	1.	S.A.Fraser-Pryce	0.174	10.71
2.	Justin Gatlin	0.163	9.85	2.	Murielle Ahoure	0.165	10.93
3.	Nesta Carter	0.157	9.95	3.	Carmelita Jeter	0.156	10.94
4.	Kemar Bailey-Cole	0.186	9.98	4.	English Gardner	0.151	10.97
5.	Nickel Ashmeade	0.142	9.98	5.	Kerron Stewart	0.229	10.97
6.	Mike Rodgers	0.158	10.04	6.	Blessing Okagbare	0.154	11.04
7.	Christophe Lemaitre	0.154	10.06	7.	Alexandria Anderson	0.159	11.10
8.	James Dasaolu	0.177	10.21	8.	Octavious Freeman	0.179	11.16
200m Men				200 Women			
Wind: 0,0m/s		Reaction Time	Result	Wind: -0,3m/s		Reaction Time	Result
1.	Usain Bolt	0.177	19.66	1.	S.A.Fraser-Pryce	0.156	22.17
2.	Warren Weir	0.176	19.79	2.	Murielle Ahoure	0.180	22.32
3.	Curtis Mitchell	0.147	20.04	3.	Blessing Okagbare	0.154	22.32
4.	Nickel Ashmeade	0.145	20.05	4.	Shaunae Miller	0.146	22.74
5.	Adam Gemili	0.151	20.08	5.	Jeneba Tarmoh	0.161	22.78
6.	Anaso Jobodwana	0.172	20.14	6.	ChaRonda Williams	0.155	22.81
7.	Churandy Martina	0.138	20.35	7.	Mariya Ryemyen	0.197	22.84
8.	Jaysuma Saidy Ndure	0.145	20.37	8.	Allyson Felix	0.181	DNF
400m Men				400m Women			
Wind: 0,4m/s		Reaction Time	Result	Wind:-0,2m/s		Reaction Time	Result
1.	LaShawn Merritt	0.256	43.74	1.	Christine Ohuruogu	0.247	49.41
2.	Tony McQuay	0.155	44.40	2.	Amantle Montsho	0.273	49.41
3.	Luguelín Santos	0.350	44.52	3.	Antonina Krivoshapka	0.209	49.78
4.	Jonathan Borlée	0.224	44.54	4.	Stephanie McPherson	0.198	49.99
5.	Pavel Maslák	0.169	44.91	5.	Natasha Hastings	0.163	50.30
6.	Yousef Ahmed Masrahi	0.162	44.97	6.	Francena McCorory	0.241	50.68
7.	Kirani James	0.186	44.99	7.	Kseniya Ryzhova	0.195	50.98
8.	Anderson Henriques	0.157	45.03	8.	Novlene Williams-Mills	0.276	51.49

World Athletics Championships
Beijing (China). 2015.

ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Usain Bolt	9.79	0.159	Shelly A. Fraser Pryce	10.76	0.161
Justin Gatlin	9.80	0.165	Dafne Schippers	10.81	0.129
Trayvon Bromell	9.92	0.135	Tori Bowie	10.86	0.153
Andre de Grasse	9.92	0.136	Veronica Campbell Brown	10.91	0.137
Michael Rodgers	9.94	0.139	Michelle Lee Ahye	10.98	0.145
Tyson Gay	10.00	0.128	Lelly Ann Baptiste	11.01	0.127
Asafa Powell	10.00	0.144	Natasha Morrison	11.02	0.200
Jimmy Vicaut	10.00	0.170	Blessing Okagbare	11.02	0.185
Bingtian Su	10.06	0.175			

JUEGOS OLÍMPICOS
RIO JANEIRO (2016) (H)



ATLETA	MARCA	TR	ATLETA	MARCA	TR
Usain Bolt	9.81	0.155	Elaine Thompson	10.71	0.157
Justin Gatlin	9.89	0.152	Toni Bowie	10.83	0.112
André de Grasse	9.91	0.141	Fraser-Price	10.86	0.138
Yohan Blake	9.93	0.145	Marie-Josée Ta Lou	10.86	0.136
Akani Simbine	9.94	0.128	Dafne Schippers	10.90	0.134
Ben Youssef Meité	9.96	0.156	Michelle-Lee Ahye	10.92	0.132
Jimmy Vicaut	10.04	0.140	English Gardner	10.94	0.148
Trayvon Browell	10.06	0.135	Chrisania Williams	11.80	0.163

World Athletics Championships
Londres (GB). 2017.

ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Justin Gatlin	9.92	0.128	**Tori Bowie**	10.85	0.182
Christian Coleman	9.94	0.148	**Maie-Josée Ta Lou**	10.86	0.180
Usain Bolt	9.95	0.140	**Dafne Schippers**	10.96	0.155
Yohan Blake	9.99	0.117	**Murielle Ahourá-Demps**	10.98	0.184
Akani Simbine	10.01	0.142	**Elaine Thompson Herah**	10.98	0.200
Jimmy Vicaut	10.08	0.119	**Michelle Lee Ahyre**	11.01	0.151
Reene Prescod	10.17	0.158	**Rosangela Santos**	11.06	0.150
Bingtian Su	10.27	0.155	**Lelly Ann Baptiste**	11.09	0.142

World Athletics Championships
Doha (Qatar). 2019.

ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Christoan Coleman	9.76	0.128	**Shelly A. Fraser-Pryce**	10.83	0.134
Justin Gatlin	9.89	0.148	**Dina Asher-Smith**	10.83	0.129
Andres de Grasse	9.90	0.140	**Marie-Josée Ta Lou**	10.90	0.171
Akani Simbine	9.93	0.117	**Elaine Thompson-Herah**	10.93	0.143
Yohan Blake	9.97	0.142	**Murielle Ahouré Demps**	11.02	0.142
Zharnel Hughes	10.03	0.119	**Jonielle Smith**	11.08	0.117
Filippo Tortu	10.07	0.158	**Teahna Daniels**	11.09	0.156
Aaro Brown	10.08	0.155	**Dafne Schippers**	DNS	-//-

JUEGOS OLÍMPICOS TOKYO (2021)

ATLETA	MARCA	TR	ATLETA	MARCA	TR
Lemont M. Jacobs	9.80	0.161	E. Thompsomn-Herah	10.61	0.150
Fres Kerley	9.84	0.128	S. Fraser-Pryce	10.74	0.139
André De Grasse	9.89	0.155	Sherick Jackson	10.76	0.152
Akani Simbine	9.93	0.141	M.J. Ta Lou	10.91	0.158
Ronnie Bake	9.95	0.148	Ajila del Ponte	10.97	0.129
Bingtian Su	9.98	0.167	Mujinga Kambundji	10.99	0.138
Enoch Adegoke	DNF	0.157	Tashna Daniels	11.02	0.144
			Daryll Neita	11.12	0.108

World Athletics Championships

Eugene (EE.UU.). 2022.

ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Fred Kerley	9.88	0.145	Shelly Fraser-Pryce	10.67	0.137
Marvin Bracy	9.88	0.129	Shericka Jackson	10.73	0.134
Trayvon Bromell	9.88	0.105	Elaine Thompson-Herah	10.81	0.149
Oblique Seville	9.97	0.148	Dina Asher-Smith	10.83	0.116
Oblique Simbine	10.01	0.137	Mujinga Kambundji	10.91	0.122
Christian Coleman	10.01	0.177	Aleia Hobbs	10.92	0.145
Abdul H. Sani Brown	10.06	0.152	Marie-Jesée Ta Lou	10.93	0.150
Aaron Brown	10.07	0.188	Melissa Jeffersom	11.03	0.136

World Athletics Championships
Budapest (Hungria). 2023.

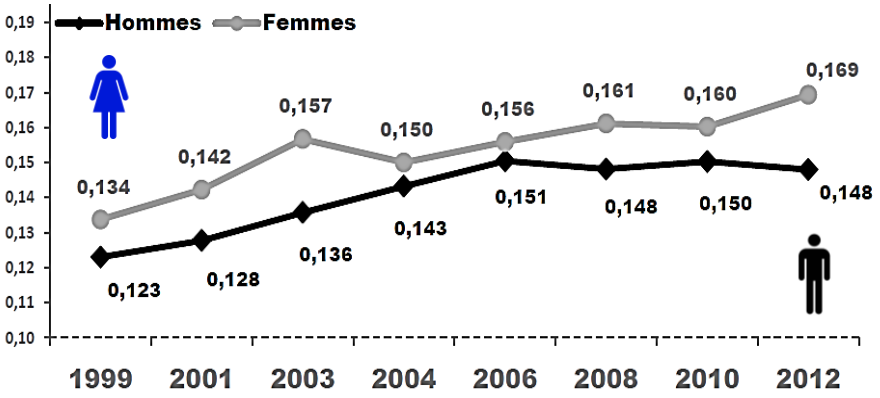
ATLETA (H)	MARCA	TR	ATLETA (M)	MARCA	TR
Noah Lyles	9.83	0.145	Sha Carri Richardson	10.65	0.156
Letsile Hughes	9.88	0.129	Shericka Jackson	10.72	0.166
Zhamel Hughes	9.88	0.105	Shelly Fraser-Pryce	10.77	0.153
Oblique Seville	9.88	0.148	Marie-Jesée Ta Lou	10.81	0.147
Christian Coleman	9.92	0.137	Julien Alfred	10.93	0.153
Abdul H. Sani Brown	10.04	0.177	Ewa Swoboda	10.97	0.151
Ferdinand Omanyala	10.07	0.152	Brittany Brown	10.97	0.188
Ryiem Forde	10.08	0.188	Dina Asher-Smith	11.00	0.146
			Tamari Davis	11.03	0.142

JUEGOS OLÍMPICOS PARÍS (FRANCIA) (2024)

ATLETA	MARCA	TR	ATLETA	MARCA	TR
Noah Lyles	9.79	0.178	Julien Alfred	10.72	0.144
Kishane Thompson	9.79	0.176	Sha Richardson	10.87	0.221
Fred Kerley	9.81	0.108	Melissa Jefferson	10.92	0.144
Akani Simbine	9.82	0.149	Daryll Neita	10.96	0.135
Lamont M. Jacobs	9.85	0.114	Twanisha Terry	10.97	0.167
Letsile Tebogo	9.86	0.178	Jujinga Kambundji	10.99	0.136
Kenneth Bednaarek	9.88	0.163	Tia Clayton	11.04	0.160
Oblique Seville	9.91	0.177	Marie Ta Lou-Smith	13.84	0.143

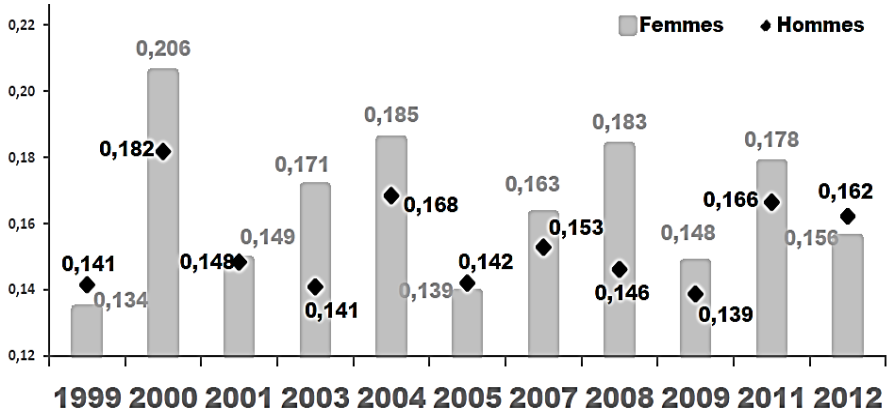
Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.

Análisis de la evolución del
TIEMPO DE REACCIÓN por CAMPEONATOS DEL MUNDO INDOOR
en la carrera de 60m

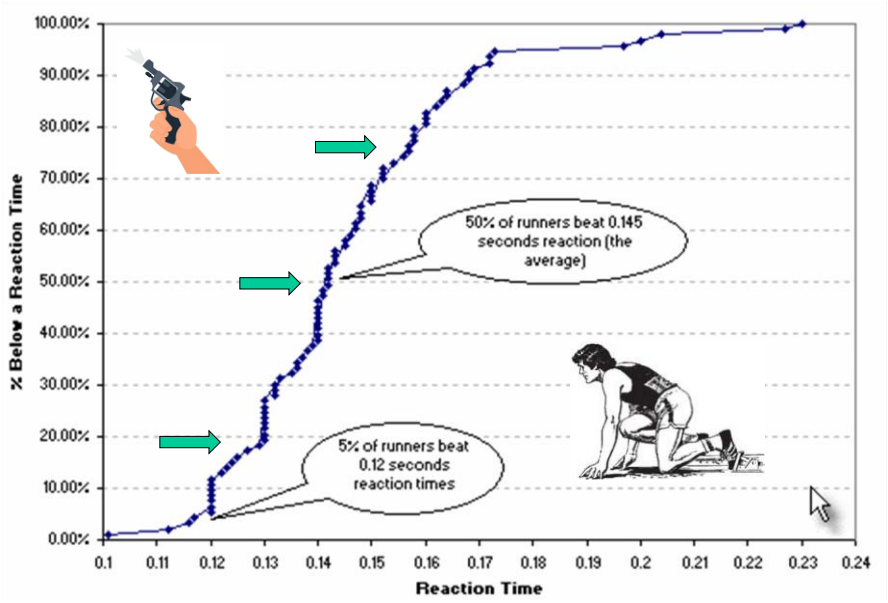


Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.

Évolution du TEMPS DE RÉACTION au 100m
(Championnats du Monde & Jeux Olympiques)



DISTRIBUCIÓN ACUMULADA DEL TIEMPO DE REACCIÓN EN CM (SF & F)



CURSO DE ENTRENADORES DE ATLETISMO

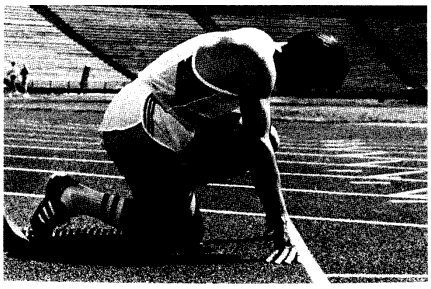
Juan Manuel García Manso
Juan Alfonso García Roca

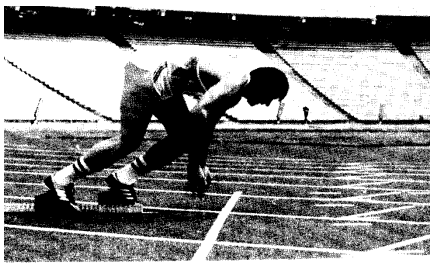
LAS CARRERAS DE VELOCIDAD EN ATLETISMO

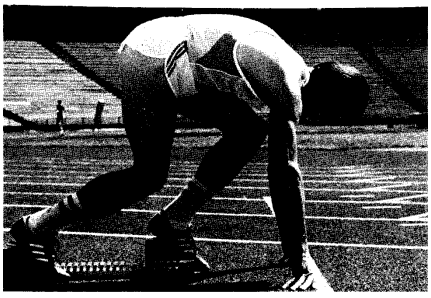
PUESTA EN ACCIÓN & ACELERACIÓN



SECUENCIA DE UNA SALIDA DE TACOS







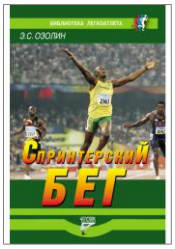


CARL LEWIS (EE. UU.)

La secuencia muestra la salida de la primera ronda de los 200 m en los Juegos de la XXIV Olimpiada (Seúl, 1988)
T200: 20.72.

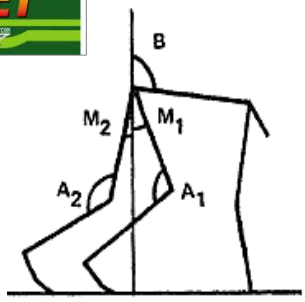


VELOCIDAD (СПРИНТЕРСКИЙ БЕГ)



Edvin S. Ozolin
Biblioteca de Atletas (2010)

Ángulos óptimos para la posición de "listos"
Diagrama de colocación del corredor en la salida
(Valery Borzov, 1982)



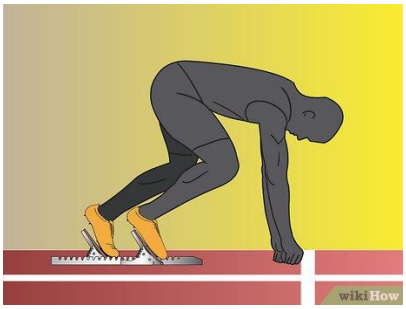
Угол	Границы колеба-ний (°)
B	98-112
A_1	92-105
A_2	115-138
M_1	19-23
M_1	8-12

B: ángulo entre tronco del velocista y línea vertical a la articulación de la cadera,
A1: ángulo entre el muslo y la espinilla de la pierna delantera,
A2: ángulo entre el muslo y la espinilla de la pierna trasera,
M1: ángulo entre el muslo de la pierna delantera y la vertical,
M2: ángulo entre el muslo de la pierna trasera y la vertical.

Salida de la Carrera de 60-100-200-400 Metros

Posición en Tacos

- Colocación del Corredor
  - Colocación Brazos
  - Colocación Caderas
  - Inclinación Hombros/Cabeza

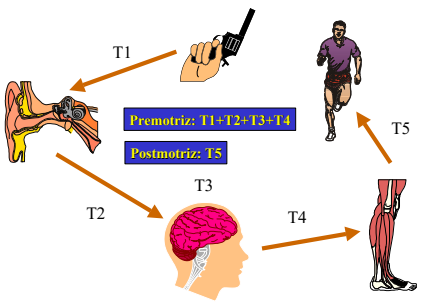


- Taco adelantado:	Pierna Fuerte
- Separación manos:	≈Anchura hombros
- Cadera/Hombros:	Elevada (según TS)
- Hombros/Manos:	≈Adelantada (15-20 cm)

- Ángulo Pierna adelantada:	90º-105º
- Ángulo Pierna Atrasada:	120º-140º
- Ángulo Cadera/Hombros:	Elevada (10º-25º)

ASPECTOS PARA MEJORAR LA PUESTA EN ACCIÓN

- Entrenamiento de la Técnica
  - Salidas de dos y tras apoyos s/t
  - Salidas desde Tacos
- Entrenamiento del Tiempo de Reacción
  - Método de Repeticiones → Atención
  - Mejoras Parciales
  - Método Sensorial



- Entrenamiento de Fuerza Especial
  - Fuerza Máxima Neural
  - Fuerza Explosivo Tónica
    - Musculatura Extensora de la Rodilla
    - Musculatura Extensora de la Cadera
    - Musculatura del Tronco
      - Erectores Tronco
      - Pectoral

The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review

Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher& Aki Ilkka Tapio Salo

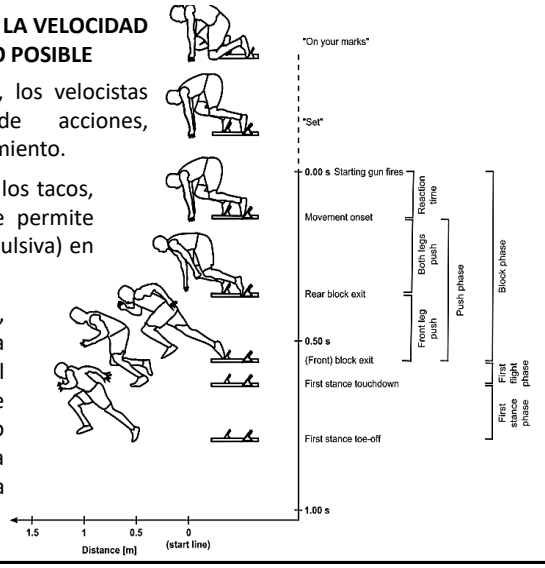
Sports Medicine, 49(9), 1345-1364. 2019.

LA SALIDA ES CLAVE PARA AUMENTAR LA VELOCIDAD HORIZONTAL EN MENOR TIEMPO POSIBLE

En la posición de **"A SUS PUESTOS"**, los velocistas realizan una amplia gama de acciones, independientemente de su nivel rendimiento.

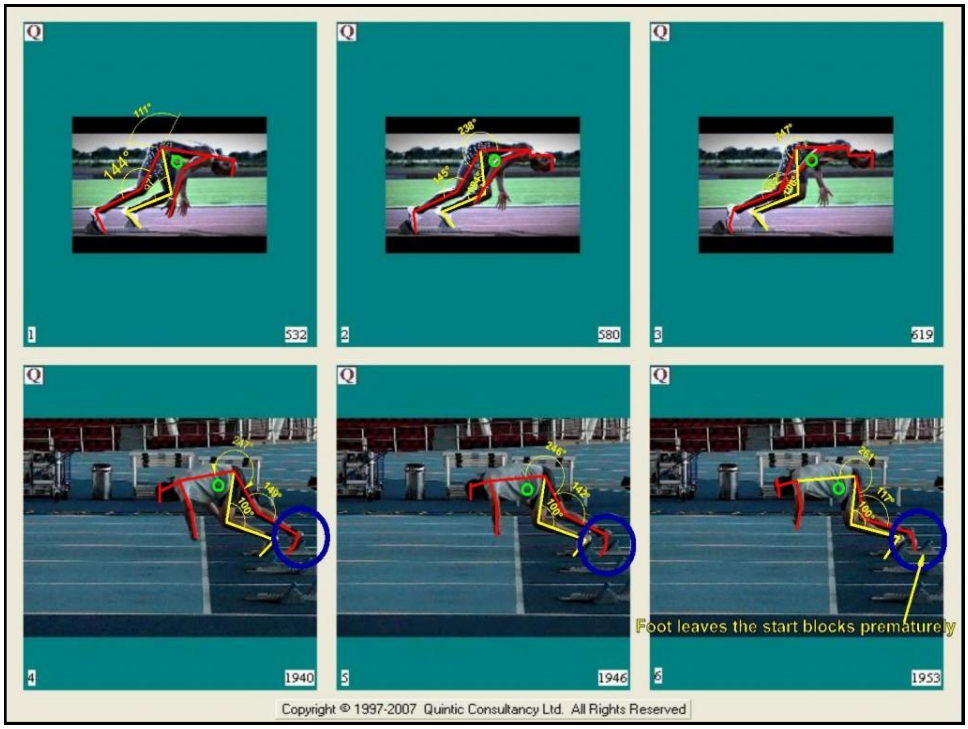
Inmediatamente después de salir de los tacos, se observan TV más cortos (lo que permite más tiempo para generar fuerza propulsiva) en velocistas de mayor rendimiento.

Durante la fase de primer apoyo, tanto el tobillo como la rodilla parecen desempeñar un papel importante en la generación de energía, y un mayor rendimiento puede estar asociado con una articulación del tobillo más rígida y la capacidad de extender la rodilla.

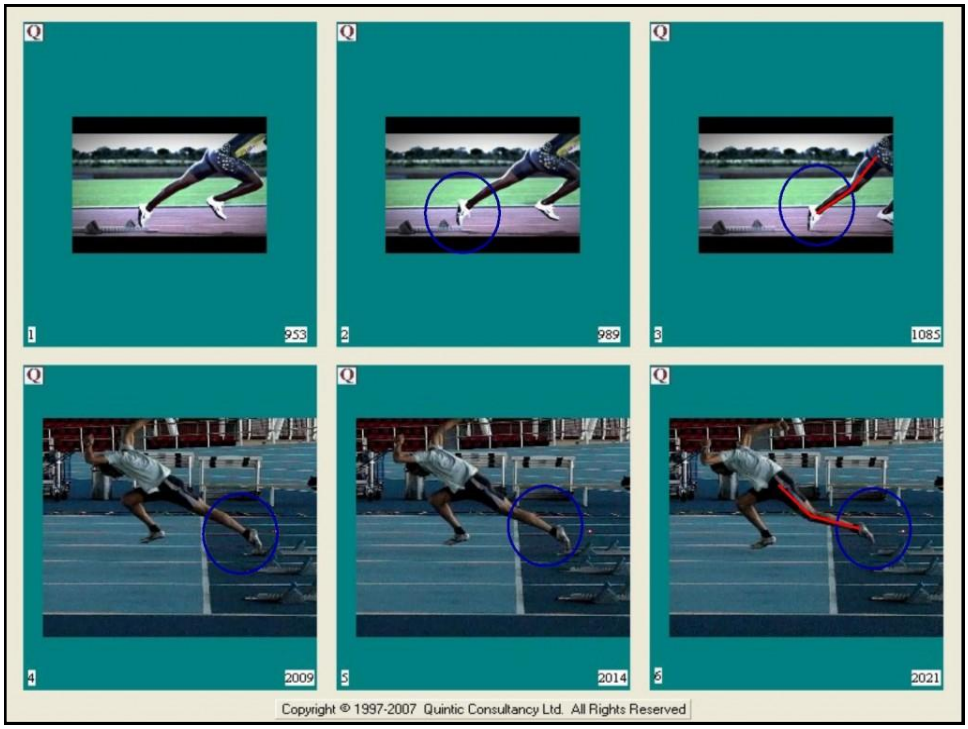


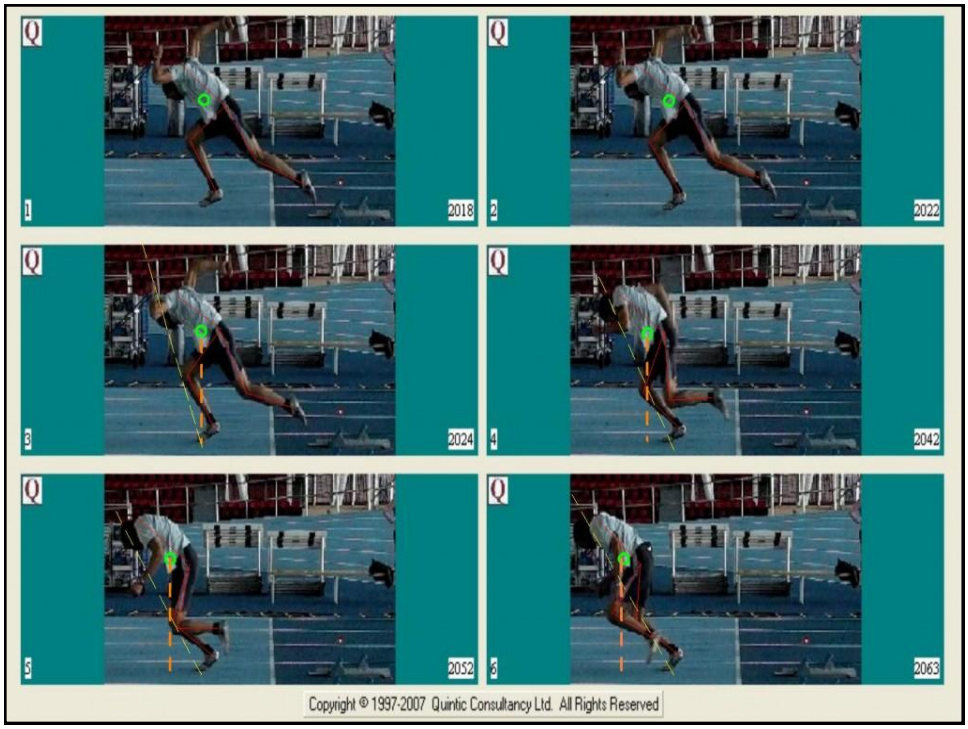


Asafa Powell y Elijah Winn


Foot leaves the start blocks prematurely
Copyright © 1997-2007 Quintic Consultancy Ltd. All Rights Reserved


Copyright © 1997-2007 Quintic Consultancy Ltd. All Rights Reserved


1
953
2
989
3
1085
4
2009
5
2014
6
2021
Copyright © 1997-2007 Quintic Consultancy Ltd. All Rights Reserved


1
2018
2
2022
3
2024
4
2042
5
2052
6
2063
Copyright © 1997-2007 Quintic Consultancy Ltd. All Rights Reserved



"A SUS PUESTOS"



En esta posición, se colocan las manos sobre la pista detrás de la línea de salida, con los dedos separados, los pulgares hacia adentro

Los brazos deben estar alineados y perpendiculares al suelo separados y separados a la anchura de los hombros o algo más
Solo la cabeza sobresale del plano de la línea de salida

El pie dominante en el taco de salida trasero

el otro pie en el taco de salida delantero

La rodilla delantera flexionada unos 90º grados y la trasera descansa sobre el suelo con una flexión de la articulación de la rodilla de 120-130º

La rodilla de la pierna delantera debe estar aproximadamente a 5-7,5 cm detrás de la línea de salida

El cuerpo debe estar relajado, con la cabeza alineada con la espalda (o agachada), mirando el suelo

Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review
Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.



POSICIÓN DEL CORREDOR EN LOS TACOS

COLOCACIÓN DE LAS PIERNAS EN SETTING



Los Ángulos Articulares de piernas en la posición de "*set*", condicionan la Velocidad Horizontal del CM en el momento despegue del taco y durante los 2 primeros pasos

Este parámetro aumenta significativamente cuando el ángulo de la rodilla trasera se establece en 90° en lugar de 135° o 115°

Un ángulo de 90° en la rodilla trasera permite un mejor impulso sobre el taco de la pierna trasera que cuando estos ángulos son mayores, lo que demuestra que esta estrategia podría ser una decisión técnica acertada que permite, a algunos velocistas de élite, maximizar su capacidad de generar fuerza

Una rodilla delantera más flexionada puede facilitar la producción óptima de momentos articulares, pero esto solo ocurre en aquellos velocistas que poseen niveles muy elevados de Fuerza Explosiva

The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review
Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher & Aki Ilkka Tapio Salo
Sports medicine, 49(9), 1345-1364. 2019.

POSICIÓN DE LOS TACOS

- **Distancia del Taco Delantero a la línea de salida:** se recomienda una posición intermedia (ni muy corta ni muy larga).
  - **Configuración "Intermedia":** tiende a generar mejores tiempos en primeros 5–10 m.
  - **Configuración Muy "Corta" (Bunched):** favorece una salida más rápida del bloque, pero con menor impulso.
  - **Configuración Muy "Alargada" (Elongated):** permite mayor impulso, pero más tiempo en tacos.

- **Velocistas (10,4-11,9 s):**
  - Reducciones en la inclinación del bloque delantero (de 70 a 30°) aumentan considerablemente la velocidad de salida (de 2,37 a 2,94 m/s) sin afectar significativamente la duración de la fase de empuje (aumento = 0,004 s).
- **Velocistas (10,86±0,34 s):** reducciones en la inclinación de ambos tacos (de 65 a 40°) también conducen a aumentos en la velocidad de salida (3,30 vs. 3,39 m/s) pero con ligero aumento de la duración (0,010 s).
- Identificar las inclinaciones de la plataforma del pie específicas de cada individuo para que faciliten la dorsiflexión inicial y la forma de ejercer fuerza.

The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review
Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher & Aki Ilkka Tapio Salo
Sports medicine, 49(9), 1345-1364. 2019.

CINEMÁTICA ANGULAR ARTICULAR EN LA SALIDA

Configuración de bloques se combina con la antropometría en la posición inicial

•Caderas por encima de los hombros y hombros por delante de la línea de salida:

○Caderas más flexionadas (41° y 80° vs. 52° y 89° para pierna delantera y traseras, en velocistas más rápidos o más lentos

○Rodillas traseras más extendidas (136° vs. 117°) o rodillas delanteras más flexionadas (99° vs. 91°).

•Suele observarse una variación considerable entre velocistas en la cinemática de la posición de "*preparados*", incluso dentro de grupos relativamente homogéneos

•Solo existen correlaciones débiles o no significativas entre ángulos de las articulaciones del miembro inferior en la posición de "preparados" y la potencia de salida.

•Las diferencias en la cinemática de la posición de "preparados", pueden ser determinantes en otros factores importantes que inciden en el rendimiento en sprint e influir en la elección de la posición de "preparados**".**

Es probable que no exista una combinación única y universalmente óptima de la cinemática de las articulaciones del tren inferior en la posición de "preparados"

Effect of different anthropometry-driven block settings on sprint start performance

Cavedon, V., Bezodis, N. E., Sandri, M., Golia, S., Zancanaro, C., & Milanese, C.

European Journal of Sport Science, 23(7), 1110-1120. 2023.

Analiza la Posición de Tacos a partir de proporciones corporales:

- **Distancia Taco Delantero a Línea de Salida:** 50%, 60% o 70% de Longitud de Pierna
- **Distancia entre bloques (*inter-block*):** 45% de la longitud de la pierna (constante)

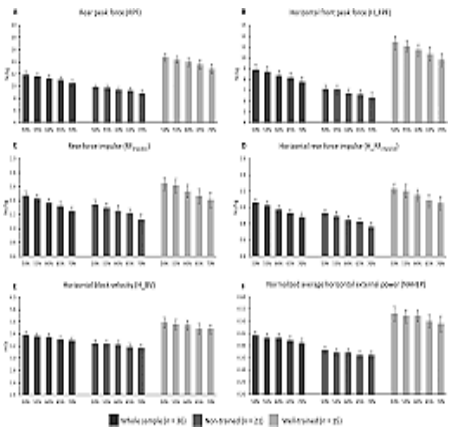
MUESTRA: 36 Sujetos

(entrenados y no entrenados)

3 salidas de 10 m por condición experimental

Diferentes distancias entre bloque delantero y línea de salida en la posición de "preparados", la cinética de empuje y el rendimiento en la salida son prácticamente constantes, independientemente del nivel del velocista

- Una distancia media entre bloques (45% longitud de pierna), distancias más cortas entre bloque delantero y línea de salida (hasta 50% longitud de pierna) mejoran el rendimiento en la salida.
- Distancias más cortas entre bloques delanteros y la línea de salida, mejoran el rendimiento en la salida gracias a una mayor producción de fuerza contra el bloque trasero.
- La longitud de extremidades inferiores es un factor importante a considerar al ajustar las distancias de los bloques.



Effect of different anthropometry-driven block settings on sprint start performance

Cavedon, V., Bezodis, N. E., Sandri, M., Golia, S., Zancanaro, C., & Milanese, C.

European Journal of Sport Science, 23(7), 1110-1120. 2023.

Analiza la Posición de Tacos a partir de proporciones corporales:

- **Distancia Taco Delantero a Línea de Salida:** 50%, 60% o 70% de Longitud de Pierna
- **Distancia entre bloques (*inter-block*):** 45% de la longitud de la pierna (constante)

RESULTADOS PRINCIPALES

- **BLOQUE DELANTERO MÁS CERCA (50% DE PIERNA):**
  - Genera mayores fuerzas e impulsos en el bloque trasero.
  - Se tradujo en mejor rendimiento de salida sin aumentar el tiempo en los bloques.
- **BLOQUE DELANTERO MÁS LEJOS (70% DE PIERNA):**
  - Provocó menor contribución de la pierna trasera y un impulso menos eficaz.
  - No mostró ventajas en el rendimiento inicial.
- **CONFIGURACIÓN INTERMEDIA (60%)**
  - **Ofreció un equilibrio entre Tiempo en Bloques y producción de Fuerza, pero globalmente fue el más favorable.**

APLICABILIDAD

El ajuste proporcional a la longitud de la pierna permite una configuración individualizada y reproducible para atletas de diferentes niveles

Confirmaron que el uso efectivo de la pierna trasera es determinante en la salida

Biomechanics of the sprint start
M. J. Harland & Julie Steele
Sports Medicine, 23(1), 11-20. 1997.

RECOMIENDAN UN ESPACIADO MEDIO

- **Rodilla delantera a ≈90°**
- **Rodilla trasera a ≈130°**
- **Caderas moderadamente altas**

El velocista debe ser capaz de desarrollar una alta tasa de fuerza combinada con una fuerza máxima elevada, especialmente en dirección horizontal

•La capacidad de generar altos niveles de fuerza subyace a otros indicadores importantes del rendimiento inicial, como:

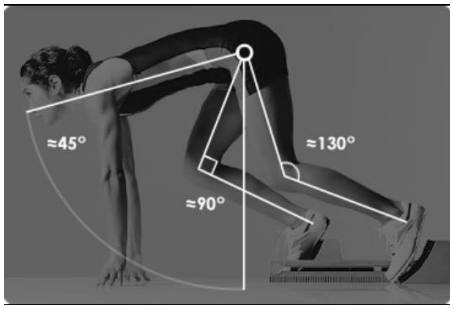
- **Tiempo mínimo de salida de los tacos**
- **Velocidad máxima de salida de los tacos**
- **Aceleración máxima de salida de los tacos**

Una vez que el velocista se proyecta desde los tacos en un ángulo bajo (40 a 45°), los 2 pasos posteriores deben realizarse con el CM por delante del pie de contacto en el suelo para minimizar las fuerzas de frenado horizontales

Training and evaluation course for coaches
Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos
Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso
Universidad Católica Murcia – Comité Olímpico Español (2025)

ELEMENTO	RECOMENDACIÓN / VALORES DE REFERENCIA
Colocación de Pies	Pie dominante en taco delantero (35–45 cm desde la línea). Taco trasero a 85–95 cm de la línea. Separación entre tacos: 25–30 cm.
Ángulos de Apoyo	Pierna delantera: rodilla ≈ 90°. Pierna trasera: rodilla 120–130°. Bloque delantero: 40–45°. Bloque trasero: 55–60°.
Colocación de Manos	Yemas de los dedos en el suelo, detrás de la línea. Separación al ancho de hombros. Brazos extendidos y perpendiculares al suelo.
Colocación de Brazos	Pulgares hacia dentro, hombros ligeramente adelantados, cabeza alineada con la columna, mirada hacia el suelo.
Centro de Masas	Ligeramente adelantado respecto a la base de apoyo para generar tensión inicial y preactivación muscular.
Objetivos	Equilibrio estable, alineación de fuerzas en eje tobillo–rodilla–cadera–tronco–cabeza, tensión adecuada para la salida.
Errores Comunes	Apoyo insuficiente en tacos, hombros demasiado adelantados, distribución desigual del peso, falta de tensión inicial.
Corrección	Trabajo repetitivo de salidas cortas, feedback inmediato, análisis con vídeo de alta velocidad.

¡¡ LISTOS !!



- **Caderas se elevan ligeramente por encima de la cabeza.**
- **Concéntrese en la tarea motora, no en los oponentes, la pistola, etc.**
- **Pierna delantera a aproximadamente 90 grados.**
- **Pierna trasera flexionada a aproximadamente 130 grados.**
- **Espinillas paralelas; espinilla delantera determina el ángulo a 45º grados para seguir.**
- **Hombros permanecen por encima de las manos.**
- **Énfasis en una posición equilibrada.**
- **Peso Corporal distribuido uniformemente entre manos y pies.**

The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review
Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher & Aki Ilkka Tapio Salo
Sports medicine, 49(9), 1345-1364. 2019.

POSICIÓN DEL CUERPO

•Centro de Gravedad:
Debe colocarse lo más adelante posible sin perder estabilidad, lo que favorece una aplicación más horizontal de la fuerza.

•Tronco:
Relativamente bajo en la posición de "listos"; el ángulo del tronco con respecto al suelo suele estar entre 40° y 45°.

•Hombros y Cabeza:
Proyectados por delante de la línea de salida en "listos", contribuyendo al desplazamiento del centro de masa hacia adelante.

•Pierna Trasera:
Clave para la producción de fuerza horizontal; su empuje efectivo se asocia con mejores velocidades iniciales.

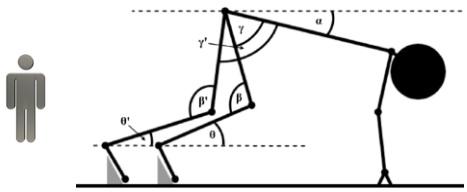
•Duración en Bloques:

No se trata de salir lo más rápido posible, sino de optimizar el equilibrio entre tiempo en los bloques y cantidad/dirección del impulso generado.

Training and evaluation course for coaches
Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos
Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso
Universidad Católica Murcia – Comité Olímpico Español (2025)

Elemento	Recomendación / Valores de referencia
Colocación de Pies	Pie dominante en taco delantero (35–45 cm desde la línea). Taco trasero a 85–95 cm de la línea. Separación entre tacos: 25–30 cm.
Ángulos de Apoyo	Pierna delantera: rodilla ≈ 90°. Pierna trasera: rodilla 120–130°. Bloque delantero: 40–45°. Bloque trasero: 55–60°.
Colocación de Manos	Yemas de los dedos en el suelo, detrás de la línea. Separación al ancho de hombros. Brazos extendidos y perpendiculares al suelo.
Colocación de Brazos	Pulgares hacia dentro, hombros ligeramente adelantados, cabeza alineada con la columna, mirada hacia el suelo.
Centro de Masas	Ligeramente adelantado respecto a la base de apoyo para generar tensión inicial y preactivación muscular.
Objetivos	Equilibrio estable, alineación de fuerzas en eje tobillo–rodilla–cadera–tronco–cabeza, tensión adecuada para la salida.
Errores Comunes	Apoyo insuficiente en tacos, hombros demasiado adelantados, distribución desigual del peso, falta de tensión inicial.
Corrección	Trabajo repetitivo de salidas cortas, feedback inmediato, análisis con vídeo de alta velocidad.

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018
60 Metres Men
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

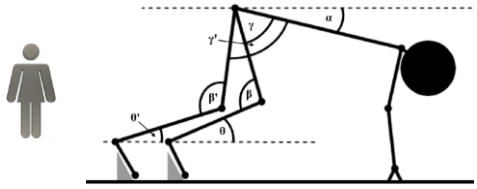


Athlete	Joint angle (°)						
	α	γ	γ'	β	β'	θ	θ'
COLEMAN	−18.3	57.3	86.3	99.9	129.7	25.2	23.7
SU	−13.4	41.3	83.1	84.1	118.5	30.7	21.0
BAKER	−13.4	46.2	73.5	92.4	108.1	32.2	21.2
XIE	−12.6	53.4	94.8	89.6	126.7	25.1	18.3
TAFTIAN	−17.4	42.4	71.4	91.0	113.6	32.6	22.8
VOLKO	−20.2	37.7	68.1	99.0	111.3	40.9	22.6
SAFO-ANTWI	−22.0	41.5	78.2	94.8	127.8	33.3	25.3
BARNES	−22.8	43.0	85.1	92.0	131.5	26.9	23.0

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Women

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas



Athlete	Joint angle (°)						
	α	γ	γ'	β	β'	θ	θ'
AHOURÉ	−23.7	49.5	79.0	110.4	130.1	36.5	28.1
TA LOU	−10.1	45.4	72.7	81.7	106.6	27.0	22.1
KAMBUNDJI	−19.8	37.9	75.3	94.8	120.1	34.4	27.2
THOMPSON	−27.2	40.3	71.7	115.9	138.1	48.9	38.6
SCHIPPERS	−16.7	48.8	90.4	92.7	133.9	28.5	24.9
AHYE	−19.0	38.4	87.0	89.6	134.2	32.6	27.5
ZAHI	−16.7	45.8	90.7	106.2	143.1	45.0	35.0
BURCHELL	−21.9	47.1	84.4	104.2	129.9	35.2	23.8

VARIABLES CINEMÁTICAS PRINCIPALES ESTUDIADAS EN LA SALIDA DE VELOCIDAD.

Estudio	Ángulo (º) Rodilla Pierna Frontal	Ángulo (º) Rodilla Pierna Trasera	Ángulo (º) Cadera Pierna Frontal	Ángulo (º) Rodilla Pierna Trasera	Ángulo (º) Tronco vs. Horizontal
Borzov 1980	100 (92-105)	129 (115-136)	19-23	8-17	-14 (-8 a -22))
Atwater 1982	89 (56-112)	118 (90-154)	-//-	-//-	-29
Mero et al. 1983	111	134	41	80	-29
Tellez & Dolittle 1984	90	135	-//-	-//-	-//-
Mero et al. 1988	96	126	-//-	-//-	-21
Mero & Komi 1990	99	136	43 ± 5	80 ± 11	-21
Walker 1980	90	120	-//-	-//-	-//-
Moore 1980	90	120	-//-	-//-	-//-
Coh et al. 1998	93.75 ± 8.26	112 ± 13.31	44.78 ± 6.15	24.91 ± 4.27	-20.05 ± 8.60
Milanese	90	-//-	-//-	-//-	-//-

ASPECTO	QUÉ BUSCAR	QUÉ CORREGIR
Manos y Brazos	Dedos apoyados firmes detrás de la línea, pulgares hacia dentro. Brazos rectos, al ancho de hombros o un poco más.	Manos demasiado juntas o abiertas. Brazos doblados o inclinados hacia fuera.
Cabeza y Tronco	Cabeza alineada con la espalda, mirada al suelo, sin tensión en cuello ni hombros.	Cabeza levantada antes del disparo. Hombros encogidos o tensión excesiva.
Pierna Delantera	Rodilla flexionada ≈ 90°. Aprox. 5–7 cm detrás de la línea de salida.	Ángulo demasiado abierto (menos impulso) o demasiado cerrado (incomodidad).
Pierna Trasera	Rodilla flexionada 120–130°. Pie firme en el taco trasero.	Ángulo demasiado abierto (>135°) → empuje débil. Ángulo demasiado cerrado (<110°) → inestabilidad.
Cadera	Más alta que los hombros, proyectando el centro de masas hacia delante.	Cadera baja (pérdida de reacción). Cadera muy alta (anticipación o salida irregular).
Presión en Tacos	Pie delantero ≈ 60–65 % del peso, trasero ≈ 35–40 %. Presión constante hasta el disparo.	Distribución desigual (ej. exceso de peso atrás). Pérdida de tensión antes de la salida.

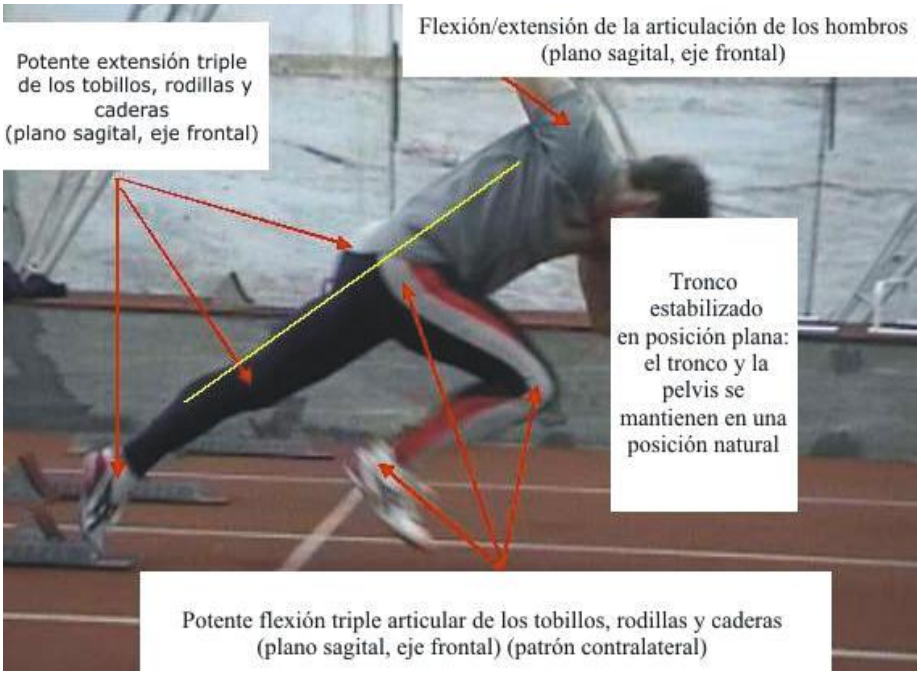
PUESTA EN ACCIÓN

IMPULSO SOBRE LOS TACOS

En las carreras de velocidad, "IMPULSAR LOS TACOS" se refiere a la acción explosiva de las piernas del corredor al impulsarse desde los tacos de salida para iniciar una carrera de velocidad

Esta acción es crucial para generar velocidad inicial y pasar a la fase de aceleración del sprint. Una técnica y un ritmo adecuados en esta fase pueden influir significativamente en el rendimiento general del sprint

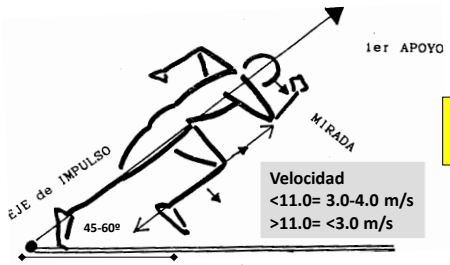




SALIDA DE LA CARRERA DE 60-100-200 METROS

PUESTA EN ACCIÓN

- **Velocidad de Reacción**
  - Valor Real
  - Valor Relativo
  - Dependencias Importantes
    - Atención
    - Anticipación
    - Autoconfianza





- **Empuje en los Tacos**
  - Duración del Empuje Tacos
  - Fuerza Sobre los Tacos
  - Velocidad de Salida
  - Orientación del Empuje
- Siguientes Apoyos

Instrumented Start Blocks:
a quantitative coaching aid

M. J. Harland, M.H. Andrews & J.R. Steele

file:///C:/Users/Juan%20Manuel/Downloads/sarahclarke,+367-370.pdf

Comparación de 2 salidas de una CM de 100 m

	START ONE	START TWO
Block Velocity ($m.s^{-1}$)	3.94	3.74
Peak Force Front Block (N)	1030	1010
(BW)	1.14	1.12
Peak Force Rear Block (N)	1285	1100
(BW)	1.42	1.22
Block Time (ms)	385	371
Block Acceleration ($m.s^{-2}$)	10.23	10.08

Comparación de las salidas de
CM de 100 m lisos y CM de 110 m vallas

	100 m SPRINTER	110 m HURDLER
Block Velocity ($m.s^{-1}$)	3.94	3.56
Peak Force Front Block (N)	1030	730
(BW)	1.14	1.03
Peak Force Rear Block (N)	1285	730
(BW)	1.42	1.03
Block Time (ms)	385	349
Block Acceleration ($m.s^{-2}$)	10.23	10.20

Sprint Start Biomechanics Analysis With 3D Technology

Daniel Ortiz González

Trabajo de Fin de Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Universidad de León (2014)

SUJETO A:
28 años; MM: 11.01
PC: 70 kg; Estatura: 177 cm

SUJETO B:
22 años; MM: 11.38
PC: 81 kg; Estatura: 182 cm

SUJETO C:
22 años; MM: 11.38
PC: 68 kg; Estatura: 176 cm

	TOBILLO						
	frontal			retrasada			1º Apoyo
	ÁNGULO (Promedio)	DS	CV	ÁNGULO (promedio)	DS	CV	ÁNGULO (º)
SUJETO A	16.26	±1.57	9.66	32.16	±3.22	10.02	14.8
SUJETO B	2.81	±0.78	27.76	12.62	±0.93	7.39	22.5
SUJETO C	0.65	±0.60	92.57	0.82	±3.32	406.36	0.31

	RODILLA						
	frontal			retrasada			1º Apoyo
	ÁNGULO (º) (Promedio)	DS	CV	ÁNGULO (º) (promedio)	DS	CV	ÁNGULO (º)
SUJETO A	73.24	±2.06	2.81	143.26	±1.66	1.16	132
SUJETO B	81.88	±1.83	2.23	126.46	±2.11	3.32	129.5
SUJETO C	80.82	±4.78	5.91	109.84	±3.69	5.27	124.5

	CADERA						
	frontal			retrasada			1º Apoyo
	ÁNGULO (º) (Promedio)	DS	CV	ÁNGULO (º) (promedio)	DS	CV	ÁNGULO (º)
SUJETO A	105.06	±0.26	0.24	72.36	±0.33	0.46	25.4
SUJETO B	97.52	±0.46	0.47	76.32	±0.32	0.42	53.8
SUJETO C	84.25	±1.97	2.33	65.91	±0.92	1.40	64.4

Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

ACCIÓN DE EMPUJE SOBRE LOS TACOS

Se inicia inmediatamente después del disparo y se considera una tarea motora compleja que ayuda a determinar el rendimiento en la salida del sprint

La eficiencia de la acción de arranque depende principalmente del equilibrio entre la velocidad de despegue horizontal y el tiempo transcurrido desde el primer movimiento hasta la salida del bloque, lo que resulta en la aceleración de arranque horizontal

Los mejores velocistas tienden a presentar una mayor velocidad de salida y una mayor aceleración que los velocistas más lentos, ya que son capaces de generar un mayor impulso en menos tiempo y optimizar su producción de fuerza en los tacos

DATOS DE LA BIBLIOGRAFÍA

Mayores Velocidades y Aceleraciones en los Mejores Velocistas

Velocidades:

(3,38±0,10 vs. 3,19±0,19 m/s; 3,48±0,05 vs. 3,24±0,18 m/s; 3,61±0,08 vs. 3,17± 0,19 m/s; 3,36 ± 0,15 vs.3,16±0,18 m/s)

Aceleraciones:

(9,5 vs. 8,8 m/s^2; 8,2 vs. 7,9 m/s^2; 9,72 vs. 8,4 m/s^2; 7,47 vs. 7,35 m/s^2)

Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

ACCIÓN DE EMPUJE SOBRE LOS TACOS

PATRÓN ARTICULAR DE EXTREMIDADES INFERIORES DURANTE LA FASE DE EMPUJE

Articulaciones Pierna Delantera:

Suelen extenderse en un patrón de extensión proximal-distal, alcanzando su máximo al comienzo de la fase de vuelo

(Cadera: 183,2±6,8°; Rodilla: 177,4±5,2°; Tobillo: 133,1±6,7°)

Articulaciones Pierna Trasera:

No exhibe la misma estrategia de extensión (proximal a distal), con rodilla alcanzando velocidad angular máxima antes que cadera y tobillo

Movimiento de Tobillos:

Es más complejo porque implica dorsiflexión y después extensión que resulta en un ciclo de estiramiento-acortamiento del tríceps sural

La duración de la flexión del tobillo es mayor para el tobillo trasero (50% de la fase de bloqueo) que para el tobillo delantero (20% de la fase de bloqueo)

Manipulaciones en la inclinación de los tacos muestran una relación inversa entre los ángulos de bloqueo y longitudes del gastrocnemio y sóleo, destacando que ángulos de bloqueo superiores a 65° podrían tener efectos desventajosos en la flexión plantar

En las caderas, las velocidades angulares máximas se alcanzan mediante una combinación de flexión-extensión, abducción-aducción y rotación interna-externa

Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

FUERZA DE EMPUJE EJERCIDA SOBRE LOS TACOS

ANÁLISIS CINÉTICO DEL IMPULSO DE DESPEGUE

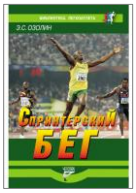
Una adecuada Aceleración Horizontal del CM requiere la aplicación de fuerzas netas de propulsión al cuerpo del atleta en la dirección de la carrera

Los **velocistas más rápidos** producen impulsos de fuerza más altos en el taco delantero (221,3 ± 15,8 N·s vs. 178,3 ± 13,1 N·s)

Una mayor producción de fuerza del bloque delantero cuando el pie trasero abandona el taco, y un vector de fuerza del taco delantero más orientado horizontalmente en la fase de impulso son factores importantes que diferencian el rendimiento

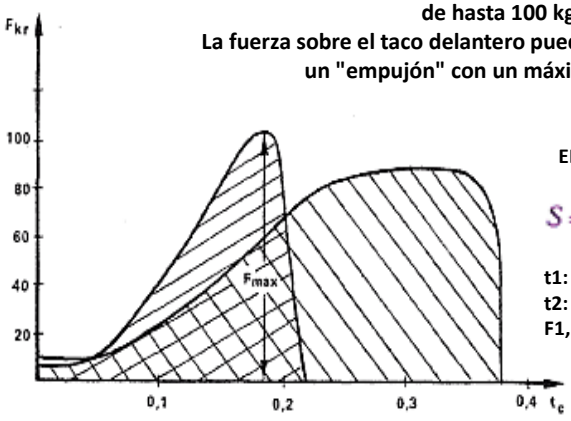
Coh et al. (2017) encontraron que velocistas más rápidos
(MM: 10,66 ± 0,18”; 913 ± 89,23 Newtons)
produjeron mayores fuerzas contra el bloque trasero que velocistas más lentos
(MM: 11,00 ± 0,06 s; 771 ± 55,09 Newtons)

Un empuje más largo de pierna trasera también está asociado positivamente (r=0,53) con una mayor potencia y está presente en los velocistas más rápidos



VELOCIDAD (СПРИНТЕРСКИЙ БЕГ)
Edvin S. Oz:olin
Biblioteca de Atletas (2010)

La mayor cantidad de fuerza se registra en el taco trasero
En este caso, la pierna trasera impacta el taco con una fuerza de hasta 100 kg
La fuerza sobre el taco delantero puede caracterizarse como un "empujón" con un máximo de 65 kg



EL IMPULSO SE EXPRESA

$$S = \int_{t_1} F_1 dt + \int_{t_2} F_2 dt,$$

t1: tiempo sobre taco trasero
t2: tiempo sobre el taco delantero
F1,F2: valores de fuerza

la efectividad de la salida no siempre depende de los valores máximos de Fmáx.
En este caso, es igual a la suma de dos áreas (sombreadas en la figura)

ACCIÓN DE EMPUJE SOBRE LOS TACOS

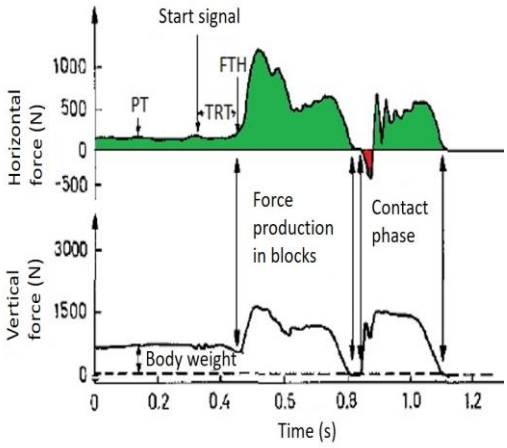
Reaction time and electromyographic activity during a sprint start

Anti A. Mero& Paavo V. Komi

European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 61(1-2), 73-80. 1990.

Fuerza Horizontal (arriba) y Vertical (abajo)

Dese la colocación del atleta sobre los tacos hasta y primer paso tras la salida



PT: Pretensión.

TRT: Tiempo Total De Reacción: tiempo entre la señal de inicio y la superación del **Umbral de Fuerza (FTH).**

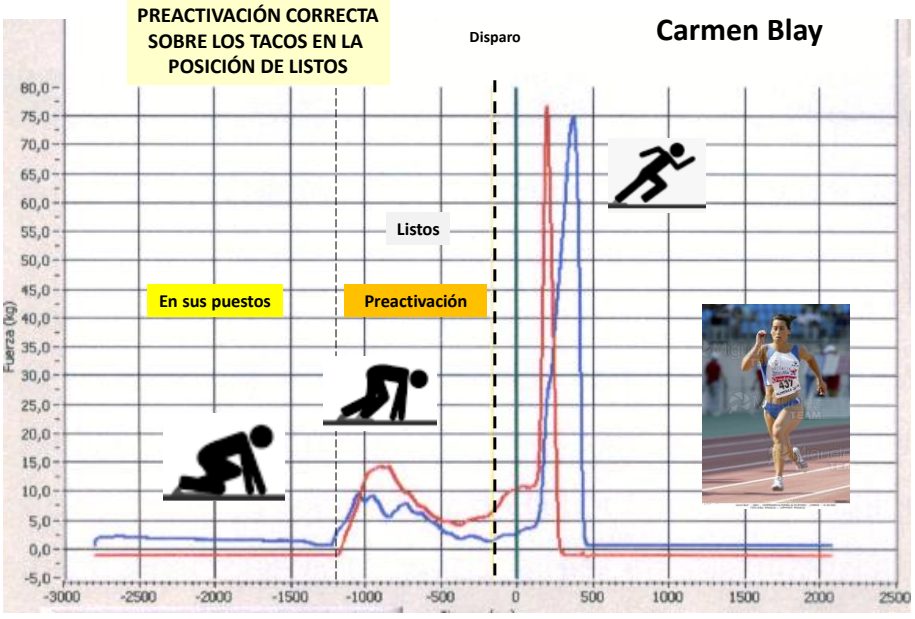
Se considera salida nula ,si el tiempo transcurrido entre la señal de inicio y superación del FTH es inferior a 100 ms.

Umbral de Fuerza (FTH): es un 10% superior a la fuerza ejercida de media durante la fase PT para evitar pequeñas fluctuaciones que provoquen el cruce del umbral y, por consiguiente, la descalificación.

COLOR VERDE: indica fuerza horizontal positiva;

COLOR ROJO: indica fuerza horizontal negativa (de frenado).

PREACTIVACIÓN CORRECTA SOBRE LOS TACOS EN LA POSICIÓN DE LISTOS



López del Amo - 2006

FUERZA EJERCIDA SOBRE LOS TACOS DE SALIDA

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL

PIERNA TRASERA: aplica la fuerza de manera muy rápida (contacto ≈0.15 s); contribuye entre el 25–30% del impulso total.

PIERNA DELANTERA: contacto más prolongado (≈0.25–0.30 s); aporta el 70–75% de la fuerza generada.

La secuencia óptima es un impulso inicial con la pierna trasera seguido de una mayor contribución de la pierna delantera para maximizar la velocidad de salida.

FACTORES QUE MODULAN LA MAGNITUD DE LA FUERZA

- **Posición de los Tacos (posición, inclinación y distancia entre ellos).**
- **Ángulos articulares de cadera, rodilla y tobillo.**
- **Fuerza Explosiva y Capacidad de Reclutamiento neuromuscular del atleta.**
- **Técnica de Salida (coordinación entre brazos y piernas).**

Starting block performance in sprinters:
a statistical method for identifying discriminative parameters of the performance and an analysis of the effect of providing feedback over a 6-week period

Fortier S., Basset F.A., Mbourou G.A., Favérial, J. & Teasdale, N.
Journal of Sports Science & Medicine, 4(2), 134-143. 2005. 1

MAGNITUD Y DIRECCIÓN DE LA FUERZA

- **Los corredores más rápidos tienden a ejercer una fuerza más alta y mejor orientada hacia adelante en el momento del empuje sobre los tacos.**
- **La eficacia no depende solo de la magnitud, sino de la dirección del vector de fuerza, ya que un ángulo adecuado facilita una aceleración más eficiente.**

DURACIÓN Y TIEMPO DE APLICACIÓN

- **Los velocistas más rápidos aplican la fuerza de manera más breve y explosiva, logrando despegar antes de los bloques.**
- **Un tiempo de reacción corto y una rápida transferencia de fuerza son determinantes para el rendimiento.**

DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA ENTRE BLOQUE DELANTERO Y TRASERO

- **El bloque trasero genera un impulso importante al inicio, pero el bloque delantero concentra la mayor proporción de fuerza propulsiva para iniciar la aceleración.**
- **La coordinación entre ambos pies es clave: una transición demasiado lenta o desbalanceada perjudica la salida.**

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018
60 Metres Men
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Tiempo que cada atleta dedicó a las diferentes fases que componen el empuje sobre los tacos de salida

Athlete	Double-leg push time (s)	Single-leg push time (s)	Total push time (s)	Total block time (s)
POZZI	0.220	0.160	0.380	0.523
EATON	0.198	0.207	0.405	0.534
MANGA	0.218	0.167	0.385	0.554
MERRITT	0.253	0.167	0.420	0.561
MARTINOT-LAGARDE	0.208	0.180	0.388	0.542
CONSTANTINO	0.207	0.187	0.394	0.570
IRIBARNE	0.212	0.187	0.399	0.571

Tiempo Total de Empuje Medio: 0.396 s
Empuje Simultáneo Ambas Piernas: 0.217 s (54.8 %)
Empuje de sólo una pierna: 0.179 s (45.2 %)
Andrew Pozzi mostró el tiempo más corto de todos los finalistas
Esto le permitió ser el 1er atleta en salir de tacos, a pesar de tener el 3er TR más corto

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018
60 Metres Women
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Athlete	Double-leg push time (s)	Single-leg push time (s)	Total push time (s)	Total block time (s)
AHOURÉ	0.163	0.128	0.291	0.453
TA LOU	0.181	0.136	0.317	0.487
KAMBUNDJI	0.207	0.132	0.339	0.499
THOMPSON	0.204	0.160	0.364	0.538
SCHIPPERS	0.181	0.176	0.357	0.527
AHYE	0.167	0.168	0.335	0.473
ZAHI	0.208	0.164	0.372	0.529
BURCHELL	0.185	0.152	0.337	0.506

El tiempo total de empuje sobre los Tacos representa la suma del tiempo de empuje, el tiempo de bloqueo a dos piernas y el tiempo de bloqueo a una pierna

Murielle Ahouré mostró el tiempo total de bloqueo más corto de todas las finalistas
Esto le permitió ser la primera atleta en salir de los tacos, a pesar de tener solo el 4º TR más corto

Starting block performance in sprinters:
a statistical method for identifying discriminative parameters of the performance and an analysis of the effect of providing feedback over a 6-week period

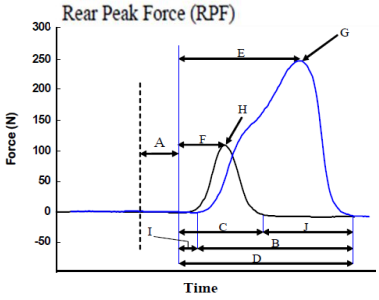
Fortier S., Basset F.A., Mbourou G.A., Favérial, J. & Teasdale, N.

Journal of Sports Science & Medicine, 4(2), 134-143. 2005.

2

Parameters	Units	Elites	Sub-elites
Reaction Time (RT)	ms	172 (30)*	194 (26)
Front Force Duration (FFD)	ms	370 (18)*	405 (40)
Rear Force Duration (RFD)	ms	370 (18)	268 (58)
Total Block Time (TBT)	ms	399 (21)*	422 (33)
Time to Front Peak Force (TFPF)	ms	216 (42)	260 (39)
Time to Rear Peak Force (TRFP)	ms	124 (17)*	119 (20)
Front Force at Hands onset (FFH onset)	N	1548 (333)	1440 (118)
Rear Force at Hands onset (RFH onset)	N	1274 (108)	1303 (166)
Front Peak Force (FPF)	N	1685 (490)	1735 (333)
Rear Peak Force (RPF)	N	1430 (431)*	940 (255)
		10.46 s	11.07 s

Élite: 10.46 s
Sub-Élite: 11.07 s



A) Tiempo de Reacción
B) Duración de la Fuerza Frontal
C) Duración de la Fuerza Trasera
D) Tiempo Total de Bloqueo
E) Tiempo hasta la Fuerza Máxima Frontal
F) Tiempo hasta la Fuerza Máxima Trasera
G) Fuerza Máxima Frontal
H) Fuerza Máxima Trasera
I) Retraso entre el Inicio de la Fuerza Trasera y Frontal
J) Retraso entre el final del Desplazamiento de la Fuerza Trasera y Frontal

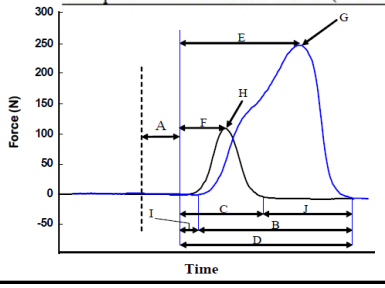
Starting block performance in sprinters:
a statistical method for identifying discriminative parameters of the performance and an analysis of the effect of providing feedback over a 6-week period

Fortier S., Basset F.A., Mbourou G.A., Favérial, J. & Teasdale, N.

Journal of Sports Science & Medicine, 4(2), 134-143. 2005.

3

Parameters	Units	Elites	Sub-elites
Delay between Rear and Front force onset (DRF onset)	ms	26 (17)	22 (34)
Delay between end of Rear and Front force offset (DRF offset)	ms	140 (26)*	173 (23)
Mean First Step Velocity (FSV)	$cm \cdot s^{-1}$	188 (15)*	167 (17)
Mean Second Step Velocity (SSV)	$cm \cdot s^{-1}$	220 (11)	206 (25)
First Step peak Acceleration (FSA)	$cm \cdot s^{-2}$	1132 (76)	1278 (182)
Second Step peak Acceleration (SSA)	$cm \cdot s^{-2}$	942 (77)	859 (92)
CM Velocity at Rear offset (CMVR offset)	$cm \cdot s^{-1}$	328 (19)	312 (30)
CM Velocity at Front offset (CMVF offset)	$cm \cdot s^{-1}$	239 (25)	219 (32)
CM Acceleration at Hands onset (CMAH onset)	$cm \cdot s^{-2}$	1807 (201)*	1606 (158)
CM peak Acceleration at Front offset (CMAF offset)	$cm \cdot s^{-2}$	1161 (220)*	1036 (273)
CM peak Acceleration at Rear offset (CMAR offset)	$cm \cdot s^{-2}$	1149 (193)*	1047 (229)
		10.46	11.07



A) Tiempo de Reacción
B) Duración de la Fuerza Frontal
C) Duración de la Fuerza Trasera
D) Tiempo Total de Bloqueo
E) Tiempo hasta la Fuerza Máxima Frontal
F) Tiempo hasta la Fuerza Máxima Trasera
G) Fuerza Máxima Frontal
H) Fuerza Máxima Trasera
I) Retraso entre el Inicio de la Fuerza Trasera y Frontal
J) Retraso entre el final del Desplazamiento de la Fuerza Trasera y Frontal

Differences between the elite and sub-elite athletes in Kinematic and dynamic variables of sprint – start
Milan Čoh & Milan Žvan
Research in Physical Education, Sport and Health, 4(2), 3-6. 2015.

MUESTRA: 12 velocistas eslovenos élite nacional
(**Edad**: 22,4 ± 3,4 años, **Estatura**: 177,6 ± 6,9 cm, **PC**: 74,9 ± 5,2 kg)
MM: **60 metros**: 6,93 ± 0,12 s (mejor resultado: 6,65 s)
100 metros: 10,82 ± 0,25 s (mejor resultado: 10,39 s)

Los resultados revelaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de atletas evaluados en siete parámetros cinemáticos y siete dinámicos de la salida del sprint

Los parámetros cinemáticos más importantes entre los atletas de élite y sub-élite fueron:
Tiempo de Reacción Premotor, **Tiempo Total de Reacción**, **Velocidad de Bloqueo**, **Tiempo de Salida del Taco Trasero**, **Tiempo de Salida del Taco Delantero**, **Longitud del Primer Paso** y **Longitud del Segundo Paso**

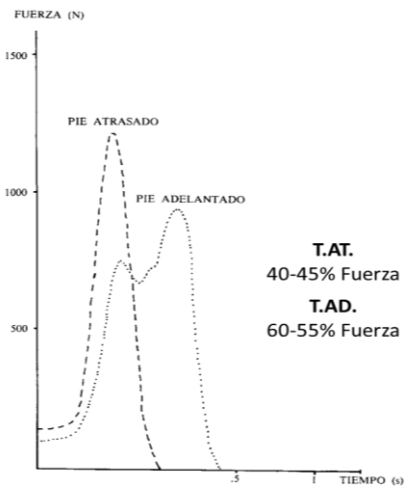
		ELITE ATHLETES (6)		SUB-ELITE ATHLETES(6)	
Parameter	Unit	Mean	SD	Mean	SD
Reaction time – premotor time	ms	121 **	11.33	131	16.53
Block velocity	ms^{-1}	3.83 **	0.17	3.16	0.19
Total block reaction time	ms	453 *	24.62	436	18.83
Reaction time - front block	ms	332 *	28.73	305	24.35
Reaction time – rear block	ms	162 *	9.47	149	12.40
Step one / length	m	1.30 *	0.51	1.06	0.60
Step two / length	m	1.03 *	0.12	0.98	0.33

Empuje en los Tacos de Salida

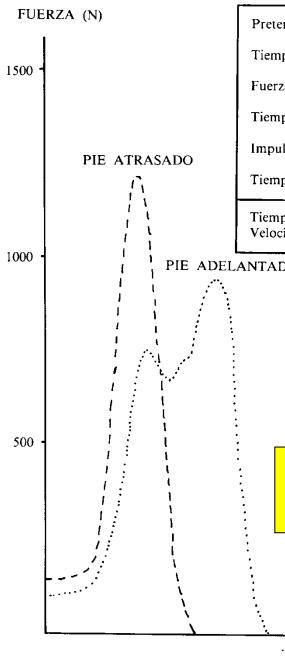
ACCIÓN SOBRE LOS TACOS EN LAS SALIDAS DE VELOCIDAD

- **Secuencia de Despegue** → **M. Adel.: TR -130-150 ms.**
  Pierna Atrasada: TR- 120-130
  Pierna Adelantada: TR- 130-150
- **Duración del Empuje Tacos** → **P. AD.: 320-370 ms.**
  P. AT.: 180-200 ms.
- **Fuerza Sobre los Tacos** → **Empuje: 1400-1500 N**
  Impulso: 300-320 Ns (AD)
  200-250 Ns (AT)
- **Velocidad de Salida** → **H: 3.0-4.0 m/s**
  M: 2.5-3.0 m/s





T.AT.
40-45% Fuerza
T.AD.
60-55% Fuerza



	Pie atras.	*Pie adel.*
Pretensión (n)	131	98
Tiempo reacción (s)	0.122	0.134
Fuerza máxima (n)	1217	929
Tiempo fuerza max. (s)	0.182	0.354
Impulsos (n.°)	125	180
Tiempo impulsos (s)	0.192	0.340

Tiempo total de salida: 0.52 s
Velocidad horizontal de salida: 3.61 m/s



Distribución Óptima de Fuerzas Sobre los Tacos de Salida

Fuerza Sobre los Tacos de Salida

Empuje: 1400-1500 N

Impulso: 300-320 Ns (AD)
200-250 Ns (AT)

Taco Adelantado: 40-45%
Taco Atrasado: 60-65%



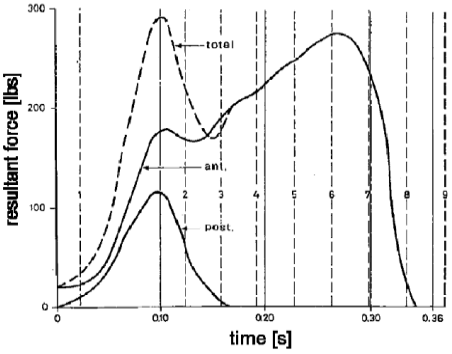
The mechanics of the sprint start

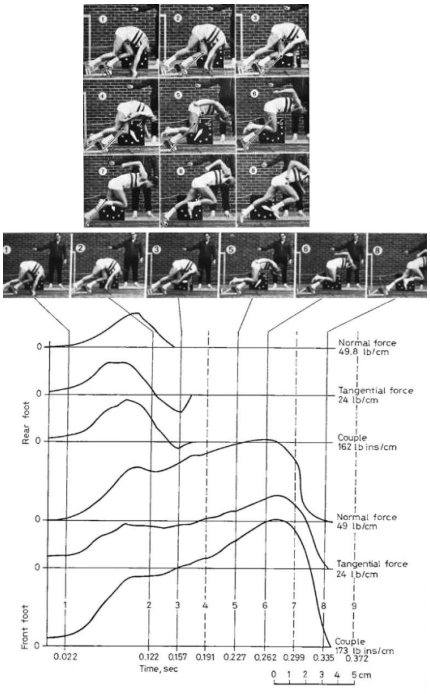
Payne, A. H., & Blader, F. B.

Biomechanics II, 225-231. 1971.

Los velocistas expertos generalmente aplican una fuerza máxima menor en el bloque trasero en comparación con el bloque delantero, y las fuerzas del bloque trasero se ejercen con mayor rapidez.

Fuerzas resultantes medidas en los tacos de salida delanteros y traseros





Análisis de la Salida de Tacos en Atletismo mediante la creación de un sistema de medición instrumentalizado

José Luis López del Amo

Tesis Doctoral. INEFC. Barcelona (España). 2006

ATLETA	PICO MÁXIMA DE FUERZA TACO ADELANTADO (N)	PICO MÁXIMA DE FUERZA TACO ATRASADO (N)
Freddy Mayola	805 N	1144 N
Carlos Berlanga	1069 N	1142 N
Yago Lamela	990 N	1090 N
Francis Obikwelu	852 N	1237 N
Angel D. Rodríguez	881 N	988 N
Diego Santos	1022 N	1108 N
David Canal	866 N	895 N
Arantxa Iglesias	565 N	717 N
Cristina Sanz	497 N	715 N

Differences between the elite and sub-elite athletes in Kinematic and dynamic variables of sprint – start

Milan Čoh & Milan Žvan

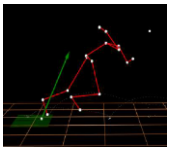
Research in Physical Education, Sport and Health, 4(2), 3-6. 2015.

MUESTRA



12 mejores velocistas eslovenos

(**Edad**: 22,4±3,4 años, **Estatura**: 177,6±6,9 cm, **PC**: 74,9±5,2 kg)



MARCA:

60 metros: 6,93 ± 0,12 s (MM: 6,65 s)

100 metros: 10,82 ± 0,25 s (MM: 10,39 s).

		ELITE ATHLETES (6)		SUB-ELITE ATHLETES (6)	
Parameter	Unit	Mean	SD	Mean	SD
Total force / rear block	N	913 *	89.23	771	55.09
Maximal force / front block – horizontal	N	461 **	51.05	398	56.73
Maximal force / front block - vertical	N	1019 *	69.99	978	43.12
Maximal force / rear block - vertical	N	795 **	91.29	645	41.55
Time to peak force / front block	ms	262 **	22.11	242	15.22
Force impulse of front block	Ns	221.3*	15.8	178.3	13.1
Force impulse - total	Ns	294.3*	21.1	269.5	17.9

Comparative Study of the Sprint Start Biomechanics of Men's 100 m Athletes of Different Levels

Zhao Li, Yan Peng & Qing Li

Applied Science, 14, 4803. https://doi.org/10.3390/app14104083. 2024.

MUESTRA:

10 velocistas chinos de alto nivel (10.00-10.99) y 10 nivel medio (11.00-11.99)

Sprinters de alto nivel aplican fuerza de un modo más eficiente, priorizando la componente horizontal en la pierna delantera, y minimizando la vertical innecesaria desde la pierna trasera

Fuerza Horizontal Máxima (Pierna Delantera):

Atleta Alto Nivel: 1.18 N/kg – Atleta Nivel Medio: 1.03 N/kg

Fuerza Horizontal Máxima (Pierna Trasera):

Atleta Alto Nivel: 0.88 N/kg – Atleta Nivel Medio: 1.03 N/kg

Tipo de fuerza	Alto nivel	Nivel medio	Interpretación clave
Fuerza horizontal (pierna delantera)	Alta (~1.18 N/kg)	Menor (~1.03 N/kg)	Mejor proyección horizontal → mayor aceleración
Fuerza vertical (pierna trasera)	Menor (~0.88 N/kg)	Mayor (~1.03 N/kg)	Menos fuerza vertical → mayor eficiencia
RFD vertical (pierna trasera)	Menor	Mayor	Más control y técnica en alto nivel

Comparative Study of the Sprint Start Biomechanics of Men's 100 m Athletes of Different Levels

Zhao Li 1, Yan Peng & Qing Li

Applied Science, 14, 4803. https://doi.org/10.3390/app14104083. 2024.

MUESTRA:

10 velocistas chinos de alto nivel (10.00-10.99) y 10 nivel medio (11.00-11.99)

	High-Level	Medium-Level	F	p	η^2
Horizontal RFD of Rear Block (N/s·kg)	15.31 ± 7.46	21.79 ± 10.32	2.59	0.13	0.13
Horizontal RFD of Front Block (N/s·kg)	4.10 ± 0.55	3.90 ± 0.72	0.45	0.51	0.02
Vertical RFD of Rear Block (N/s·kg)	7.77 ± 3.26	13.87 ± 7.08	6.12	0.02 *	0.25
Vertical RFD of Front Block (N/s·kg)	4.53 ± 0.94	4.68 ± 1.35	0.08	0.78	0.00
RFD of Rear Block (N/s·kg)	15.57 ± 6.09	22.92 ± 8.84	4.69	0.04 *	0.21
RFD of Front Block (N/s·kg)	6.03 ± 1.03	6.04 ± 1.46	0.00	0.98	0.00
Maximum Horizontal Force of Rear Block (N/kg)	1.14 ± 0.33	1.30 ± 0.21	1.84	0.19	0.09
Maximum Horizontal Force of Front Block (N/kg)	1.18 ± 0.09	1.03 ± 0.16	5.90	0.03 *	0.25
Maximum Vertical Force of Rear Block (N/kg)	0.88 ± 0.24	1.12 ± 0.26	4.42	0.05 *	0.20
Maximum Vertical Force of Front Block (N/kg)	1.3 5± 0.16	1.24 ± 0.23	1.46	0.24	0.08
Maximum Total Force of Rear Block (N/kg)	1.42 ± 0.38	1.71 ± 0.29	3.59	0.07	0.17
Maximum Combined Force of Front Block (N/kg)	1.78 ± 0.17	1.61 ± 0.27	2.98	0.10	0.14

Biomechanics of Sprint Running: A Review
A. Mero, P. V. Komi & R.J. Gregor
Sports Medicine 13 (6), 376-392. 1992.

La duración de la producción de fuerza en los bloqueos oscila entre aproximadamente 0,34 y 0,37 segundos en velocistas masculinos

Pierna Trasera: produce fuerza solo durante el 45% de la salida

Pierna Delantera: produce fuerza durante el 100% de la salida

Para lograr una mayor pretensión en los músculos de la pantorrilla, los músculos tenares de ambos pies deben apoyarse en la pista

Con los músculos de la pantorrilla preestirados, es posible lograr un movimiento de salida más eficiente

Si la masa corporal se centra más en las piernas que en los brazos, se puede aumentar la pretensión

Tras el pistoletazo, los ángulos de rodilla y cadera comienzan a aumentar al producir fuerza, pero los ángulos del tobillo disminuyen inicialmente

Este tipo de función articular y muscular favorece la posibilidad de mejorar el rendimiento mediante un ciclo de estiramiento-acortamiento que mejora la producción de fuerza

Biomechanics of Sprint Running: A Review
A. Mero, P. V. Komi & R.J. Gregor
Sports Medicine 13 (6), 376-392. 1992.

La eficacia de la salida desde los bloques depende fundamentalmente de la capacidad del atleta de aplicar una fuerza propulsiva elevada y eficiente de forma inmediata, lo que se traduce en una superior velocidad de salida y, por ende, en una aceleración más efectiva

Los velocistas élite generan mayores fuerzas y
alcanzan una mayor velocidad en los bloques (***Block Velocity***)
en comparación con los atletas de menor nivel

BLOCK VELOCITY

(Velocidad del CM al despegar de los bloques)

- **Hombres: 2.90 a 3.94 m/s**
- **Mujeres: 2.54 a 2.87 m/s**

RELACIÓN ENTRE FUERZA PROPULSIVA Y VELOCIDAD INICIAL

Existe una alta correlación (r = 0.74) entre la Fuerza Propulsiva en el primer contacto post-bloques y la velocidad de carrera, lo que subraya la importancia de aplicar fuerza horizontal de forma explosiva y eficiente para maximizar la aceleración inicial

DIFERENCIAS ENTRE HOMBRES Y MUJERES EN LA FUERZA EJERCIDA SOBRE LOS TACOS

Análisis de la Salida de Tacos en Atletismo mediante la creación de un sistema de medición instrumentalizado
José Luis López del Amo
Tesis Doctoral. INEFC. Barcelona. 2006.

- **MAGNITUD ABSOLUTA DE FUERZA Y "RATE OF FORCE DEVELOPMENT" (RFD):**

Hombres suelen registrar picos de fuerza mayores, especialmente en el bloque trasero, y una RFD más elevada.

En estudios con velocistas élite, estas diferencias aparecen incluso tras ajustes por tamaño corporal.

- **DISTRIBUCIÓN ENTRE BLOQUES (mismo patrón en ambos sexos):**

Boque Trasero tiende a mostrar picos de fuerza más altos, mientras que el Bloque Delantero aporta más Impulso Total (trabajo "de empuje" para proyectar CM). Este patrón es consistente en la literatura biomecánica y se asocia a mayor potencia en la acción sobre tacos.

- **TIEMPO HASTA EL PICO Y DURACIÓN EN LOS TACOS:**

Por su menor Fuerza Absoluta, muchas velocistas necesitan ligeramente más TIEMPO para alcanzar el Pico de Fuerza, sobre todo en el Bloque Trasero.

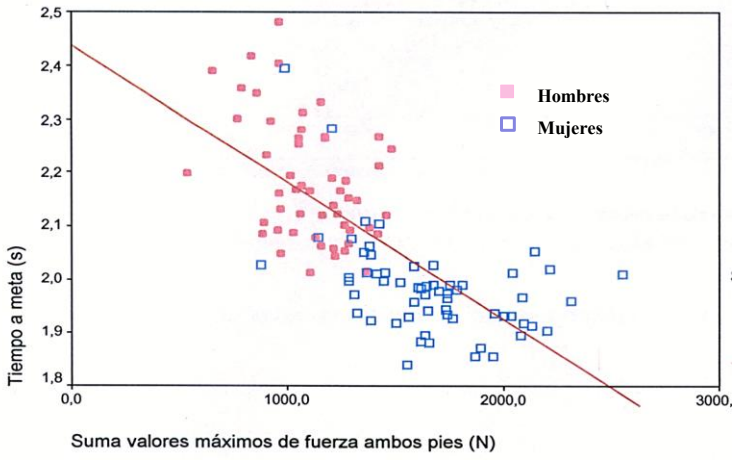
- **REACCIÓN Y UMBRAL DE DETECCIÓN:**

En competiciones, el sistema de salidas detecta reacción cuando la Fuerza en el Taco supera un umbral. Usar el mismo umbral absoluto para ♂ y ♀ y puede hacer parecer que las ♀ "reaccionan" más lento, cuando parte de la diferencia es por menor fuerza máxima.

Todo parece indicar que bajar ≈22% ese umbral para ♀, igualaría sus TR con los de los ♂.

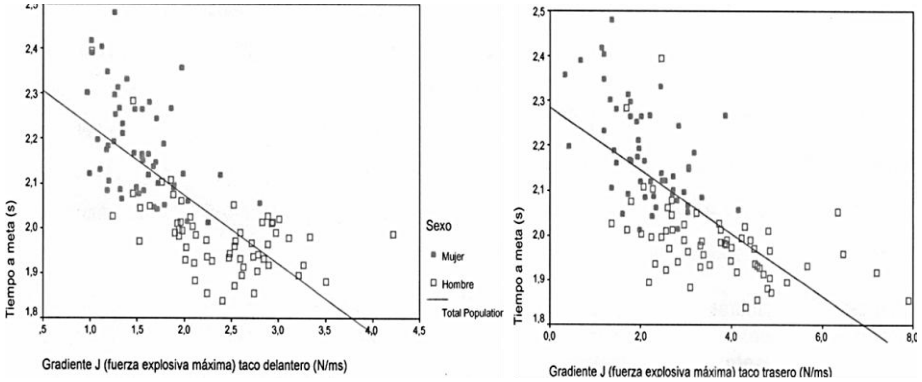
DIFERENCIAS ENTRE HOMBRES Y MUJERES EN LA FUERZA EJERCIDA SOBRE LOS TACOS & RENDIMIENTO

Análisis de la Salida de Tacos en Atletismo mediante la creación de un sistema de medición instrumentalizado
José Luis López del Amo
Tesis Doctoral. INEFC. Barcelona. 2006



DIFERENCIAS ENTRE HOMBRES Y MUEJERES EN LA FORMA DE DESARROLLAR FUERZA SOBRE LOS TACOS DE SALIDA

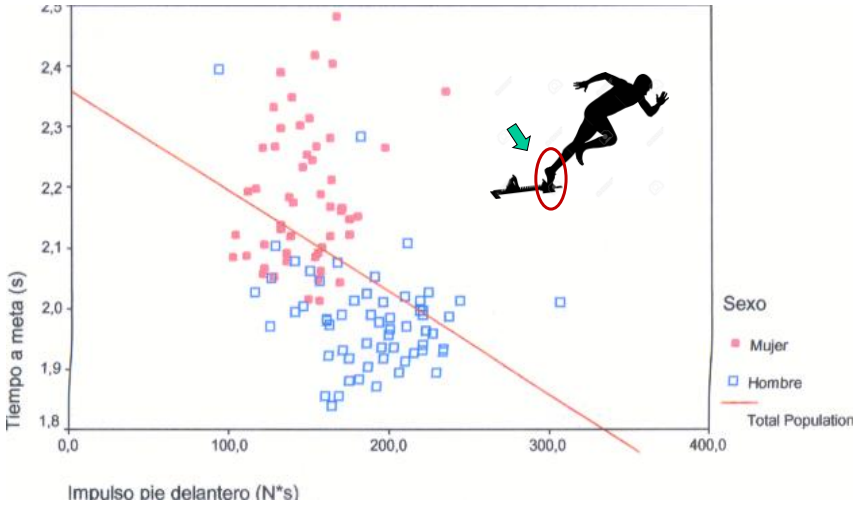
Análisis de la Salida de Tacos en Atletismo mediante la creación de un sistema de medición instrumentalizado
José Luis López del Amo
Tesis Doctoral. INEFC. Barcelona.2006



RELACIÓN FUERZA - TIEMPO DE APLICACIÓN E IMPULSO CONSEGUIDO

INCIDENCIA SOBRE EL TIEMPO EN LA FASE DE FUERZA DURANTE LA ACELERACIÓN

Análisis de la Salida de Tacos en atletismo mediante la creación de un sistema de medición instrumentalizado
José Luis López del Amo (Tesis Doctoral 2006)



Biomechanics of Sprint Running: A Review
A. Mero, P. V. Komi & R.J. Gregor
Sports Medicine 13 (6), 376-392. 1992.

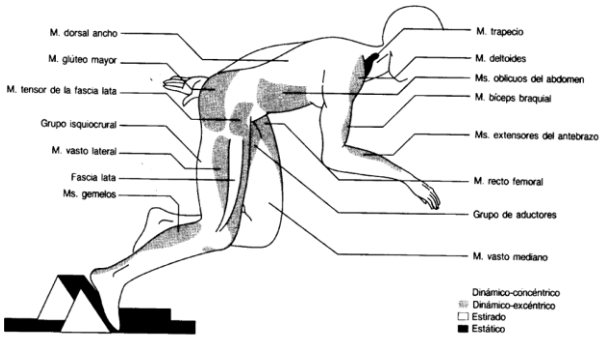
Variable	Baumann (1976) Men[a] (n = 12)	Mero et al. (1983) Men[b] (n = 8)	Mero (1983) Men[b] (n = 8)	Baumann (1979) Women[c] (n = 10)
100m record (sec) [hand time]	10.35	10.80	11.50	11.69
Duration of force production (sec)	0.369	0.361	0.368	0.390
Horizontal force production				
maximal force (N)		1186	898	
average force (N)		650	531	
impulse (N · sec)	263	234	195	156
power (W/kg)		12.7	9.4	
Vertical net force production				
maximal force (N)		958	683	
average force (N)		641	484	
impulse (N · sec)		231	178	213
power (W/kg)		4.1	3.5	
Resultant force at the moment of maximal horizontal force				
force (N)		1555	1175	
direction from horizontal (°)		40	38	
Average lateral force (N)		37	78	
Bodyweight (kg)	73.6	74.7	77.6	54.4
Proportion of bodyweight on the legs in the 'set' position (%)	Under 28.0	57.4	59.5	30.0
Block velocity[d] (m/sec)	3.60	3.22	2.94	2.87

COMPARATIVA HOMBRES VS. MUJERES EN LA SALIDA DE TACOS

Variable	Hombres	Mujeres	Comentario clave
Pico de fuerza (absoluto)	Más alto en ambos tacos (especialmente en trasero)	Más bajo en valores absolutos	Diferencia ligada a masa muscular y potencia explosiva
Rate of Force Development (RFD)	Mayor (alcanzan pico más rápido)	Menor (tiempo algo mayor hasta pico)	Explica parte de la diferencia en explosividad inicial
Distribución Trasero vs. Delantero	Trasero = mayor pico de fuerza; Delantero = mayor impulso total	Igual patrón: Trasero Genera Pico Delantero Asegura Impulso	Consistencia biomecánica en ambos sexos
Tiempo en los Tacos de Salida	Menor Tiempo de apoyo, especialmente en el Delantero	Ligeramente mayor sobre todo, en el trasero	Optimizar el tiempo en el delantero es clave en ambos
Dirección del Vector de Fuerza	Más horizontal (propulsiva)	A veces más vertical (menos eficaz)	Ajustable con técnica y feedback
Tiempo Reacción (competición)	Detectados más Rápidos (umbral común de fuerza les favorece)	Parecen más lentas con el mismo umbral	Ajuste del umbral (-22%) iguala TR
Factores Determinantes (López del Amo)	Pico de Fuerza en ambos tacos + Menor Tiempo en Delantero = mejor salida	Misma Conclusión	Misma conclusión

ACCIONES MUSCULARES & ANÁLISIS CINEMÁTICO EN LAS SALIDAS DE VELOCIDAD





Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Men

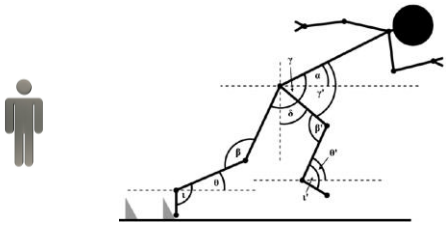
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Ángulo	Parámetro	Rango típico (salida / block exit)	Importancia práctica
A (Tronco)	Inclinación del tronco respecto a la horizontal	30°–40°	Orientar el cuerpo hacia adelante → fuerza más horizontal y aceleración eficiente
Γ (Cadera Pierna Apoyo)	Extensión entre tronco y muslo de pierna que empuja	170°–175°	Extensión casi completa genera máxima propulsión
B (Rodilla Pierna Apoyo)	Flexión de rodilla en posición inicial	90°–100° ("listos") → extensión explosiva	Rodilla a 90° optimiza capacidad de empuje inicial
θ (Espinilla Pierna Apoyo)	Inclinación de la espinilla respecto al suelo	0°–10°	Una espinilla baja facilita impulso horizontal y rápido balanceo de la pierna libre
δ (Ángulo Pélvico)	Relación entre ambos muslos en la cadera	≈ 40°–60°	Favorece sincronización entre pierna trasera y delantera
θ' (Espinilla Pierna Libre)	Inclinación de la espinilla de la pierna en swing	20°–40°	Permite un primer paso rápido y sin elevación vertical excesiva
γ' (Cadera Pierna Libre)	Extensión de cadera de la pierna en oscilación	Variable (depende del timing)	Coordina la salida de la pierna libre con la propulsión de la otra
ι (Tobillo)	Flexión plantar (extensión de tobillo)	Extensión completa al dejar el taco	Añade potencia final al impulso hacia adelante

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Men

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas



Athlete	Joint angle (°)									
	α	γ	γ'	δ	β	β'	θ	θ'	ι	ι'
COLEMAN	40.2	172.7	92.1	39.1	164.0	51.7	24.3	0.6	137.3	104.4
SU	32.6	168.5	57.2	65.8	157.7	59.4	21.2	34.7	133.3	91.1
BAKER	41.5	174.5	73.8	57.4	157.9	49.5	19.1	16.5	129.4	70.9
XIE	29.3	168.0	62.6	57.1	166.3	73.1	28.5	40.1	143.8	90.0
TAFTIAN	40.1	168.9	74.2	57.8	162.4	57.4	26.8	26.3	135.1	84.9
VOLKO	36.3	168.2	85.6	42.0	163.0	59.9	27.4	11.9	129.4	91.8
SAFO-ANTWI	38.0	176.5	66.1	63.7	161.8	57.3	22.1	30.7	143.8	83.8
BARNES	31.8	168.9	60.4	63.0	163.0	74.7	23.6	48.0	139.8	97.9

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Women

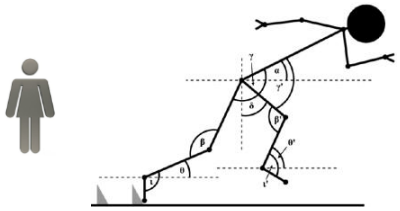
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Ángulo	Parámetro	Rango típico en *Set Position* (°)	Rango típico en *Block Exit* (°)	Relevancia práctica
α (tronco)	Inclinación del tronco respecto a horizontal	Entre −27° (Thompson) y −10° (Ta Lou)	Entre 22° (Ta Lou) y 35° (Zahi)	Una inclinación inicial hacia adelante permite direccionar la fuerza horizontalmente
γ (cadera de apoyo)	Extensión entre tronco y muslo (pierna de empuje)	Entre 37° (Kambundji) y 49° (Ahouré)	Entre 153° (Ta Lou) y 172° (Zahi)	Extensión casi completa en despegue potencia el empuje horizontal
β (rodilla de apoyo)	Flexión/extensión de la rodilla de empuje	Entre 81° (Ta Lou) y 115° (Thompson)	Entre 168° (Ta Lou) y 176° (Schippers)	Rodilla ≈90° en set para optimizar la aplicación de fuerza; extensión casi completa en block exit favorece liberación explosiva.
θ (espinilla delantera)	Inclinación de la tibia respecto al suelo	Entre 27° (Ta Lou) y 49° (Thompson)	Entre 28° (Ahouré) y 50° (Thompson)	Una espinilla no excesivamente inclinada permite rápido swing inicial.
θ′ (espinilla trasera)	Inclinación de la espinilla de la pierna de empuje	Entre 22° (Ta Lou) y 38° (Thompson)	Entre 18° (Ahouré) y 50° (Thompson)	Espinilla baja reduce la inercia y acelera la transferencia a 1er paso.
(α − θ) Incidencia tronco–espinilla	Alineación relativa entre tronco y espinilla	No aplica en set	Desde −0.2° (Ahouré/Ta Lou) hasta 6.8° (Zahi)	Un ángulo de incidencia cercano a cero favorece que el vector de fuerza sea más horizontal y eficiente.
ι (tobillo de apoyo)	Flexión plantar del tobillo en el empuje	No reportado	Entre 118° (Zahi) y 147° (Schippers)	Mayor flexión plantar al salir ofrece mayor propulsión horizontal.

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Women

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas



Athlete	Joint angle (°)									
	α	γ	γ'	δ	β	β'	θ	θ'	ι	ι'
AHOURÉ	24.2	160.6	79.7	34.8	169.6	73.9	32.4	18.1	137.5	90.1
TA LOU	22.5	153.4	66.2	48.7	170.0	81.5	35.5	40.1	130.9	93.0
KAMBUNDJI	30.9	167.8	69.4	52.5	168.3	77.7	31.1	40.8	136.3	96.9
THOMPSON	29.7	162.1	75.8	45.2	163.1	95.1	29.9	50.3	134.3	98.4
SCHIPPERS	26.9	171.4	66.2	48.7	176.3	84.7	38.2	43.4	147.7	84.2
AHYE	30.5	167.2	76.1	47.0	170.7	79.8	32.4	37.1	130.4	96.0
ZAHI	35.4	172.1	78.2	51.6	170.5	84.8	28.6	46.6	118.9	81.2
BURCHELL	28.6	167.7	66.7	58.2	173.3	78.1	31.5	46.7	121.4	93.1

ACCIONES MUSCULARES SOBRE LOS TACOS DE SALIDA

Fase	Músculos principales	Acción muscular	Función
Posición de "listos" (set)	Glúteos, cuádriceps, isquiotibiales, gemelos, erectores espinales, deltoides y tríceps	Isométrica	Mantener tensión, estabilizar articulaciones y preparar para la extensión explosiva
Impulso pierna trasera	Glúteo mayor, isquiotibiales, cuádriceps, gemelos y sóleo	Concéntrica	Extensión rápida de cadera, rodilla y tobillo para dar el primer impulso hacia adelante
Impulso pierna delantera	Glúteo mayor, isquiotibiales, cuádriceps, gemelos y sóleo	Concéntrica (muy potente)	Principal generador de fuerza: proyecta el cuerpo hacia delante con ángulo bajo
Acción de brazos	Deltoides, tríceps, pectorales	Concéntrica	Acompañan y equilibran el movimiento, aumentando el impulso
Primeros apoyos (transición)	Flexores de cadera (psoas-ilíaco, recto femoral), glúteos, isquiotibiales, core	Concéntrica + estabilización isométrica	Pierna libre se proyecta hacia adelante, mientras la pierna de apoyo completa la extensión; el core mantiene la postura

ACCIONES MUSCULARES EN LA SALIDA DE TACOS

Fase	Músculos principales	Acción muscular
Posición "listos"	Cuádriceps, glúteo mayor, isquiotibiales, tríceps sural, deltoides, core	Tensión isométrica, preparación para la extensión, estabilización del tronco y brazos
Impulso inicial	Pierna trasera: glúteo mayor, cuádriceps, tríceps sural Pierna delantera: glúteo mayor, cuádriceps, tríceps sural Brazos: deltoides, dorsal ancho, bíceps/tríceps	Extensión explosiva de cadera, rodilla y tobillo Movimiento alternado de brazos para equilibrio y fuerza
Primeros apoyos	Glúteo mayor, isquiotibiales, cuádriceps, tríceps sural, core	Extensión potente y cíclica de cadera, rodilla y tobillo Estabilización del tronco y transmisión de fuerza

ACCIONES MUSCULARES EN LA SALIDA DE TACOS



EMG and mechanical changes during sprint starts at different front block obliquities

Guissard, N., Duchateau, J., & Hainaut, K.

Medicine and science in sports and exercise, 24(11), 1257-1263. 1992.

Una disminución significativa de la inclinación del taco delantero
INCREMENTA LA VELOCIDAD DE SALIDA
sin modificar la duración del tiempo de empuje ni la activación EMG

Este incremento de la velocidad está asociada a una mayor activación de los Gastrocnemios durante las fases excéntrica y concéntrica de la contracción de los músculos de la pantorrilla

En la posición de "listos", la longitud inicial de Gemelos y sóleo se incrementa a inclinaciones de 50º y 30º respecto a la inclinación de 70º

El alargamiento de estas estructuras, musculares durante la fase excéntrica activa los husos musculares reflejándose en un incremento de IEMG de estas estructuras cuando la inclinación del bloque se reduce

Los resultados nos indican que una disminución en la inclinación del taco delantero induce a modificaciones neurales y mecánicas que contribuyen a incrementar la velocidad de salida sin incrementar la duración del empuje

EMG and mechanical changes during sprint starts at different front block obliquities

Guissard, N., Duchateau, J., & Hainaut, K.

Medicine and science in sports and exercise, 24(11), 1257-1263. 1992.

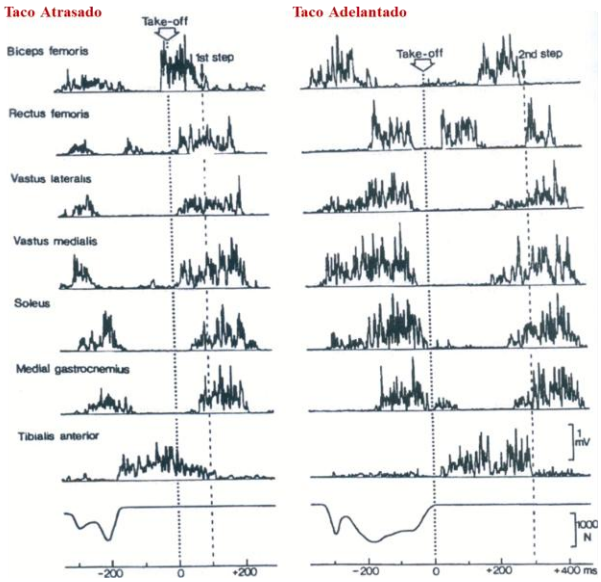
MÚSCULOS DEL MIEMBRO INFERIOR

- **Gastrocnemio y Sóleo:** Se activan intensamente al inicio para extender el tobillo y contribuir al impulso hacia adelante, sobre todo en el bloque trasero.
- **Cuádriceps:** Presentan un pico de activación temprano, responsables de la extensión rápida de la rodilla.
- **Isquiotibiales:** Se activan de manera importante en la fase inicial, contribuyendo tanto a la extensión de cadera como a la estabilización.
- **Glúteo mayor:** Es uno de los motores principales de la propulsión: su activación es intensa y sostenida, es clave en la extensión de cadera y la orientación del vector de fuerza.

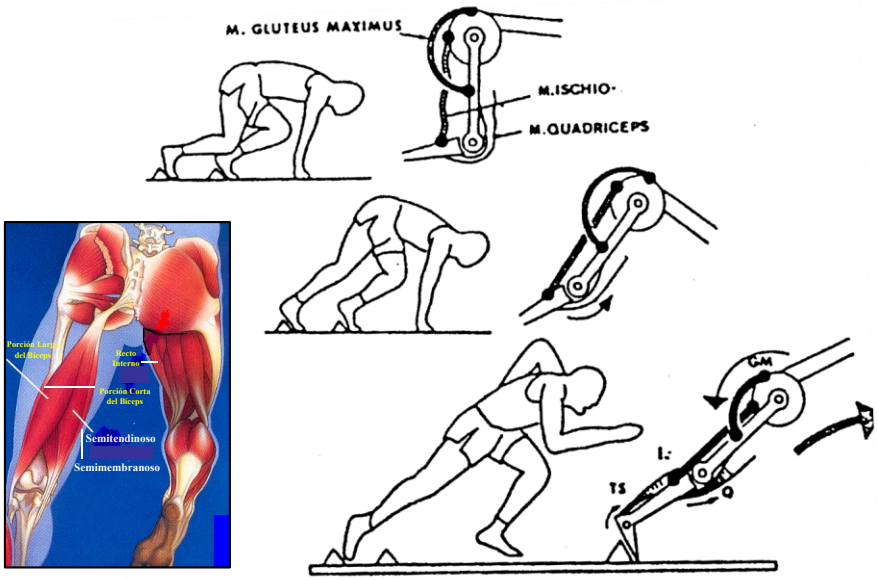
MÚSCULOS DEL MIEMBRO SUPERIOR

- **Tríceps braquial:** Se activa en la fase inicial para ayudar con la extensión del brazo y la fuerza de empuje contra el suelo.
- **Deltoides y Músculos Escapulares:** Estabilizan la cintura escapular y coordinan el braceo explosivo.

EMG and mechanical changes during sprint starts at different front block obliquities
Guissard, N., Duchateau, J., & Hainaut, K.
Medicine and science in sports and exercise, 24(11), 1257-1263. 1992.



Sinergia muscular de Glúteos e Isquiotibiales en Apoyo de la Extensión de la Articulación de la Rodilla Durante la Salida



Biomechanics of Sprint Running: A Review
A. Mero, P. V. Komi & R.J. Gregor
Sports Medicine 13 (6), 376-392. 1992.

1

PATRONES DE ACTIVACIÓN MUSCULAR:

Se observan patrones individuales y específicos en la salida de Tacos en las Pruebas de Velocidad

- **Glúteo Mayor de la pierna trasera**: alcanza su máxima actividad EMG durante los primeros 50 ms, con niveles de actividad que disminuyen posteriormente.
- **Bíceps Femoral de la Pierna Trasera:** presenta un pico inicial de EMG integrada al final del contacto sobre el taco.
- **Vasto Lateral y Recto Femoral de Pierna Trasera**: alcanzan sus picos iniciales al inicio de la producción de fuerza en los tacos.
- **Gastrocnemio**: comienza a participar más tarde, pero el nivel de actividad está, en parte, relacionada con la posición del pie trasero sobre el bloque.

Biomechanics of Sprint Running: A Review
A. Mero, P. V. Komi & R.J. Gregor
Sports Medicine 13 (6), 376-392. 1992.

2

PATRONES DE ACTIVACIÓN MUSCULAR:

Presentan patrones individuales y específicos en la salida

- La duración de producción de fuerza de la pierna delantera es desde el inicio de la producción total hasta el final de la fase de empuje.
- Gastrocnemio es el primero de los cinco músculos estudiados en activarse.
- Los picos de fuerza se producen al final del contacto de la pierna trasera y la delantera en los tacos.
- Recto Femoral y Vasto Lateral aumentan la actividad EMG durante la fase de empuje hasta las últimas etapas, cuando disminuye.
- La actividad del Bíceps Femoral de la pierna delantera alcanza su punto máximo al inicio de la producción de fuerza.
- Glúteo mayor de la pierna delantera muestra el valor EMG integrado máximo al inicio de la producción de fuerza en los tacos.

SALIDA DE TACOS EN CURVA

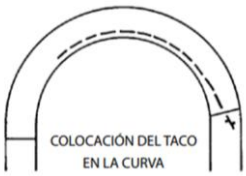
Training and evaluation course for coaches
Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos
Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso
Universidad Católica Murcia – Comité Olímpico Español (2025)

CARACTERÍSTICA DE LAS PRUEBAS DE 200 Y 400 METROS

Disposición de Tacos semejante a la de 100 m, pero con una variación fundamental:

El pie delantero debe situarse en el interior de la curva
garantizando mayor estabilidad frente a la fuerza centrífuga
Los tacos pueden abrirse ligeramente para facilitar
la transición hacia la fase de aceleración sin comprometer el control postural







La orientación inicial del cuerpo y la aplicación de fuerzas en los 1os apoyos condicionan la aceleración posterior y la capacidad de mantener la velocidad en curva

SALIDA DE TACOS EN CURVA

Training and evaluation course for coaches
Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos
Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso
Universidad Católica Murcia – Comité Olímpico Español (2025)

La salida en curva exige considerar 3 aspectos clave:

- Colocar el pie delantero en el interior para asegurar la estabilidad,
- Orientar ligeramente los tacos hacia la parte interna de la calle,
- Controlar la aplicación diferencial de fuerzas entre ambas piernas para contrarrestar la fuerza centrífuga.



WORLD ATHLETICS / IAAF
TECHNICAL MANUALS & "SPIKES" ARTICLES

TACOS Y ORIENTACIÓN DE LA SALIDA EN CURVA

- **Orientar los bloques en tangente a la curva (ligeramente "mirando" al interior de la calle) para que los primeros pasos sigan la línea ideal y faciliten el inicio de carrera.**
- **En pistas indoor (curvas más cerradas), el peralte ayuda a mitigar la fuera centrífuga**

PAUTAS PRÁCTICAS PARA LA SALIDA EN CURVA BLOQUES

- **TACOS: Colócalos en tangente a la calle; al salir, mira/dirige el tronco hacia la línea interior de tu calle para entrar en la curva desde el 1.º–2.º paso, en vez de "prolongar" una recta imaginaria.**
- **PROGRESIVA INCLINACIÓN LATERAL DEL CUERPO (*LEAN*): inicia una inclinación ligera ya en los primeros apoyos; evita retrasarla demasiado (penaliza la velocidad de carrera).**
- **PROPULSIÓN EFECTIVA: busca un vector de fuerza más horizontal con la pierna externa (más eficaz propulsivamente) y controla la eversión/rotación interna del tobillo en la interna (estabilidad).**
- **FUERZA ESPECÍFICA: incluye trabajo de tobillo-pie, articulación metatarsofalángica y control pélvico unilateral para la pierna interna.**
- **EXPECTATIVA REALISTA: incluso con buena técnica, es normal una ligera pérdida (~2 %) de velocidad ya en la aceleración al salir en curva (mayor con radios pequeños).**

Maximum velocity and leg-specific ground reaction forcé production change with radius during flat curve sprinting

Gabriela B. Diaz, Ryan S. Alcantara &Alena M. Grabowski

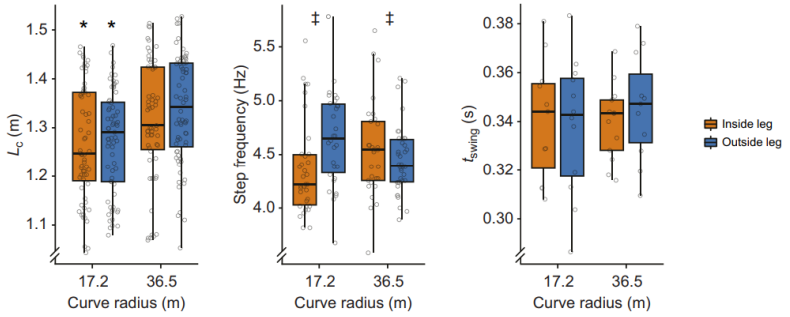
Journal of Experimental Biology, 227, jeb246649. doi:10.1242/jeb.246649. 2024.

Analiza cómo cambia la Velocidad Máxima y las Fuerzas de Reacción del Suelo (GRF) de cada pierna (interna y externa) al correr en curva con diferente radio (17.2 & 36.5 m)

MUESTRA: 9 velocistas NCAA (8 hombres, 1 mujer)

MM200: 22.60±2.39 s; MM400: 47.76±1.49 s; PC: 74.6±9.5 kg; Estatura: 1.83±0.10 m; Edad: 21±1

Los velocistas modifican el tiempo de apoyo y la distribución de las fuerzas de reacción del suelo entre pierna interior y exterior para compensar la mayor carga centrífuga, especialmente en radios de curva pequeños



Analytical study of some step variables and rate speed running the 200-meter efficiency curve and achievement
Riyadh Jassim Mohammed
European Scholar Journal, 5(4), 13-21. 2024.

Durante la carrera en curva, el cuerpo del corredor juega un papel clave a través de la posición del cuerpo del corredor durante la fase inicial de carrera

MUESTRA: 4 corredores de Selección Nacional (Irak)



- **Se observó fluctuación en la velocidad cada 10 metros:**
  - Hubo zonas de aceleración y deceleración durante la curva
- **Un aumento exagerado de la longitud del paso provocó:**
  - Reducción de la velocidad
  - Irregularidad en la longitud y número de pasos
  - Dificultad para mantener una trayectoria próxima al borde de la pista

RECOMENDACIONES

Los entrenadores deben enfatizar la aceleración continua durante la curva, de modo que los corredores mantengan un nivel alto de velocidad tras alcanzarlo

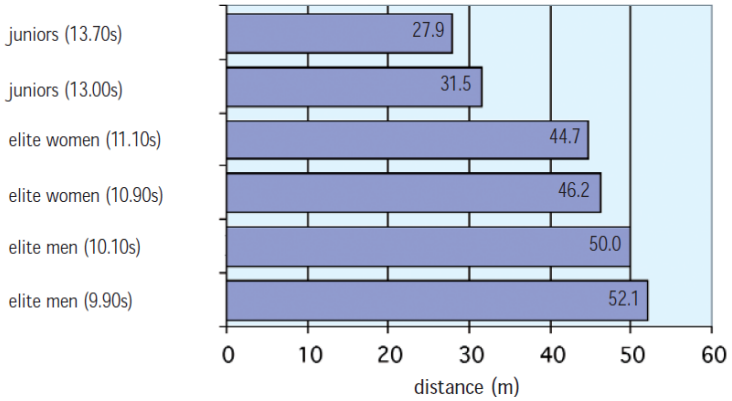
Deben evitarse pasos demasiado largos; es preferible combinar una longitud adecuada de zancada con una frecuencia elevada para maximizar la velocidad en la curva

DESPEGUE DE LOS TACOS, PRIMEROS PASOS DE CARRERA Y FASE DE ACELERACIÓN



The development of velocity and acceleration in sprints
A comparison of elite and juvenile female sprinters
Stefan Letzelter
New Studies in Athletics, 21(3), 15-22. 2006.

Hombres aceleran durante más tiempo que las mujeres, adultos durante más tiempo que los jóvenes y velocistas élite durante más tiempo que los más lentos.



La Figura muestra cómo la duración de la fase de aceleración positiva aumenta con un mejor rendimiento

FASE DE ACELERACIÓN

La fase de aceleración es el período inicial de un sprint, donde el corredor se mueve desde los tacos de salida y aumenta rápida y eficazmente su velocidad hasta valores máximos

CARACTERÍSTICAS CLAVE:

Salida desde los tacos: Esta fase comienza al sonar el pistoletazo de salida, con un potente impulso desde los tacos.

Aumento gradual de la velocidad: Los velocistas no alcanzan la velocidad máxima instantáneamente. Ganan impulso, generalmente durante los primeros 40-60 metros de una carrera de 100 m.

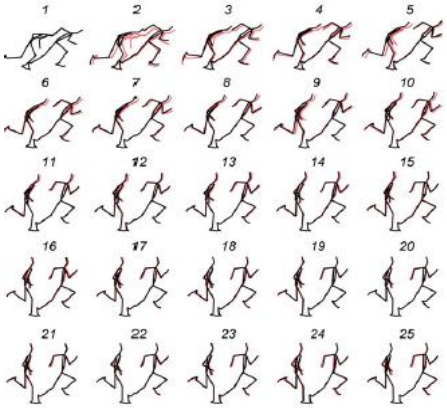
Posición corporal: Al principio, el atleta se inclina significativamente hacia adelante. A medida que acelera, el torso se eleva gradualmente hasta alcanzar una posición más erguida.

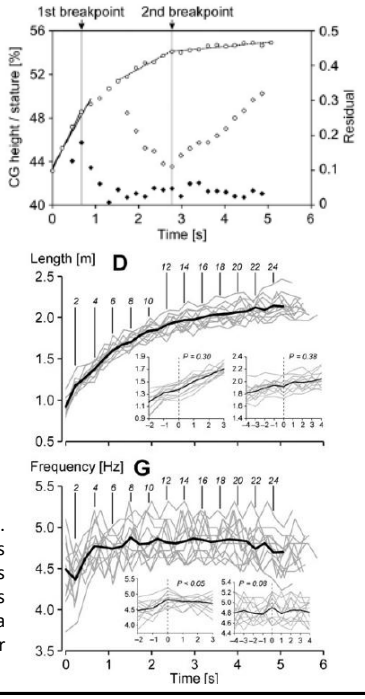
Mecánica de la zancada: Zancadas cortas, rápidas y potentes al principio. La longitud y la frecuencia de la zancada aumentan progresivamente.

Activación muscular: Altos niveles de producción de fuerza, especialmente en los glúteos, isquiotibiales y pantorrillas. Énfasis en el desarrollo de fuerza explosiva.

Kinematics of transition during human accelerated sprinting

Ryu Nagahara, Takeo Matsubayashi, Akifumi Matsuo & Koji Zushi
Biology Open, 3, 689–699. 2014.

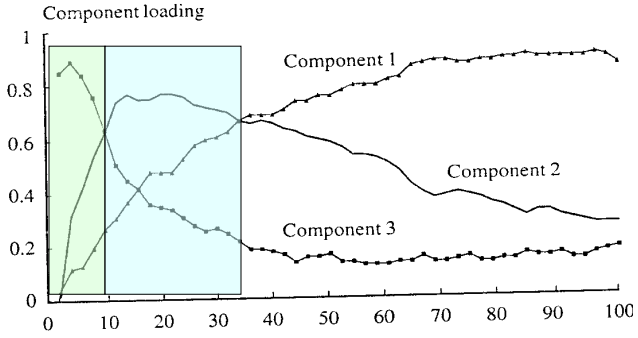


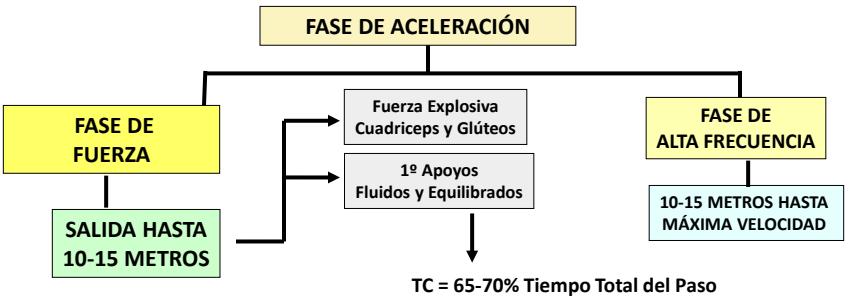


Probablemente existen dos transiciones durante el sprint máximo. En las diferentes secciones de aceleración se emplean diferentes estrategias de aceleración, especialmente cambios en las contribuciones de los segmentos de las extremidades inferiores (muslo y pierna para la sección inicial, muslo, pierna y pie para la sección media, y pierna y pie para la sección final), para aumentar la velocidad de carrera.

FASE DE ACELERACIÓN

- **FASE DE FUERZA** — SALIDA HASTA 10-15 METROS
- **FASE DE ALTA FRECUENCIA** — DESDE 10-15 METROS HASTA PUNTO DE MÁXIMA VELOCIDAD





TC = 65-70% Tiempo Total del Paso

1ª: 0.160-0.185; 2º:0. 150-0.180; ....., Max. Vel.: 0.08-0.09 s

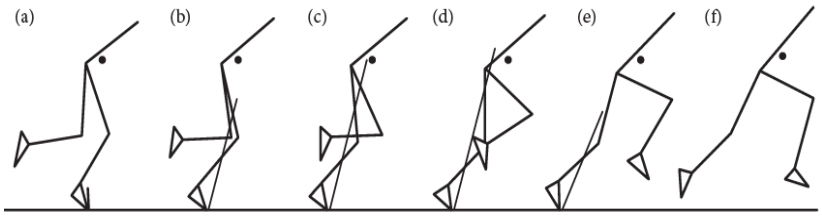
SALIDA	20-25%
10 M	42-47%
20 M	75-80%
30 M	85-90%
40 M	93-98%
50 M	100%

<10.15		10.15-10.30		10.30-10.60	
CTR	STR	CTR	STR	CTR	STR
0.130	0	0.170	0	190	0
1.85-1.90	1.70-1.75	1.90-1.95	1.75-1.80	1.95-2.00	1.75-1.80
2.90-2.95	2.70-2.80	2.95-3.05	2.80-2.90	3.00-3.10	2.80-2.90
3.80-3.85	3.70-3.80	3.90-4.00	3.75-3.85	3.95-4.05	3.80-3.90
4.70-4.75	4.50-4.60	4.80-4.90	4.65-4.75	4.90-5.00	4.70-4.80
5.50-5.60	5.40-5.50	5.70-5.80	5.55-5.65	5.80-5.90	5.60-5.70

PRIMEROS APOYOS DE LA FASE DE ACELERACIÓN

Siendo la aceleración una de las partes más importantes de la carrera de 100 metros, hay 3 factores de las que depende de:

- **Técnica de salida,**
- **Acción de los primeros apoyos,**
- **Fuerza explosiva de la musculatura de las piernas.**



El objetivo principal de los primeros pasos de carrera es generar una elevada velocidad horizontal con una acción técnica eficiente

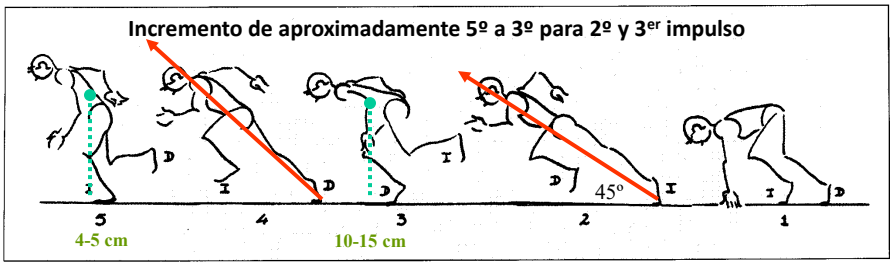
La transición entre la salida de los tacos y los primeros pasos representa un paradigma biomecánico específico:

Integrar movimientos acíclicos temporales y espaciales en una acción cíclica

FASE DE FUERZA: ACENTOS PRINCIPALES

- Inclinación del Cuerpo
- Colocación del Primer Apoyo
- Frecuencia de los Apoyos
- Desplazamiento Lateral del Tronco (NO)
- Tensión del Tobillo en los Apoyos

CARACTERÍSTICAS DE LOS PRIMEROS PASOS DE CARRERA



V: 4.5-5.2 m/S V: 3.5-4.0 m/s v: 0 m/s

- Colocación del apoyo.
- Inclinación del Cuerpo.
- Acción del Pie.
- Altura del Talón

Longitud de primer paso ≈1.00 (0.95-1.20 mts)

Ratio TC *vs.* (TC+TV: 65-70%)

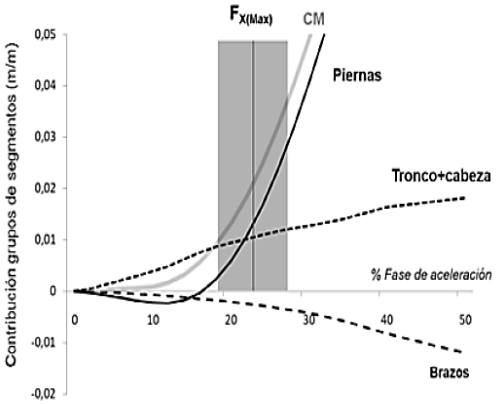
TC: 150-180 ms TC: 160-190 ms TI: 320-370 ms

TV: 60-70 ms TV: 60-90 ms TI: 320-370 ms

Analysis of the segmental contribution in sprint start performance

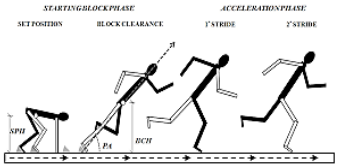
Marcos Gutiérrez-Dávila, Carmen Gutiérrez-Cruz & Jose Campos-Granell

Retos, 43, 988-995. 2022



Contribución al desplazamiento del CM de las piernas, tronco+cabeza y media de los dos brazos en la primera mitad del tiempo de la fase de aceleración

La línea gris representa el desplazamiento del CM
La línea vertical y espacio sombreado indican el porcentaje medio ± la desviación estándar donde se produce el pico máximo de la fuerza horizontal



Se constata una secuencia próximo-distal de contribución segmentaria al desplazamiento horizontal del C.M.

Comienza con la participación del Tronco + Cabeza, seguida de la contribución positiva de las piernas apoyadas en los tacos y de la pierna libre tras su despegue del taco posterior

La contribución de los brazos, al desplazamiento hacia delante del CM, ha sido insignificante debido a su escasa masa y a los distintos sentidos del movimiento horizontal que adquieren cada uno de ellos tras su despegue

Training and evaluation course for coaches
Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos

Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso

Universidad Católica Murcia – Comité Olímpico Español (2025)

ASPECTO	QUÉ BUSCAR	QUÉ CORREGIR
Inclinación del Tronco	Mantener cuerpo inclinado ≈45º durante los primeros metros	Incorporación demasiado rápida: pérdida de ángulo y fuerza horizontal
Aplicación de Fuerza	Impulsos cortos, potentes y orientados hacia atrás y abajo	Empujes verticales: poca aceleración Apoyos planos o de talón: pérdida de eficacia
Número y Calidad de Apoyos	3–5 pasos iniciales cortos, progresivos, construyen la aceleración	Zancadas demasiado largas: ruptura de la progresión. Pasos irregulares: pérdida de coordinación
Acción de Pies	Apoyo de metatarso, con rápida extensión de tobillo	Taloneo o apoyo plano: reducción de la propulsión
Braceo	Movimiento enérgico y coordinado, acompañando la acción de las piernas	Braceo corto o cruzado: pérdida de equilibrio y coordinación
Progresión Técnica	Aumento gradual de FZ y LZ, manteniendo Control Postural	Crecimiento brusco de la amplitud: desorganización de la aceleración

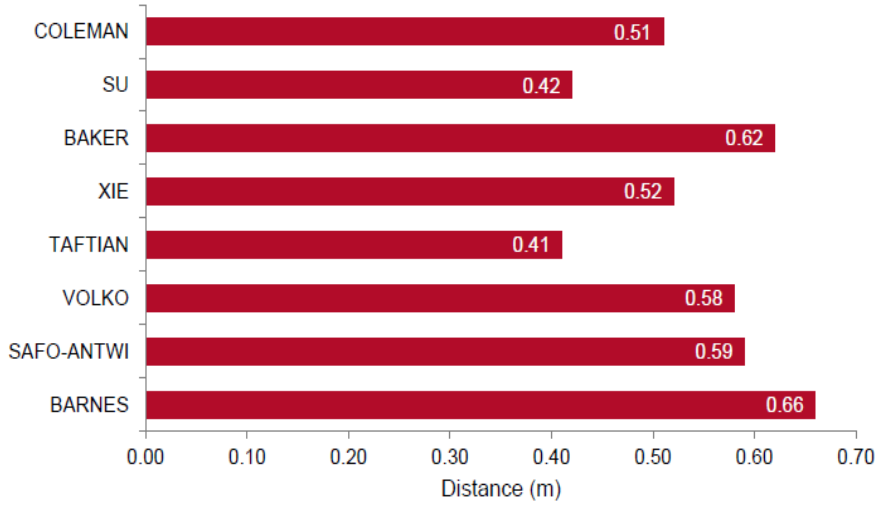
Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Men

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Distancia Horizontal entre línea de inicio y 1er punto de contacto con el suelo

MEDIA: 0.539 ± 0.09 metros



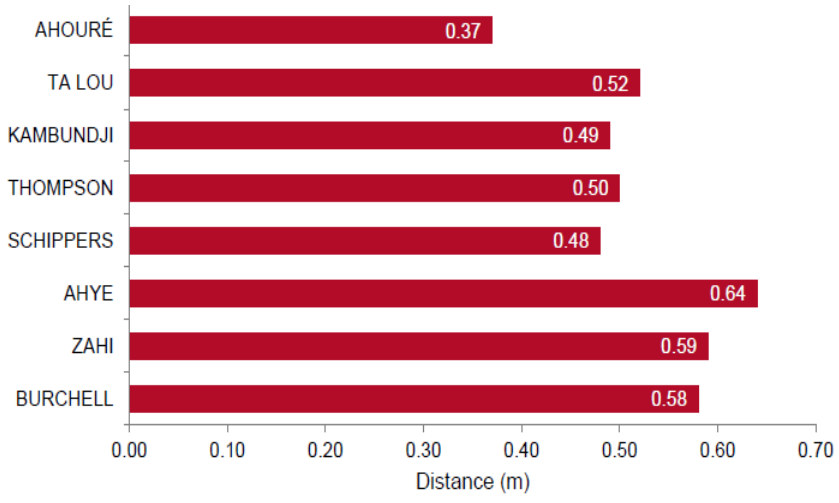
Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Women

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Distancia Horizontal entre línea de inicio y 1er punto de contacto con el suelo

MEDIA: 0.521 ± 0.08 metros



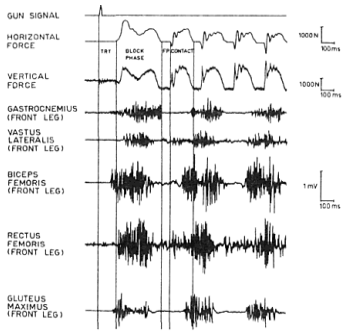
Biomechanics of Sprint Running: A Review
A. Mero, P. V. Komi & R.J. Gregor
Sports Medicine 13 (6), 376-392. 1992.

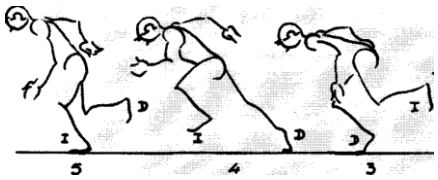
Durante los 2 primeros pasos de carrera, la proyección del CM se encuentra por delante de los apoyos, situación que cambia a partir del 3er paso al ir alcanzando el corredor una posición más vertical de carrera

La pérdida de velocidad en la 1ª parte (*Bracking Phase*) de los 2 primeros apoyos es de un 3-11%, acelerándose, posteriormente, el CM al final del impulso (*Propulsive Phase*)

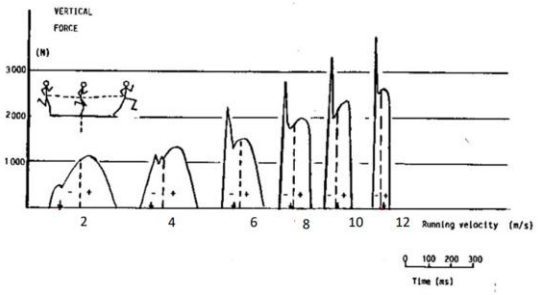
La Actividad Muscular durante estos primeros apoyos (EMG: 4.5% a 5%) es mayor que en la Fase de Máxima Velocidad (>40-50 metros)

Esto implica una mayor implicación activación neural durante las 1as zancadas de la Aceleración





Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises
Bosco C., Ito A., Komi P.V., Luhtanen P., Rahkila P., Rusko H. & Viitasalo J.T.
Acta Physiologica Scandinavica, 114(4), 543-550. 1982.



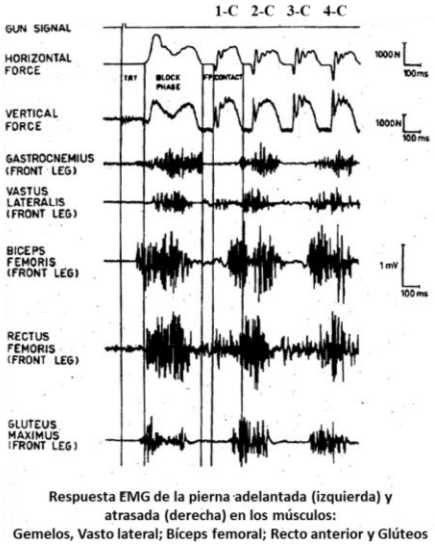
Las Fuerzas de Reacción Verticales del suelo (GRF Vertical) que se generan durante los apoyos cuando el corredor avanza a diferentes intensidades (Fase de Aceleración) aumentan con el incremento de la Velocidad Horizontal de desplazamiento

Es decir, la magnitud (GRF Vertical) y el ritmo del impulso vertical desde el suelo cambian a medida que aumenta la velocidad

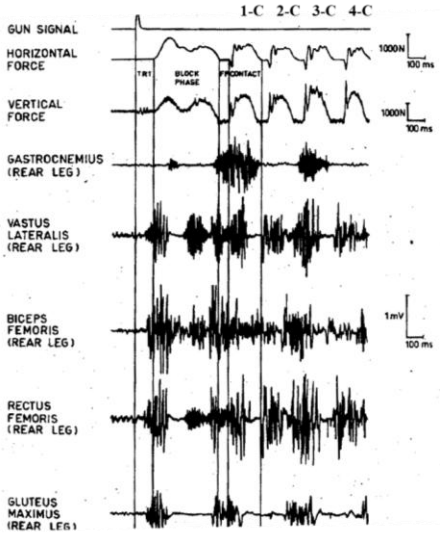
A velocidades más altas, los corredores deben tolerar y generar fuerzas verticales mucho mayores y en un tiempo mucho más corto, lo cual constituye un desafío clave para el sistema neuromuscular en el sprint y la calidad de la carrera

A altas velocidades, GRF Vertical puede alcanzar valores de 3 a 5 veces el PC, en tiempos de contacto extremadamente cortos (≈0,08–0,10 s)

Biomechanics of Sprint Running: A Review
A. Mero, P. V. Komi & R.J. Gregor
Sports Medicine 13 (6), 376-392. 1992.

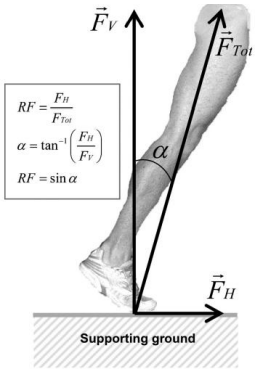


Respuesta EMG de la pierna adelantada (izquierda) y atrasada (derecha) en los músculos:
Gemelos, Vasto lateral; Bíceps femoral; Recto anterior y Glúteos



Despegue y 1er (1C); 2º (2C); 3er (3C) y 4º Paso (4C)

Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance
Morin, J. B., Edouard, PL., & Samozino, P.
Medicine Science Sports and Exercise, 43(9), 1680-1688. 2011.



Representación del Ratio de Fuerzas (RF) y expresión matemática en función de las Fuerzas de Reacción Totales (FTot) y las Fuerzas de Reacción Horizontal Netas Positivas (FH) del terreno. La orientación hacia delante del vector GRF total se representa mediante el ángulo α.

Acelerar y generar velocidad de avance requiere, lógicamente, la producción de altas cantidades de FH.

- Durante la aceleración, el cuerpo se encuentra en una situación mecánica en la que las restricciones gravitacionales son tales que la fuerza total se produce predominantemente en una dirección distinta a la de su desplazamiento.
- Por lo tanto, solo el **componente horizontal de la fuerza total** se dirige hacia adelante, y el otro componente (vertical) puede considerarse ineficaz para producir aceleración hacia adelante, aunque necesario para seguir avanzando.
- Durante el apoyo, la relación media de fuerzas aplicadas sobre el suelo (RF) podría representar objetivamente la técnica de aplicación de fuerza de los corredores. Esto podría ser independiente de la cantidad de fuerza total aplicada, es decir, de sus capacidades físicas.

Lo importante no es tanto la cantidad de *Ftot* generada, si no la forma en que es orientada durante el impulso

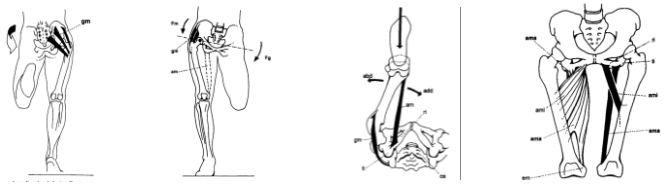
Relative activity of hip and knee extensors in sprinting-implications for training
Klauss Wiemann & Günter Tidow
New Studies in Athletics, 10, 29-29. 1995.

La aceleración se produce por extensión de cadera y no tanto por extensión de rodilla

El extensor de cadera más potente, Glúteo Mayor (GM), es el músculo más importante

Debemos tener en cuenta que GM no solo es extensor de cadera, sino que, también, rota el muslo hacia afuera, especialmente cuando la articulación de cadera está extendida

Esto podría generar una rotación atrás de la pelvis del lado de la pierna libre durante la fase de apoyo, lo que podría disminuir el balanceo hacia adelante de pierna libre (Figura 1)



GM también tiene un efecto abductor sobre la pierna, especialmente en el caso de una articulación de la cadera angulada (Figura 2)

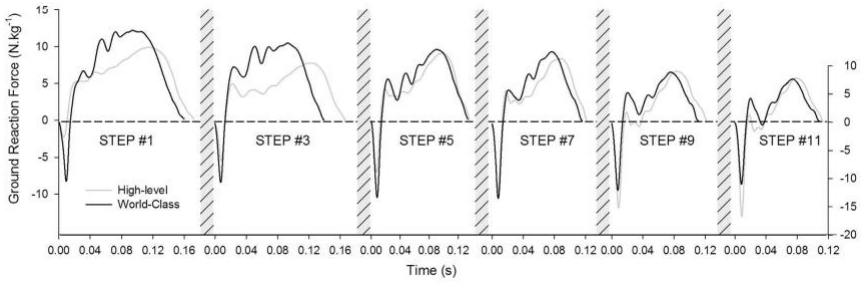
Esto podría afectar negativamente el movimiento recto de la pierna de apoyo de adelante hacia atrás

La rotación externa y la abducción no tendrían ninguna importancia si otro músculo pudiera actuar con el GM, y apoyarlo durante la extensión de la cadera y neutralizar su efecto abductor

Esta función podría ser asumida por el aductor mayor (AM), especialmente por su porción superficial, el cual se origina en el hueso isquiático, junto al origen de los isquiotibiales y se inserta en el epicóndilo medial (Figuras 3 y 4)

Acceleration capability in elite sprinters and ground impulse: Push more, brake less?
Morin J.B., Slawinski J., DorelS, Saez de villareal E. , Couturier A, Samozino P., Brughelli M & Rabita G.
Journal of Biomechanics, 48(12), 3149-3154. 2015.

La diferencia entre corredores élite y los velocistas A.N. reside en una mayor utilización de la componente horizontal positiva al final de cada apoyo y una menor componente horizontal de frenado en la fase de amortiguación de cada paso



Comparación de la Fuerza e Reacción Horizontal del suelo durante las fases de apoyo de los pasos 1, 3, 5, 7, 9 y 11 de una carrera de 40 de un Velocista Élite (MM100 m: 9,95 s, líneas negras) y un Velocista Alto Nivel (MM100 m: 10,60 s, líneas grises).

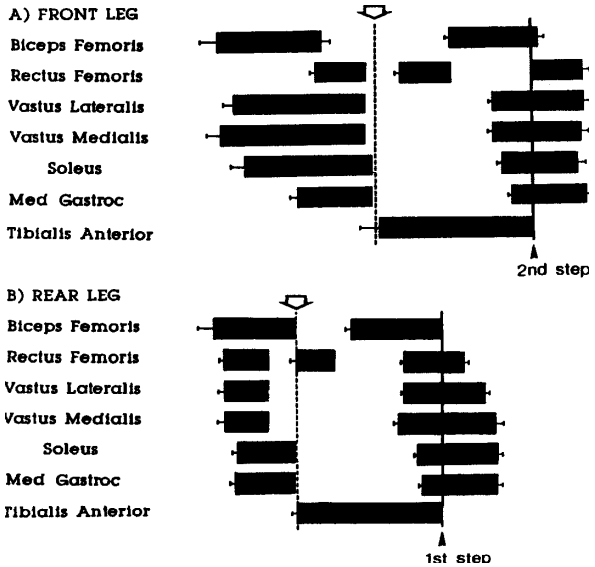
MORFOLOGÍA VS. COMPORTAMIENTO MUSCULAR

- **Fascículos musculares de Gemelos y Vasto Lateral son más anchos y largos que los no velocistas (Abe et al., 2001).**
- **Para una velocidad dada de acortamiento del sarcómero, una fibra más larga tiene una velocidad máxima superior, ya que las velocidades de acortamiento del sarcómero son aditivos (Bodine et al, 1982; Burkholder et al, 1994; Kumagai et al, 2000; Sacos y Roy, 1982).**
- **Los músculos con fibras largas son los más adecuados para realizar trabajos más eficientes durante la fase aceleración (Alexander, 1974) .**
- **El Ángulo de Pennación tiene una débil correlación con la producción de fuerza o velocidad y, sobre todo, influye en la manera en que las fibras se empaquetan dentro del músculo para maximizar la producción de fuerza (Burkholder et al., 1994).**
- **Si un músculo con fibras largas tiene un brazo de palanca proporcionalmente mayor, la velocidad de acortamiento de los sarcómeros se verá afectada por la diferencia de longitud de la fibra.**
- **Una palanca menor debería conducir a un mayor almacenamiento de energía elástica en el tendón de Aquiles y por lo tanto reducir el consumo de energía metabólica (Scholz et al., 2008).**

EMG andmechanical changes during sprint starts at different frontblock obliquities

Guissard, N., Duchateau, J. y Hainaut, K.

Medicine & Science in Sports & Exercise,24(11), 1257-1263. 1992.



Activación muscular en los primeros apoyos de la carrera

(Puesta en Acción)

La mejora en el rendimiento de la salida se asocia con una mayor contribución del Gastrocnemio Medial durante las fases excéntrica y concéntrica de la contracción de los músculos de la pantorrilla

La disminución de la inclinación del bloqueo delantero induce modificaciones neuronales y mecánicas que contribuyen a aumentar la velocidad inicial sin aumentar la duración de la fase de empuje

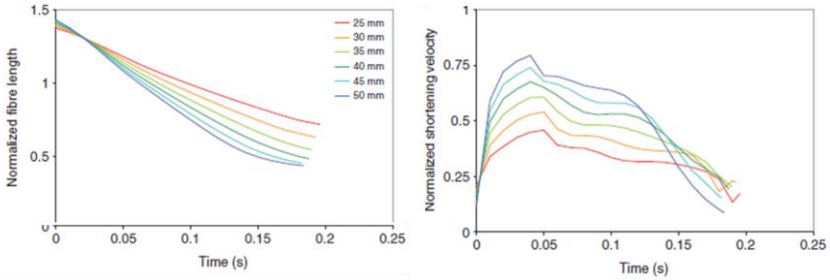
Built for speed
musculoskeletal structure and sprinting ability
Sabrina S. M. Lee & S.J. Piazza
The Journal of Experimental Biology, 212, 3700-3707. 2009.

La combinación de brazo de palanca reducido, fascículos más largos, dedos alargados y piernas más cortas configura una estructura ideal para la aceleración explosiva

Aunque a simple vista parezca una desventaja mecánica, estos rasgos maximizan la eficiencia de la producción de fuerza y la transferencia de impulso en sprints cortos

Aspecto Estrutural	Diferencia entre sprinters vs no-sprinters	Efecto sobre el rendimiento en sprint
Brazo de Palanca del Tendón de Aquiles	≈ 25 % más corto	Más fuerza eficaz por menor velocidad de acortamiento
Longitud de Fascículo Muscular	≈ 11 % más largo	Mayor acortamiento muscular, más potencia
Ratio Fascículo/Brazo de Palanca	≈ 50 % mayor	Balance óptimo entre fuerza y velocidad de fibra
Longitud de dedos del pie	Mayor Longitud	Contacto prolongado, más impulso horizontal
Longitud de tibia/pierna	Piernas más Cortas	Mejora Brazo de Palanca del pie

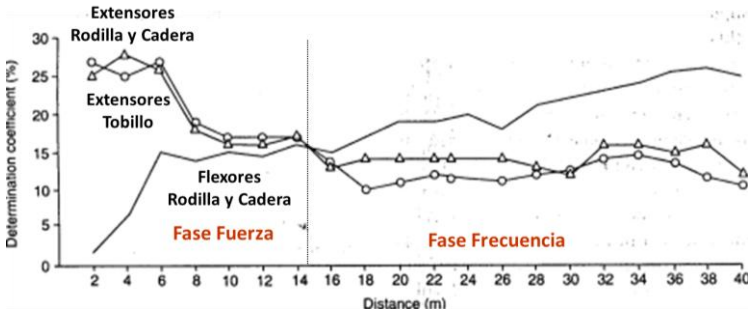
Built for speed
musculoskeletal structure and sprinting ability
Sabrina S. M. Lee & S.J. Piazza
The Journal of Experimental Biology, 212, 3700-3707. 2009.



Arquitectura del Gastrocnemio Lateral

	Sprinters	Non-sprinters	*P*-value
LG thickness (mm)	15.5±1.9	14.7±2.0	0.330
LG pennation angle (deg.)	12.8±1.2	13.7±2.1	0.212
LG fascicle length (mm)	69.9±6.2	62.7±8.3	0.024
Achilles' tendon moment arm (mm)	31.0±3.7	41.6±5.5	<0.001
Fascicle length:moment arm	2.28±0.32	1.53±0.27	<0.001

PRINCIPALES GRUPOS MUSCULARES EN LA FASE DE ACELERACIÓN



- **Extensores de la articulación de la rodilla**
  - **Especialmente en los primeros apoyos**
- **Extensores (flexores plantares) de articulación del tobillo**
  - **Especialmente en los primeros apoyos**
- **Flexores de la articulación de la rodilla**
  - **Aumenta progresivamente a partir del tercer apoyo hasta alcanzar la máxima velocidad**
- **Flexores de la articulación de la cadera**
  - **Aumenta progresivamente a partir del tercer apoyo hasta alcanzar la máxima velocidad**
- **Extensores de la articulación de la cadera**
  - **Especialmente en los primeros apoyos**

Biomechanics of sprint running: a methodological contribution

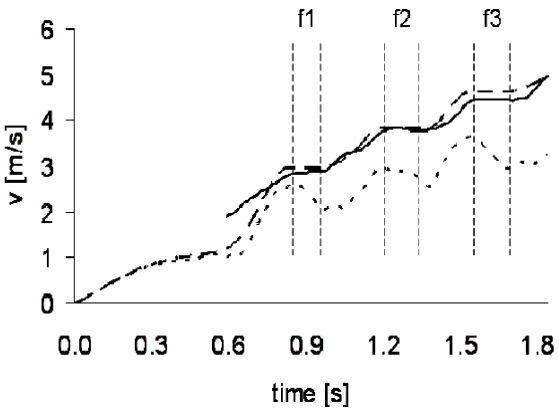
Elena Bergamini

Alma Mater Studiorum Università di Bologna (Tesis Doctoral). 2011.

FASE DE FUERZA

Evolución de la velocidad durante las fases de apoyo y de vuelo durante los tres primeros pasos de una carrera de velocidad

Seis corredores en una carrera con salida de pie



Velocidad instantánea en la fase de aceleración obtenida mediante las mediciones de referencia (línea continua), calculada mediante la integración numérica de la aceleración durante toda la la tarea (línea discontinua) y con el algoritmo propuesto en este estudio (línea discontinua).

Las líneas discontinuas verticales identifican las fases de vuelo **(f1, f2 y f3)**

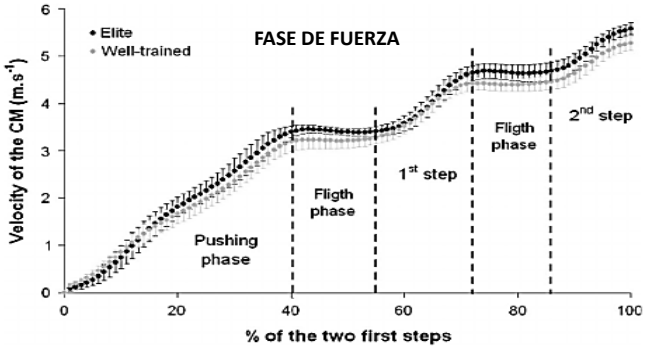
Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start

Slawinski, J, Bonnefoy, A, Leveque, JM, Ontanon, G, Riquet, A, Dumas, R & Chèze, L. Journal Strength and Conditioning Research, 24(4), 896–905. 2010.

MUESTRA: 6 velocistas élite *vs*. 6 bien entrenados
(10,06–10,43 vs. 11,01-11,80)
Realizaron 4 carreras de 10 m

En todo momento, la Velocidad fue significativamente mayor en velocistas de élite

Durante la fase de empuje en el taco, la tasa de desarrollo de **fuerza** y el **Fimpulse** fueron significativamente mayores en los velocistas de élite
(15.505±5.397 N/s vs. 8.459±3.811 N/s ⟺ 276,2±36,0 N/s² vs. 215,4±28,5 N/s²; p<0,05)



Preliminary Analysis of the Men's 100 m Final

IAAF World Championships 2017



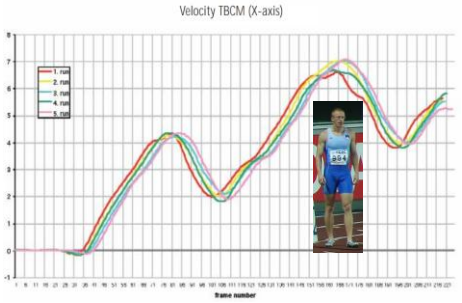
FASE DE FUERZA

Athlete	Reaction Time (s)	Time - 1st Step (s)	Time - 2nd Step (s)	Time - 3rd Step (s)	Time – 4th Step (s)	Time - 10m (s)	Time – 100m (s)
Gatlin	0.138	0.59	0.83	1.06	1.29	1.88	9.92
Coleman	0.123	0.59	0.82	1.07	1.29	1.87	9.94
Bolt	0.183	0.69	0.94	1.20	1.45	1.96	9.95

Kinematic analysis of the sprint start and acceleration from the blocks

Milan Coh & Katja Tomazin

New Studies in Athletics, 21(3), 23-33. 2006



MUESTRA: Velocista del Equipo Nacional de la Republica de Slovenia

Matic Osovnikar

(Edad: 27; PC: 76.7 kg; MM60: 6.58 s; MM100: 10.15s)

Grabación: 200 frames/seg por 6"

La calidad de la transición desde el inicio del sprint hasta la aceleración se observa principalmente en los parámetros de velocidad del CM en los dos primeros pasos

Al final 1er paso (Fase Propulsión), VH del CM fue 4,41±0,13 m/s y al final del 2º paso de 6,00±0,17 m/s, mostrando un aumento de velocidad de más de 1,5 m/s.

En los 2 primeros pasos, el punto de proyección del CM se encuentra detrás del punto de contacto del pie con el suelo

No es hasta 3er y 4º paso que la proyección del CM se desplaza por detrás del punto de contacto con el suelo. La proyección adelantada del CM en los 2 primeros pasos se manifiesta en reducción de velocidad en la subfase de frenado del apoyo

En el 1er paso (LZ: 103,6 ± 1,34 cm), Vf en fase de frenado fue de 2,00±0,12 m/s.

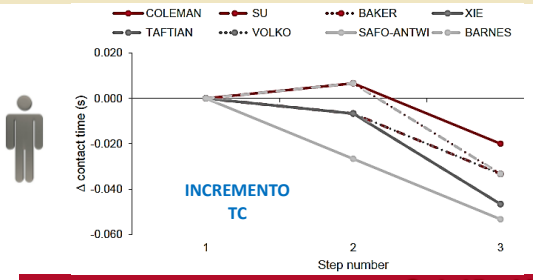
VH disminuyó 45,3 % en comparación con Vp en la fase de propulsión del 1er paso

La velocidad del 2º paso es casi idéntica a la del 1º (103,8±3,42 m/s), pero la reducción de velocidad en la fase de frenado es sustancialmente menor (1,2 %) vs. 1er paso

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Men

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas



TC (s)

1er Paso: 0.175 s ± 0.014

2º Paso: 0.171 s ± 0.014

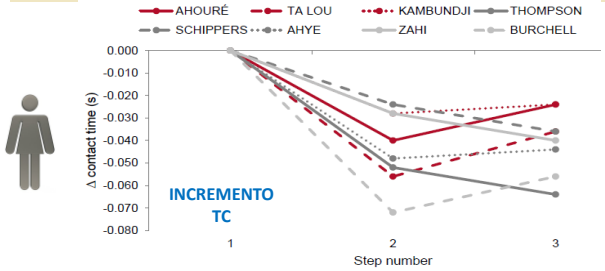
3er Paso: 0.138 s ± 0.011

Athlete	Contact time (s)		
	1st step	2nd step	3rd step
COLEMAN	0.160	0.167	0.140
SU	0.167	0.160	0.133
BAKER	0.187	0.193	0.153
XIE	0.167	0.160	0.120
TAFTIAN	0.193	0.187	0.147
VOLKO	0.160	0.153	0.127
SAFO-ANTWI	0.193	0.167	0.140
BARNES	0.173	0.180	0.140

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 MetresWomen

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas



TC (s)

1er Paso: 0.187 s ± 0.016

2º Paso: 0.143 s ± 0.014

3er Paso: 0.146 s ± 0.008

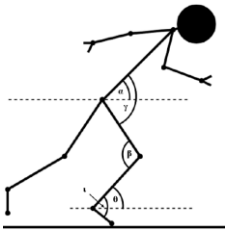
Athlete	Contact time (s)		
	1st step	2nd step	3rd step
AHOURÉ	0.180	0.140	0.156
TA LOU	0.180	0.124	0.144
KAMBUNDJI	0.168	0.140	0.144
THOMPSON	0.212	0.160	0.148
SCHIPPERS	0.176	0.152	0.140
AHYE	0.176	0.128	0.132
ZAHI	0.192	0.164	0.152
BURCHELL	0.208	0.136	0.152

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Men

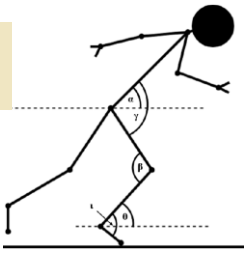
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Ángulos de articulaciones y segmentos en el punto de contacto



Athlete	Step number	Joint angle (°)				
		α	γ	β	θ	ι
COLEMAN	1	38.0	91.2	91.0	33.9	97.2
	2	41.4	85.2	90.0	47.7	98.5
	3	41.6	81.6	99.4	56.1	97.3
SU	1	36.6	81.1	78.8	32.0	80.0
	2	38.3	87.7	100.6	53.7	97.5
	3	43.7	91.6	105.6	55.7	95.0
BAKER	1	43.8	78.1	66.5	29.7	80.8
	2	48.3	87.3	93.3	57.8	91.6
	3	56.3	94.6	92.5	50.4	91.6
XIE	1	33.9	88.6	91.6	36.3	85.8
	2	39.8	96.2	104.4	52.0	94.1
	3	44.3	104.7	116.7	53.7	91.6
TAFTIAN	1	42.4	87.9	80.3	33.1	96.9
	2	46.7	88.1	92.5	55.7	93.2
	3	46.1	88.4	100.1	54.3	93.8
VOLKO	1	37.9	96.6	94.2	37.4	92.6
	2	44.7	105.0	109.1	51.7	97.0
	3	41.9	103.0	116.8	56.0	91.0
SAFO-ANTWI	1	40.0	85.1	82.5	37.5	81.9
	2	40.3	90.6	103.8	51.5	97.0
	3	43.2	91.9	106.6	54.5	97.6
BARNES	1	37.5	84.1	85.9	39.6	86.1
	2	42.3	83.3	101.7	62.1	103.1
	3	48.5	96.9	106.5	56.7	89.0

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018
60 Metres Women
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas



Ángulos de articulaciones y segmentos en el punto de contacto

Athlete	Step number	Joint angle (°)					Athlete	Step number	Joint angle (°)				
		α	γ	β	θ	ι			α	γ	β	θ	ι
AHOURÉ	1	30.7	81.1	88.8	38.3	92.7	THOMPSON	1	31.2	82.8	99.4	49.8	98.9
	2	39.8	92.6	105.2	49.6	107.4		2	43.7	100.3	111.0	54.1	96.3
	3	43.4	93.5	110.8	62.0	94.4		3	40.0	89.5	113.4	64.4	98.7
TA LOU	1	30.9	101.5	114.2	48.8	97.8	SCHIPPERS	1	32.9	94.0	110.6	49.1	98.7
	2	39.9	94.7	108.8	48.7	97.7		2	39.6	107.2	122.5	57.4	103.7
	3	42.3	98.4	115.4	61.8	94.5		3	40.1	97.3	123.6	65.0	98.5
KAMBUNDJI	1	34.6	84.7	92.3	42.8	93.5	AHYE	1	35.3	91.2	103.9	49.1	101.3
	2	43.7	111.4	112.8	48.8	91.3		2	50.5	116.4	116.3	50.7	99.5
	3	49.8	109.2	120.3	60.9	98.5		3	46.1	114.6	134.1	66.0	107.6
							ZAHI	1	36.1	91.4	102.8	51.2	86.4
								2	43.3	91.5	114.5	63.0	90.9
								3	43.8	97.3	120.5	69.4	96.7

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018
60 Metres Men
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Distancia anteroposterior al Centro de Masa (DCM) en el Momento del Aterrizaje (TD) para los primeros tres pasos

Athlete	DCM TD (m)				
	0.12 m	1st step	-0.05 m	2nd step	-0.03 m	3rd step
COLEMAN	0.21		−0.01		−0.04
SU	0.13		−0.01		−0.04
BAKER	0.05		−0.17		−0.07
XIE	0.14		−0.01		0.07
TAFTIAN	0.15		−0.12		−0.05
VOLKO	0.17		0.02		0.00
SAFO-ANTWI	0.00		−0.04		−0.01
BARNES	0.10		−0.09		−0.07

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018
60 Metres Women
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Distancia anteroposterior al Centro de Masa (DCM) en el Momento del Aterrizaje (TD) para los primeros tres pasos

Athlete	DCM TD (m)					
	0.06 m	1st step	0.06 m	2nd step	-0.08 m	3rd step
AHOURÉ	0.12		0.08		−0.11	
TA LOU	0.11		0.11		−0.05	
KAMBUNDJI	0.08		0.09		−0.02	
THOMPSON	0.01		−0.03		−0.11	
SCHIPPERS	0.11		0.03		−0.07	
AHYE	0.07		0.10		−0.03	
ZAHI	0.00		−0.07		−0.16	
BURCHELL	0.01		0.13		−0.05	

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018
60 Metres Men
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Distancia anteroposterior al Centro de Masa (DCM) en el Despegue (TO) para los primeros tres pasos

Athlete	DCM TO (m)					
	0.87 m	1st step	0.84 m	2nd step	0.81 m	3rd step
COLEMAN	0.90		0.88		0.82	
SU	0.87		0.83		0.80	
BAKER	0.89		0.87		0.89	
XIE	0.84		0.81		0.78	
TAFTIAN	0.90		0.86		0.83	
VOLKO	0.81		0.81		0.74	
SAFO-ANTWI	0.87		0.81		0.81	
BARNES	0.87		0.87		0.80	

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018

60 Metres Women

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

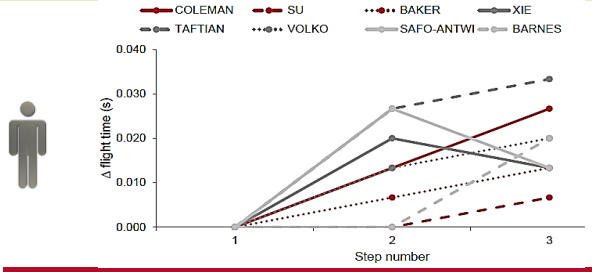
Distancia anteroposterior al Centro de Masa (DCM) en el Despegue (TO) para los primeros tres pasos

Athlete	DCM TO (m)					
	0.87 m	1st step	0.73 m	2nd step	0.87 m	3rd step
AHOURÉ		0.80		0.69		0.75
TA LOU		0.68		0.68		0.70
KAMBUNDJI		0.73		0.76		0.69
THOMPSON		0.74		0.73		0.68
SCHIPPERS		0.74		0.72		0.71
AHYE		0.75		0.69		0.66
ZAHI		0.73		0.72		0.68
BURCHELL		0.67		0.67		0.67

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018.

60 Metres Men

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

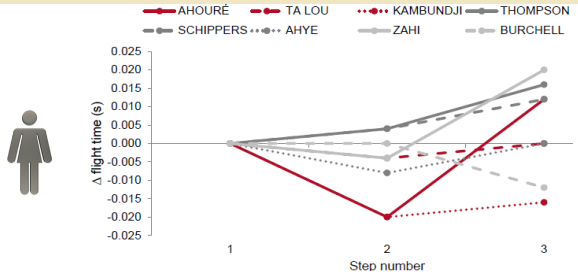


Athlete	Flight time (s)					
	0.041 s	1st step	0.056 s	2nd step	0.050 s	3rd step
COLEMAN		0.047		0.060		0.073
SU		0.047		0.047		0.053
BAKER		0.033		0.040		0.047
XIE		0.060		0.080		0.073
TAFTIAN		0.027		0.053		0.060
VOLKO		0.053		0.067		0.073
SAFO-ANTWI		0.033		0.060		0.047
BARNES		0.053		0.053		0.073

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018.

60 Metres Women

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas



Athlete	Flight time (s)					
	0.068 s	1st step	0.062 s	2nd step	0.072 s	3rd step
AHOURÉ		0.064		0.044		0.076
TA LOU		0.072		0.068		0.072
KAMBUNDJI		0.076		0.056		0.060
THOMPSON		0.044		0.048		0.060
SCHIPPERS		0.064		0.068		0.076
AHYE		0.088		0.080		0.088
ZAHI		0.064		0.060		0.084
BURCHELL		0.072		0.072		0.060

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018.

60 Metres Men

Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Athlete	Variable	1st step	2nd step	3rd step
COLEMAN	Step length (m)	1.19	1.35	1.44
	Step frequency (Hz)	4.84	4.41	4.69
SU	Step length (m)	1.18	1.18	1.42
	Step frequency (Hz)	4.69	4.84	5.36
BAKER	Step length (m)	1.29	1.24	1.46
	Step frequency (Hz)	4.55	4.29	5.00
XIE	Step length (m)	1.18	1.24	1.36
	Step frequency (Hz)	4.41	4.17	5.17
TAFTIAN	Step length (m)	1.15	1.26	1.41
	Step frequency (Hz)	4.55	4.17	4.84
VOLKO	Step length (m)	1.08	1.22	1.23
	Step frequency (Hz)	4.69	4.55	5.00
SAFO-ANTWI	Step length (m)	1.12	1.24	1.37
	Step frequency (Hz)	4.41	4.41	5.36
BARNES	Step length (m)	1.28	1.32	1.57
	Step frequency (Hz)	4.41	4.29	4.69

LZ (m)

1er Paso: 1.184 m ± 0.07

2º Paso: 1.256 m ± 0.05

3er Paso: 1.383 m ± 0.07

FZ (Hz)

1er Paso: 4.569 Hz ± 0.16

2º Paso: 4.391 Hz ± 0.22

3er Paso: 5.014 Hz ± 0.27

Biomechanical Report for the World Indoor Championships. Birmingham 2018.
60 Metres Women
Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgos Paradisis, Ian Bezodis & Athanassios Bissas

Athlete	Variable	1st step	2nd step	3rd step
AHOURÉ	Step length (m)	1.03	1.01	1.30
	Step frequency (Hz)	4.10	5.43	4.31
TA LOU	Step length (m)	0.85	1.10	1.24
	Step frequency (Hz)	3.97	5.21	4.63
KAMBUNDJI	Step length (m)	0.93	1.14	1.21
	Step frequency (Hz)	4.10	5.10	4.90
THOMPSON	Step length (m)	0.96	1.07	1.22
	Step frequency (Hz)	3.91	4.81	4.81
SCHIPPERS	Step length (m)	0.97	1.11	1.16
	Step frequency (Hz)	4.17	4.55	4.63
AHYE	Step length (m)	1.04	1.14	1.25
	Step frequency (Hz)	3.79	4.81	4.55
ZAHI	Step length (m)	1.10	1.20	1.16
	Step frequency (Hz)	3.91	4.46	4.24
BURCHELL	Step length (m)	0.91	1.10	1.22
	Step frequency (Hz)	3.57	4.81	4.72

LZ (m)

1er Paso: 0.974 m ± 0.08

2º Paso: 1.111 m ± 0.06

3er Paso: 1.220 m ± 0.05

FZ (Hz)

1er Paso: 3.940 Hz ± 0.20

2º Paso: 4.898 Hz ± 0.33

3er Paso: 4.498 Hz 0.23

Stride and Step Length Obtained with Inertial Measurement Units during

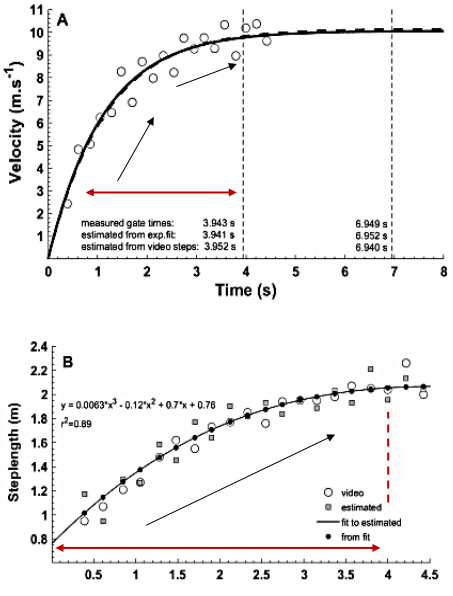
Maximal Sprint Acceleration

Cornelis J. de Ruiter & Jaap H. van Dieën

Sports
7(9), 02; https://doi.org/10.3390/sports7090202. 2019.

Durante la aceleración, la Longitud de Zancada, Frecuencia de Zancada, Tiempo de Contacto y Tiempo de Vuelo, son variables claves a tener en cuenta para que los entrenadores los mejoren y guíen el proceso de entrenamiento y el desarrollo técnico de sus atletas

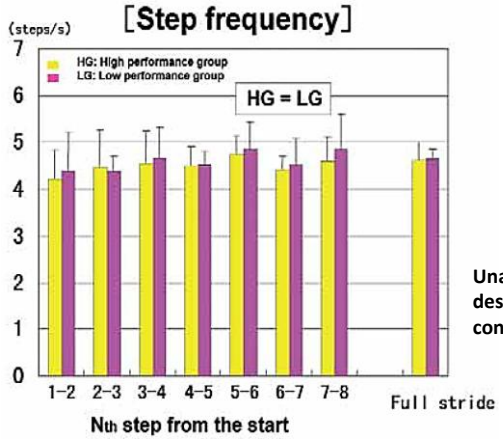
LZ aumenta con el aumento de la Velocidad de Carrera hasta que el Corredor alcanza su Máxima Velocidad

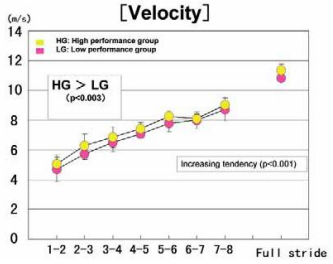


Changes in the step width, step length, and step frequency of the world's top sprinters during the 100 metres

Akira Ito, Masaki Ishikawa, Juha Isolehto, Paavo V. Komi
New Studies in Athletics, 21(3), 35-39. 2006.

MUESTRA: 18 Velocistas Masculinos
HG: 9 corredores (10.12-10.32 s) – LG: 10.40-10.90 s)
10th IAAF World Championships in Athletics. Helsinki (Finlandia). 2005.





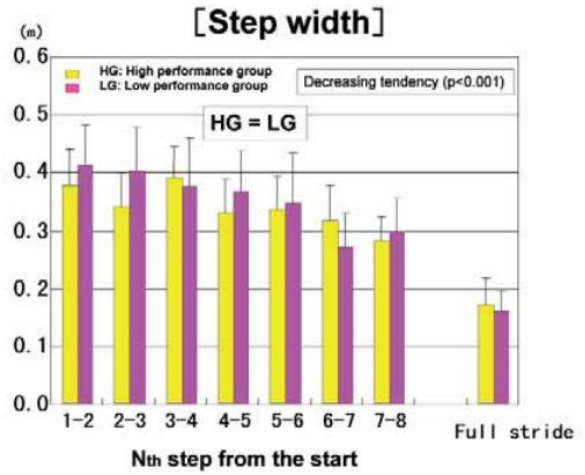
Una LZ amplia puede ser la más adecuada para desarrollar la fuerza impulsora durante los largos contactos del pie en la fase de aceleración.

Una LZ no muy elevada puede ser la mejor para los cortos TC en el sprint a Máxima Velocidad.

Changes in the step width, step length, and step frequency of the world's top sprinters during the 100 metres

Akira Ito, Masaki Ishikawa, Juha Isolehto, Paavo V. Komi
New Studies in Athletics, 21(3), 35-39. 2006.

MUESTRA: 18 Velocistas Masculinos
HG: 9 corredores (10.12-10.32 s) – LG: 10.40-10.90 s)
10th IAAF World Championships in Athletics. Helsinki (Finlandia). 2005.



Changes in the step width, step length, and step frequency of the world's top sprinters during the 100 metres

Akira Ito, Masaki Ishikawa, Juha Isolehto, Paavo V. Komi
New Studies in Athletics, 21(3), 35-39. 2006.

MUESTRA: 18 Velocistas Masculinos
HG: 9 corredores (10.12-10.32 s) – LG: 9 corredores (10.40-10.90 s)
10th IAAF World Championships in Athletics. Helsinki (Finlandia). 2005.

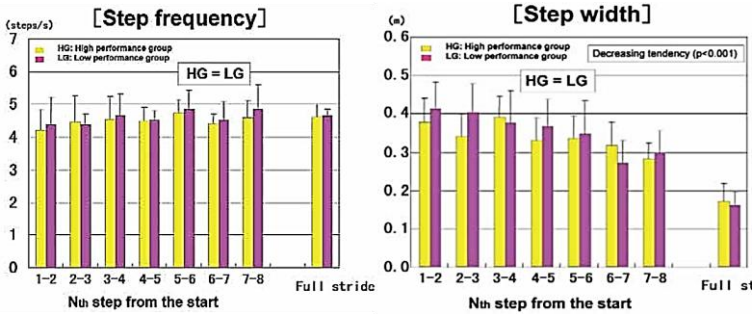
LZ aumentó gradualmente durante la fase inicial de aceleración

Los patrones de aumento fueron similares en ambos grupos

Los mejores presentan mayor LZ durante la fase de aceleración

Lo mismo ocurrió con LZ a Vmax, (0,12 ± 0,03 m, mayor (p < 0,003) en el HG que en el LG)

FZ se mantuvo prácticamente al mismo nivel (4,56 ± 0,16 pasos/s) en las fases de aceleración y máxima velocidad, sin observarse diferencias entre los grupos



Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

1

Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

VELOCIDAD Y ACELERACIÓN EN LOS PRIMEROS APOYOS DE CARRERA

LZ aumenta durante la FASE DE ACELERACIÓN, mientras que la FZ se estabiliza casi instantáneamente al máximo posible

Normalmente, la FZ alcanza sus valores máximos rápidamente (≈4 Hz) (80 % en 1er paso y ≈90 % después del 3er paso)

LZ de primeros pasos es variable entre los velocistas, oscilando entre:
0,820 y 1,068 m (mujeres) o 0,850 y 1,371 m (hombres) en el 1er paso,
y 1,060 y 1,30 m (mujeres) o 1,053 y 2,100 m (hombres) en el 2º paso

A pesar de esta variabilidad, la LZ tiende a ser mayor entre los velocistas más rápidos, particularmente en el 1er paso mostrando un aumento de ≈14 cm por cada 1 segundo menos en el registro sobre 100m
1,371±0,090 vs. 1,208 ± 0,087 m; 1,30±0,51 vs.1,06±0,60 m;
1,135±0,025 vs. 0,968±0,162 m

Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

2

TIEMPO DE CONTACTO EN LOS PRIMEROS APOYOS DE CARRERA

TIEMPOS DE CONTACTO: tendencia a asumir largos TC en los 2 primeros pasos
TC- Diamond League: 0,210 s (H) vs. 0,225 s (M)
TC velocistas júnior italianos : 0,176 (H) vs. 0,166 s (M)

TIEMPOS DE VUELO: Nivel Mundial: 0,045 s & Nivel Élite: 0,064 s), para el 1er vuelo

Esta estrategia permite a velocistas de alto nivel optimizar el tiempo durante el cual se puede generar fuerza de propulsión, minimizando el tiempo empleado en vuelo donde no se puede generar fuerza

Velocistas Élite tienen una resultante horizontal del CM 5,8% mayor que velocistas bien entrenados al final del 1er paso (4,69±0,15 m/s vs. 4,42±0,11 m/s para velocistas de élite)

Velocistas de Alto Nivel también muestran velocidades verticales ligeramente inferiores y ángulos de proyección del CM más horizontales al final de las 2 primeras fases de apoyo

Durante el 1er y 2º paso, la articulación del tobillo experimenta dorsiflexión durante la primera mitad de la postura (17º±3° & 18º±3° para 1er y 2º paso) y posteriormente un movimiento de flexión plantar (45º±6° & 44º±5° para 1er y 2º paso

Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review

Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

3

ARTICULACIÓN DEL TOBILLO EN LOS PRIMEROS APOYOS DE CARRERA

El tobillo se flexiona dorsalmente en 1ª mitad del apoyo para después realizar la flexión plantar hasta despegar del suelo
Tobillo se encuentra en flexión dorsal al inicio del contacto
(1er apoyo: 70,6º±5,8°; 2º apoyo: 72,4º±7,1°)

Durante 1er y 2º paso, tobillo presenta flexión dorsal durante la primera mitad del apoyo
(17º±3° & 18º±3° para el primer y segundo paso)

Posteriormente, realiza un movimiento de flexión plantar
(45º±6° & 44º±5° para 1er y 2º paso)

Una reducción en la flexión dorsal al iniciar el apoyo requiere momentos flexores plantares elevados y se ha asociado con aumentos en la Potencia del 1er apoyo
La flexión plantar máxima se produce inmediatamente después del despegue
(111,3° en 1er paso y 107,1° en el 2º)

La extensión de ambas rodillas se produce tras la salida del bloque y alcanza su máximo al inicio de fase de vuelo, con mayor extensión en pierna delantera que en trasera
(Trasera: 134,9º±11,2°; Delantera: 177,4º±5,2°)

The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review
Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher& Aki Ilkka Tapio Salo
Sports Medicine, 49(9), 1345-1364. 2019.

- **En ♂ y ♀ de *LIGA DIAMANTE* (H: 10,03 s; M: 11,10 s), la primera fase de vuelo dura 0,045±0,025 s, y LZ del 1er paso es de 1,14 m (H) y 1,07 m (M).**
- **Estas LZ son mayores que las de los grupos de velocistas de menor nivel (H: 10,74 s; M: 11,95 s (0,97 y 0,95 m).**
- **También se observan anchos de paso medio-laterales >0,3 m durante el 1er paso. Restringir el ancho del paso de salida puede reducir la producción de impulso propulsivo horizontal (≈0,05 m/s) durante la primera fase de apoyo.**
- **Se suelen observar FZ de ≈4 Hz inmediatamente después de la salida.**
  - Las FZ desde el primer vuelo y la posición de apoyo, alcanzan ≈90-95 % de los valores que se alcanzan durante la fase de velocidad máxima.
- **Los TC son de 0,210 s (H) y 0,225 s (M), superiores a los de atletas de nivel inferior (0,176 & 0,166 s).**
  - Aunque no es deseable un TC prolongado a máxima velocidad, unos TV de salida más cortos y unos TC más largos aumentarían el tiempo durante el cual se puede generar fuerza de propulsión en este período de alta aceleración y reducirían el TV donde no se puede generar fuerza.

The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review
Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher& Aki Ilkka Tapio Salo
Sports Medicine, 49(9), 1345-1364. 2019.

MUESTRA: ♂ y ♀ de LIGA DIAMANTE (H: 10,03 s; M: 11,10 s)

La primera fase de vuelo dura 0,045±0,025 s, y LZ es de 1,14 m (H) y 1,07 m (M)

- En el primer contacto, los mejores velocistas suelen aterrizar con la proyección del CM más adelantado que el pie.
- A medida que avanza el sprint, esa situación se modifica.
- Independientemente del punto del pie que se mida, el CM se encontrará detrás del pie de apoyo a partir del tercer contacto.



Probablemente exista una relación curvilínea entre la distancia de contacto y la potencia en la fase de apoyo. Esto se debe a la incapacidad de producir una fuerza resultante de magnitud suficiente con el pie más atrás del CM y a la incapacidad de dirigir esta fuerza en la dirección horizontal requerida con el pie menos atrás del CM.

The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review
Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher& Aki Ilkka Tapio Salo
Sports Medicine, 49(9), 1345-1364. 2019.

1

MUESTRA: ♂ y ♀ de LIGA DIAMANTE
(H: 10,03 s; M: 11,10 s)

La primera fase de vuelo dura 0,045±0,025 s
LZ es de 1,14 m (H) y 1,07 m (M)

Secuencia de velocidades angulares de las articulaciones de cadera, rodilla, tobillo y articulación metatarsofalángica (MTF) de la pierna en apoyo durante la primera fase de apoyo

La articulación MTF se dorsiflexiona durante el 1er 10-15% del apoyo, pero luego permanece relativamente estable hasta el ≈60-65% del apoyo, tras lo cual se produce una mayor dorsiflexión seguida de una rápida flexión plantar (500°/s), que alcanza su punto máximo alrededor del despegue

Tras el contacto con el suelo, el tobillo se dorsiflexiona durante el primer 40% del apoyo, y luego hace flexión plantar continuamente hacia el despegue y más

The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review
Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher& Aki Ilkka Tapio Salo
Sports Medicine, 49(9), 1345-1364. 2019.

2

MUESTRA: ♂ y ♀ de LIGA DIAMANTE
(H: 10,03 s; M: 11,10 s)

La primera fase de vuelo dura 0,045±0,025 s
LZ es de 1,14 m (H) y 1,07 m (M)

La rodilla de pierna de apoyo se extiende desde el inicio del contacto.

Esto difiere de las fases posteriores de aceleración y velocidad máxima, donde hay una fase inicial de flexión de rodilla durante la fase de apoyo.

El paso en el que se produce la primera flexión de la rodilla en apoyo (tercero al sexto) está estrechamente relacionado con una primera transición en el ascenso de la altura del CM tras la salida del bloqueo y, por lo tanto, esta acción a durante la fase inicial de apoyo puede influir en el ascenso del CM durante la aceleración inicial.

La rodilla de la pierna de apoyo continúa extendiéndose durante la mayor parte del apoyo hasta alcanzar ángulos de extensión máximos de alrededor de 160-170°, pero no alcanza la extensión completa, probablemente debido a restricciones geométricas y anatómicas.

The biomechanics of the track and field sprint start: a narrative review
Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher& Aki Ilkka Tapio Salo
Sports Medicine, 49(9), 1345-1364. 2019.

3

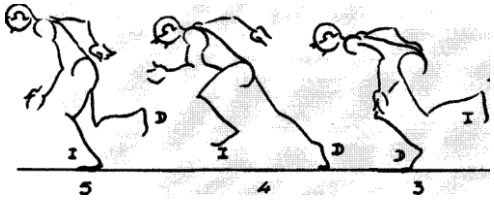
MUESTRA: ♂ y ♀ de LIGA DIAMANTE (H: 10,03 s; M: 11,10 s)

La primera fase de vuelo dura 0,045±0,025 s, y LZ es de 1,14 m (H) y 1,07 m (M)

Secuencia de velocidades angulares de cadera y tronco de la pierna en apoyo durante la primera fase de carrera

Durante la salida se produce una extensión del tronco considerable y, aunque continúa durante cada una de las dos primeras fases de los apoyos, se ve anulada en gran medida por una flexión lumbar durante las fases de vuelo.

Por lo tanto, los aumentos del ángulo del tronco observados a lo largo de la fase de aceleración, parecen deberse principalmente a una pelvis gradualmente menos inclinada anteriormente (anteversión) en los 2 primeros pasos.



Biomechanical performance factors in the track and field sprint start: a systematic review
Valamatos M.J., Abrantes J.M., Carnide F., Valamatos M.J. & Monteiro C.P.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(7), 4074. 2022.

Si el velocista aumenta su impulso anteroposterior (FI = fuerza × tiempo) por un tiempo de empuje más largo, disminuye su aceleración y rendimiento los primeros 5 y 10 m

Los diferentes estudios muestran:

Velocidades de salida más altas:
(3,38±0,10 *vs*.3,19±0,19 m/s; 3,48±0,05 *vs*. 3,24±0,18 m/s; 3,61±0,08 *vs*. 3,17±0,19 m/s; 3,36±0,15 *vs*. 3,16±0,18 m/s)

Mayores aceleraciones:
(9,5 *vs*. 8,8 m/s^2; 8,2 *vs*. 7,9 m/s^2; 9,72 *vs*. 8,4 m/s^2; 7,47 *vs*. 7,35 m/s^2)

El patrón articular de las extremidades inferiores durante la fase de empuje se asocia principalmente con movimientos de extensión, especialmente en caderas y rodillas

Articulaciones de piernas delanteras suelen extenderse a través de un ROM considerable en un patrón de extensión proximal-distal, alcanzando su máximo al comienzo de la fase de vuelo (p. ej., **Cadera**: 183,2º±6,8°; **Rodilla**: 177,4º±5,2°; **Tobillo**: 133,1º±6,7°)

Por el contrario, la pierna trasera no muestra el mismo comportamiento de extensión proximal a distal, con la rodilla alcanzando su velocidad angular máxima antes que la cadera y el tobillo.

El movimiento de los tobillos es más complejo porque implica primero una dorsiflexión y después una extensión que resulta en un ciclo de estiramiento-acortamiento del músculo tríceps sural.

La duración de la flexión del tobillo es mayor para el tobillo trasero (50% de la fase de bloqueo) que para el tobillo delantero (20% de la fase de bloqueo).

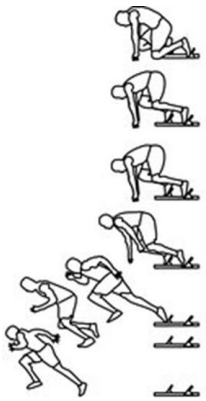
A biomechanical study of the sprint start

Mero, A., Luhtanen, P. & Komi, P. V.

Scandinavian Journal of Sports Science, 5(1), 20-28. 1983.

Al comienzo de los 2 primeros apoyos, CM se encuentra por delante del punto de contacto del pie con el suelo

- Si la posición horizontal del primer pie que contacta con el suelo tras el despeje, es posterior al CM en dirección anteroposterior, el velocista puede maximizar inmediatamente la producción de fuerza horizontal.
- Al comienzo del la 3er apoyo, el CM ya se encuentra detrás del punto de contacto
- Durante las fases iniciales de contacto con el suelo, el CM cae verticalmente. Este desplazamiento vertical reduce la FZ debido al aumento del TC con el suelo que, a su vez, reduce la velocidad de carrera
- Los velocistas élite presentan un desplazamiento vertical negativo reducido durante la fase excéntrica de la primera fase de apoyo (0,017±0,016 m), en comparación con los velocistas más lentos (0,027±0,014 m)



FASE DE ACELERACIÓN

FASE DE FRECUENCIA

ACCELERATIVE CAPACITY IN SPORT

Isidoro Hornillos Baz

I Congreso Internacional de Atletismo de la UCAM - Área de Rendimiento

UCAM Murcia (España). 2010.

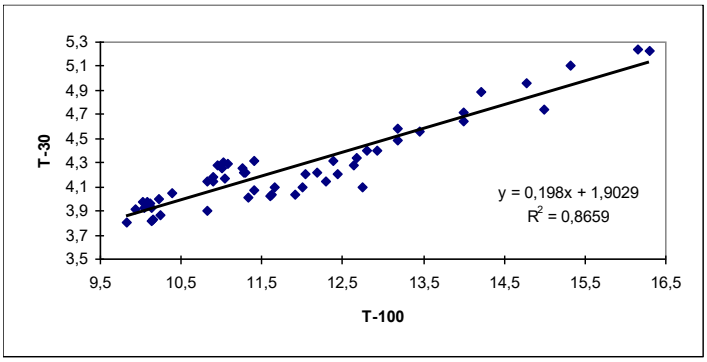
La aceleración es la magnitud física que mide la tasa de incremento de la velocidad respecto del tiempo, en metros/seg²

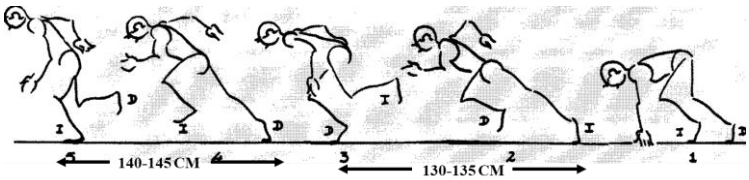
Para ello se precisa de la aplicación de fuerza, bien hacia el propio cuerpo, con el objeto de provocar un desplazamiento, o hacia un artefacto a través de la velocidad gestual, con la intención de arrojarlo a la mayor distancia o velocidad posible

Representa una combinación de la velocidad pura y la fuerza

FASE DE ACELERACIÓN COMPLETA

FASE FUERZA & FASE FRECUENCIA





A mathematical model of the 100 m and what it means

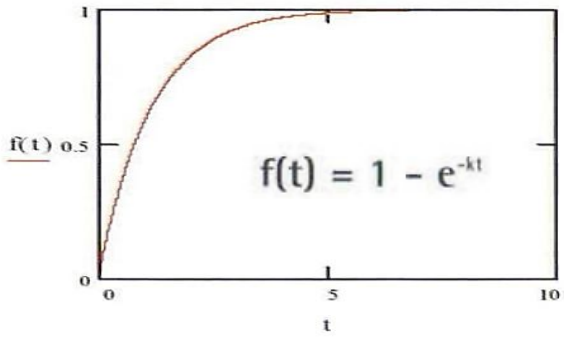
Kevin Prendergast

New Studies in Athletics, 16(3), 31-36 2001

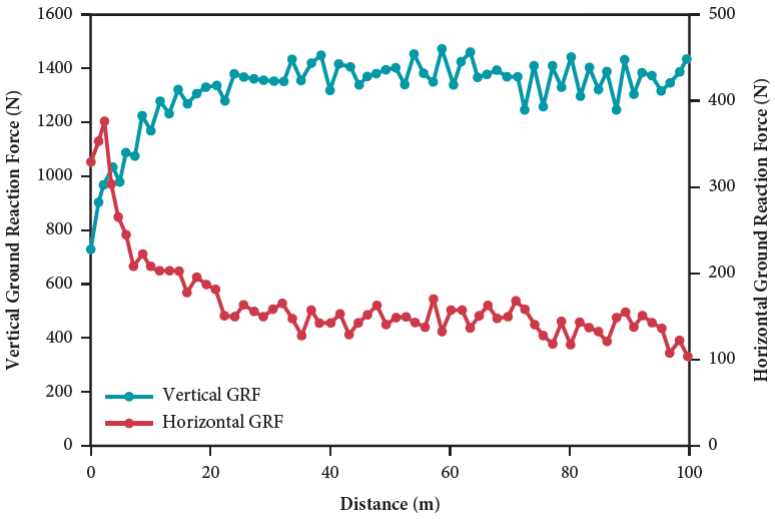
Existe una función matemática que describe la 1ª parte de la carrera en términos de velocidad

Es una función exponencial, es decir, contiene el número *e* (≈2,718), que se utiliza para describir el crecimiento o la disminución de la Velocidad

FASE DE ACELERACIÓN



Sprint running performance:
Comparison between treadmill and field conditions
Jean-Benoit Morin & Pierrick Sève
European Journal of Applied Physiology, 111, 1695–1703. 2011.



Atlanta 1996

FASE DE ACELERACIÓN DE LA FINAL DE FINAL 100 METROS MASCULINOS JJ.OO. DE ATLANTA 1996



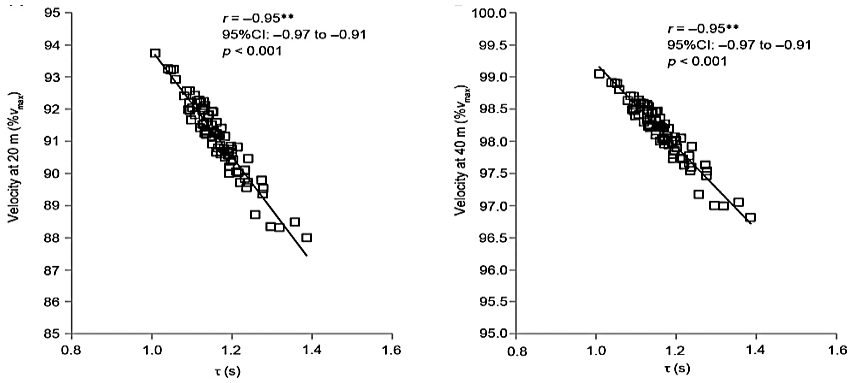


	DONOVAN BAILEY	FRANK FREDERICKS	ATO BOLDON	DENNIS MITCHELL
10 m	18.94 km/h	19.88 km/h	19.35 km/h	19.67 km/h
20 m	34.61 km/h	33.86 km/h	34.61 km/h	34.61 km/h
30 m	39.13 km/h	39.13 km/h	39.13 km/h	38.29 km/h
40 m	40.90 km/h	40.00 km/h	40.80 km/h	40.00 km/h
50 m	42.85 km/h	41.86 km/h	40.90 km/h	40.90 km/h
60 m	42.95 km/h	41.86 km/h	42.85 km/h	41.86 km/h

Profiling elite male 100-m sprint performance:
The role of maximum velocity and relative acceleration
Robin Healy, Ian C. Kenny & Andrew J. Harrison
Journal of Sport and Health Science, 11, 75-84. 2022.

Relación entre *Tiempo de carrera*, Velocidad a 20 m y 40 m y velocidad promedio en 0-20 m y 20-40 m

Se encuentran correlaciones negativas significativas, entre *t (tiempo de aceleración) y:* la velocidad a 20 m (R=-0.95; p<0.01) y 40 m (R=-0.95; p<0.01), y la velocidad promedio en el tramo de 20 a 40 m



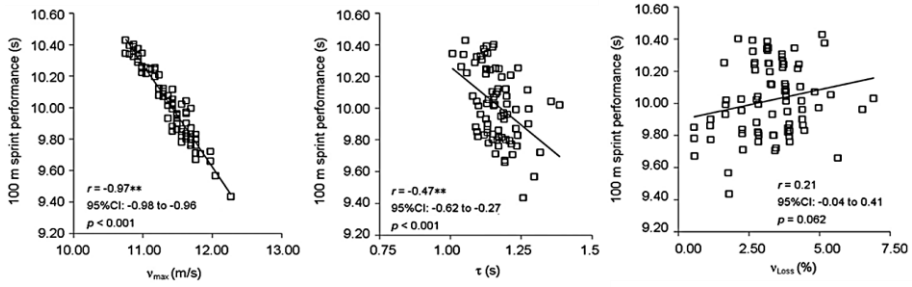
Profiling elite male 100-m sprint performance:
The role of maximum velocity and relative acceleration
Robin Healy, Ian C. Kenny & Andrew J. Harrison
Journal of Sport and Health Science, 11, 75-84. 2022.

Relación entre el rendimiento en el sprint de 100 m, Vmax, *t* y vLoss

Se encontraron correlaciones negativas significativas entre el rendimiento en el sprint de 100 m, la vmáx (R=-0.97; p<0.001) y *t* (R=-0.47; p<0.001)

No se encontró una relación significativa entre el rendimiento en 100 m y vLoss

Se encontró una correlación positiva significativa y muy alta entre el rendimiento en 100 m y t (r = 0,86; IC del 95 %: 0,78-0,91; p < 0,001), mientras que la correlación entre el rendimiento en el sprint de 100 m y la vLoss no fue significativa (r = 0,14; IC del 95 %: 0,10-0,37; p = 0,220)



EJEMPLOS DE FASES DE ACELERACIÓN EN ATLETAS DE MÁXIMO NIVEL

Atleta	Variable	10 mts	20 mts	30 mts	40 mts	50 mts	60 mts
Lewis 1988	Velocidad	5.29	9.35	10.64	11.24	11.63	12.05
	% Velocidad	43.90%	77.59%	88.30%	93.28%	96.51%	100%
Johnson 1988	Velocidad	5.46	9.62	10.75	11.63	11.90	12.05
	% Velocidad	45.31%	79.83%	89.21%	96.51%	98.76%	100
Burrel 1991	Velocidad	5.46	9.71	10.99	11.49	11.76	11.76
	% Velocidad	46.95%	82.52%	82.52%	93.41%	100%	100%
Bailey 1997	Velocidad	5.62	9.09	10.00	11.11	12.05	12.05
	% Velocidad	47.45%	72.72%	80.00%	88.88%	100%	100%
Green 1999	Velocidad	5.79	9.71	10.87	11.36	11.63	11.90
	% Velocidad	49.23%	81.60%	91.34%	95.46%	97.73%	100%
Surin 1999	Velocidad	5.70	10.00	10.99	11.24	11.76	11.76
	% Velocidad	48.47%	85.03%	93.45%	95.58%	100%	100%
Bolt 2008	Velocidad	5.41	9.61	11.11	11.76	11.91	12.19
	% Velocidad	44.38%	78.84%	91.14%	96.47%	97.70%	100%
Bolt 2008	Velocidad	5.36	9.62	11.11	11.49	11.76	12.19
	% Velocidad	43.97%	78.92%	91.14%	94.26%	96.47%	100%
Griffjth1 988	Velocidad	5.00	9.17	10.00	10.53	10.75	10.87
	% Velocidad	46.00%	84.36%	92.00%	96.87%	99.00%	100%

V_x correspondiente a tramos de 10 metros de carrera hasta los 60 metros

Multicomponent Velocity Measurement for Linear Sprinting: Usain Bolt's 100 m World-Record Analysis



Stanislav Štuhec, Peter Planjšek, Milan Coh & Krzysztof Mackala
Bioengineering, 10, 1254. https://doi.org/10.3390/bioengineering10111254. 2023

Valor más alto de aceleración se registró en primeros 10 m y superó a los segundos 10 m en 2 m/s²
La disminución de la aceleración entre tramos se prolongó hasta 50 m, donde fue de 0 m/s²

Cabe destacar que, hasta 60 m, la velocidad al final de cada tramo de 10 m fue superior a la media de dicho tramo. Por ejemplo, en 60 m, la velocidad final fue 0,22 m/s superior al promedio

La tendencia cambia a partir de 70 m

Los últimos 10 m de la carrera tuvieron la misma velocidad máxima de 11,11 m/s

Por lo tanto, observamos que, después de 50 m de carrera, Bolt entró en la fase de velocidad máxima.

Recorrido de Aceleración y Velocidad Máxima dividido en tramos de 10 m

Distance (m)	Acceleration on the Point (m/s^2)	Average Acceleration between 10 m Sections (m/s^2)	Velocity on the Point (m/s)	Average Velocity between 10 m Sections (m/s)	Time on the Point (s)	Time between 10 m Sections (s)
10	2.600	3.900	9.12	6.80	1.46	1.46
20	0.700	1.900	10.60	10.17	2.45	0.99
30	0.600	0.975	11.46	11.12	3.35	0.90
40	0.600	0.513	11.95	11.71	4.29	0.85

Evolution of stride and amplitude during course ofthe 100 m event in athletics

Gajer, B., Thepaut-Mathieu, C., & Lehenaff, D.

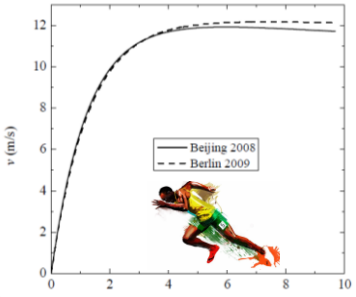
New Studies in Athletics, 14(1), 43-50. 1999.

Comparación del Tiempo y la Velocidad durante la Fase de Aceleración en corredores de diferente nivel

Nivel	MM: 9.96 ± 0.09 s	MM: 10.18 ± 0.05 s	10.52 ± 0.08 s
T/D	TR_i	TR_i	TR_i
0 m	0.133 s	0.170 s	0.192
10 m	1.74 s - 5.75 m/s	1.76 s – 5.68 m/s	1.77 s - 5.65 m/s
20 m	1.04 s – 9.62 m/s	1.07 s – 9.35 m/s	1.08 s – 9.26 m/s
30 m	0.93 s – 10.75 m/s	0.96 s – 10.42 m/s	0.97 s – 10.31 m/s
40 m	0.88 s – 11.36 m/s	0.92 s – 10.87 m/s	0.94 s – 10.64 m/s
50 m	0.87 s – 11.49 m/s	0.90 s – 11.11 m/s	0.92 s – 11.11 m/s

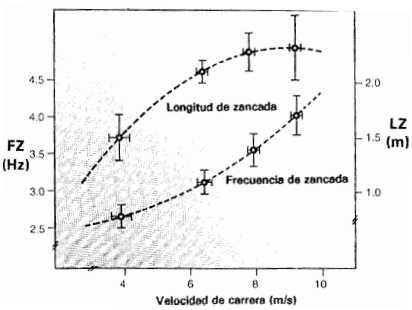
	Split times (s)			
Distances (m)	Beijing 2008	Fitted	Berlin 2009	Fitted
10	1.85	1.91	1.89	1.91
20	2.87	2.88	2.88	2.89
30	3.78	3.77	3.78	3.78
40	4.65	4.63	4.64	4.63
50	5.50	5.47	5.47	5.46
60	6.32	6.31	6.29	6.29
70	7.14	7.15	7.10	7.11
80	7.96	7.95	7.92	7.93
90	8.79	8.84	8.75	8.76
100	9.69	9.69	9.58	9.58
Reaction time	0.165		0.146	

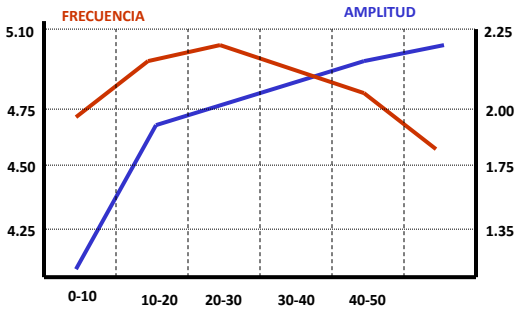
USAIN BOLT



Parameters	2008	2009
a	12.49(3) m/s	12.43(3) m/s
b	0.081(4) m/s^{-2}	0.032(3) m/s^{-2}
c	0.814(4) s^{-1}	0.783(3) s^{-1}

AMPLITUD Y FRECUENCIA DE ZANCADA EN LA FASE DE ACELERACIÓN





Tronco: Se orienta progresivamente hasta la vertical(≈20 mts)

Amplitud: Aumenta progresivamente hasta alcanzar la máxima velocidad. En ese momento tiende a estabilizarse e incrementar nuevamente con la pérdida de velocidad.

Frecuencia: Aumenta hasta los 20-30 metros (≈7-8 m/s). Especialmente en los primeros 15 mts. El mayor incremento de la frecuencia se da hasta alcanzar velocidades de 7-8 m/s.

Fase Apoyo: Disminuye con el incremento de la velocidad. Fase de frenado aumenta. En valores relativos (10-15% TC hasta 40-45% TC)

Fase Vuelo: Aumenta con el incremento de la velocidad (ratio deseada: 0.080/0.120 ms.).

Fuerzas Resultantes: Inicialmente F_h: 40-45% F_v: 10-15% de la equivalente a Máxima Velocidad.

The biomechanical model of the sprint start and block acceleration

Čoh, M., Tomažin, K., & Štuhec, S.
Facta Universitatis: Series Physical Education & Sport, 4(2). 2006.

TC promedio de los primeros 10 pasos: 126,40±1,52 ms – **TV**: 94,20±4,76 ms

El **Índice de Actividad** (TC/TV) fue de 1,34 ± 0,11, lo que sugiere que las fases de contacto duraron un ≈25 % más, que las fases de vuelo en los primeros 10 pasos de la aceleración

Variable	Unit	1	2	3	4	5	AS SD
20M SPRINT	**s**	**3.08**	**2.98**	**3.07**	**3.03**	**3.19**	**3.07 ± 0.08**
Step number	n	12	12	12	12	12	12.00 ± 0.00
Step frequency	Hz	4.5	4.4	4.6	4.6	4.6	4.54 ± 0.09
Step length	cm	165	166	162	163	163	163.80 ± 1.64
Ground contact time	ms	125	126	126	126	129	126.40 ± 1.52
Flight time	ms	96	100	93	95	87	94.20 ± 4.76
Activity index – contact/flight		1.30	1.26	1.35	1.32	1.48	1.34 ± 0.11
STEP ONE							
Length	cm	103	103	103	103	106	103.60 ± 1.34
Ground contact time	ms	172	178	184	167	185	177.20 ± 7.73
Flight time	ms	62	37	56	55	43	50.60 ±10.26
STEP TWO							
Length	cm	99	105	108	102	105	103.80 ± 3.42
Ground contact time	ms	142	179	154	154	166	159.00 ± 9.04
Flight time	ms	86	80	80	92	74	82.40 ± 6.84
STEP THREE							
Length	cm	133	136	130	130	133	132.40 ± 2.51
Ground contact time	ms	141	129	135	129	148	136.40 ± 8.17
Flight time	ms	80	92	86	80	73	82.20 ± 7.16
STEP FOUR							
Step length	cm	136	140	143	136	133	137.60 ± 3.91
Ground contact time	ms	130	130	130	136	130	131.20± 2.68
Flight time	ms	110	92	104	92	98	99.20 ± 7.82
STEP FIVE							
Step length	cm	158	155	158	158	158	157.40 ± 1.34
Ground contact time	ms	111	129	123	123	117	120.60 ± 6.84
Flight time	ms	86	86	93	87	92	88.80 ± 3.42

Variable	Unit	1	2	3	4	5	AS SD
STEP SIX							
Step length	cm	155	164	164	161	158	160.40 ±3.94
Ground contact time	ms	117	130	129	123	117	123.20 ± 6.26
Flight time	ms	99	98	92	98	105	98.40 ± 4.62
STEP SEVEN							
Step length	cm	171	177	180	174	177	175.80 ± 3.42
Ground contact time	ms	129	117	117	123	117	120.60 ± 5.37
Flight time	ms	86	111	111	93	105	101.20 ± 11.23
STEP EIGHT							
Step length	cm	177	192	186	183	183	184.20 ± 5.45
Ground contact time	ms	117	111	105	117	110	112.00 ± 5.10
Flight time	ms	111	117	117	104	111	112.00 ± 0.09
STEP NINE							
Step length	cm	186	189	192	189	189	189.00 ± 2.12
Ground contact time	ms	99	98	104	111	105	103.40 ± 5.22
Flight time	ms	92	111	111	105	105	104.80 ± 7.76
STEP TEN							
Step length	cm	186	196	199	196	196	194.60 ± 4.98
Ground contact time	ms	117	105	111	110	110	110.60 ± 4.28
Flight time	ms	104	123	123	111	117	115.60 ± 8.17

Los resultados a muestran que el resultado promedio en un sprint de 20 m con salida baja fue de 3,07 ± 0,08 m/s

The biomechanical model of the sprint start and block acceleration

Čoh, M., Tomažin, K., & Štuhec, S.

Physical Education and Sport, 4, 103–114. 2006.

MUESTRA: Miembro de la selección nacional de la República de Eslovenia
(Edad: 27 años, PC:76,7 kg, MM100 m: 10,14 s)

Durante la Fase de Aceleración, la Longitud del Paso y la Frecuencia del Paso aumentan con cada zancada. El tiempo de Contacto en el suelo disminuye con cada paso.

Step	Step Length (m)	Step Frequency (Hz)*	Speed (m/s)	Stance Time (s)	Aerial Time (s)†
1	1.03	4.93	5.08	0.172	0.031
2	0.99	5.41	5.36	0.142	0.043
3	1.33	5.52	7.34	0.141	0.040
4	1.36	5.41	7.36	0.130	0.055
5	1.58	6.49	10.25	0.111	0.043
6	1.55	5.99	9.28	0.117	0.050
7	1.71	5.81	9.94	0.129	0.043
8	1.77	5.78	10.23	0.117	0.056
9	1.86	6.90	12.83	0.099	0.046
10	1.86	5.92	11.01	0.117	0.052

A Kinematics Analysis Of Three Best 100 M Performances Ever

Maćkała Krzysztof & Antti Mero

Journal of Human Kinetic 36, 149–160. 2013.

Parámetros cinemáticos seleccionados (tiempo y velocidad) de Usain Bolt en el sprint de 100 m

a) Olympic Games Beijing 2008

Distance [m]	Mean time [s]*	mean time [s]**	Total time	Mean velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	Each 20 m	Total	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.85	1.89	1.85	5.40	5.40	7.0	11.1	11.0	1.41	1.82	3.84	3.83
10-20	1.02	0.99	2.87	9.80	6.97	4.1			2.44		4.01	
20-30	0.91	0.90	3.78	10.99	7.94	4.0	8.0	19.0	2.50	2.50	4.39	4.49
30-40	0.87	0.86	4.65	11.49	8.60	3.9			2.56		4.48	
40-50	0.85	0.83	5.50	11.76	9.09	3.9	7.6	26.6	2.56	2.63	4.59	4.55
50-60	0.82	0.82	6.32	12.19	9.49	3.7			2.70		4.51	
60-70	0.82	0.81	7.14	12.19	9.80	3.8	7.4	34.0	2.63	2.70	4.63	4.51
70-80	0.82	0.82	7.96	12.19	10.05	3.6			2.77		4.39	
80-90	0.83	0.83	8.79	12.05	10.24	3.5	7.1	41.1	2.86	2.83	4.22	4.10
90-100	0.90	0.83	9.69	11.11	10.31	3.6			2.77		4.00	

A Kinematics Analysis Of Three Best 100 M Performances Ever

Maćkała Krzysztof & Antti Mero

Journal of Human Kinetic 36, 149–160. 2013.

Parámetros cinemáticos seleccionados (tiempo y velocidad) de Usain Bolt en el sprint de 100 m

c) Olympic Games - London 2012												
Distance [m]	Average time [s]*	Total time [s]	Total time [s]**	Average velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	20 m Section	Tota l	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.91	1.91		5.23	5.23	7.3	11.5	11.5	1.37	1.74	3.82	3.94
10-20	1.01	2.92	2.93	9.90	6.84	4.2			2.38		4.16	
20-30	0.92	3.84		10.87	7.81	4.1	8.0	19.5	2.44	2.50	4.45	4.49
30-40	0.86	4.70	4.69	11.63	8.51	3.9			2.56		4.54	
40-50	0.84	5.54		11.90	9.02	4.0	7.8	27.3	2.50	2.56	4.76	4.70
50-60	0.82	6.36	6.35	12.19	9.43	3.8			2.63		4.63	
60-70	0.81	7.17		12.34	9.76	3.6	7.0	34.3	2.78	2.86	4.44	4.32
70-80	0.81	7.98	7.96	12.34	10.02	3.4			2.94		4.20	
80-90	0.82	8.80		12.19	10.23	3.6	7.1	41.4	2.78	2.82	4.38	4.30
90-100	0.83	9.63	9.63	12.05	10.38	3.5			2.86		4.21	

Influencia de la Fase de Carrera en la Longitud y Frecuencia del Paso

Changes in Step Characteristics between the Maximum Velocity and Deceleration Phases of the 100 Metre Sprint Run

Bezodis, I.N., Irwin G.I., Kuntze, G. & Kerwin, D.G.

In ISBS-Conference Proceedings Archive. Vilas-Boas, 2011.

En la fase de desaceleración, los atletas pierden velocidad debido a disminución en la FZ

Los velocistas más rápidos lograron mantener su velocidad combinando una disminución relativamente significativa en la FZ con aumento en la LZ

Athlete	Step Frequency [Hz]			Step Length [m]			Step Velocity [m/s]		
	30-40 m	70-80 m	% Diff.	30-40 m	70-80 m	% Diff.	30-40 m	70-80 m	% Diff.
1	4.86	4.72	-2.8	1.91	1.84	-3.7*	9.28	8.68	-6.4*
2	4.06	3.81	-6.1*	2.44	2.56	4.6*	9.91	9.74	-1.7
3	4.19	4.09	-2.3*	2.18	2.19	0.6	9.13	8.97	-1.7*
4	4.21	4.13	-2.0*	2.13	2.14	0.6	8.96	8.83	-1.4*
5	4.28	4.25	-0.6	2.14	2.13	-0.5	9.16	9.06	-1.1*
6	4.43	4.28	-3.5*	2.25	2.31	3.0*	9.96	9.89	-0.7
7	4.57	4.41	-3.4*	1.98	1.98	0.0	9.04	8.73	-3.4*
8	4.80	4.48	-6.5*	2.01	2.05	2.4*	9.63	9.21	-4.3
9	4.24	4.12	-2.9*	2.29	2.28	-0.6	9.72	9.38	-3.5*
Mean	4.40	4.25	-3.4*	2.15	2.17	0.8	9.42	9.17	-2.7*

(= p <0.05)*



SCIENTIFIC RESEARCH PROJECT
BIOMECHANICAL ANALYSES
12th IAAF World Championships in Athletics 2009
Helmar Hommel

Bolt Usain	JAM	9,58		Averaged Steplength	Averaged Stepfrequency
			dt	dl	df
		[s]	[s]	[m]	[1/s]
	reaction time	0,146		No. of steps:	40,92
	0-20m	2,74	2,89	1,78	3,89
	20-40m		1,75	2,52	4,54
	40-60m		1,67	2,67	4,49
	60-80m		1,61	2,77	4,49
	80-100m		1,66	2,85	4,23

Gay Tyson	USA	9,71			
	reaction time	0,14		No. of steps:	45,94
	0-20m	2,78	2,92	1,63	4,20
	20-40m		1,78	2,25	5,00
	40-60m		1,69	2,42	4,88
	60-80m		1,63	2,48	4,94
	80-100m		1,69	2,36	5,02

Powell Asafa	JAM	9,84			
	reaction time	0,13		No. of steps:	44,45
	0-20m	2,78	2,91	1,63	4,21
	20-40m		1,80	2,31	4,81
	40-60m		1,71	2,49	4,71
	60-80m		1,68	2,51	4,74
	80-100m		1,74	2,65	4,33

Bailey Daniel	ANT	9,93			
	reaction time	0,13		No. of steps:	47,84
	0-20m	2,79	2,92	1,55	4,42
	20-40m		1,81	2,12	5,22
	40-60m		1,75	2,27	5,03
	60-80m		1,70	2,34	5,03
	80-100m		1,75	2,46	4,65



SCIENTIFIC RESEARCH PROJECT
BIOMECHANICAL ANALYSES
12th IAAF World Championships in Athletics 2009
Helmar Hommel

Fraser Shelly-Ann	JAM	10,73		Averaged Steplength	Averaged Stepfrequency
			dt	dl	df
		[s]	[s]	[m]	[1/s]
	reaction time	0,146		No. of steps:	49,58
	0-20m	2,88	3,03	1,59	4,15
	20-40m		1,95	2,09	4,91
	40-60m		1,90	2,19	4,82
	60-80m		1,89	2,18	4,86
	80-100m		1,96	2,20	4,65

Stewart Kerron	JAM	10,75			
	reaction time	0,170		No. of steps:	47,46
	0-20m	2,94	3,11	1,59	4,05
	20-40m		1,96	2,17	4,70
	40-60m		1,89	2,28	4,65
	60-80m		1,86	2,33	4,62
	80-100m		1,93	2,42	4,29

Jeter Carmelita	USA	10,83			
Semifinal 2	reaction time	0,14		No. of steps:	49,48
	0-20m	2,98	3,12	1,52	4,21
	20-40m		1,97	2,10	4,83
	40-60m		1,91	2,22	4,71
	60-80m		1,89	2,22	4,76
	80-100m		1,94	2,27	4,54

Campbell-Brown Veronica	JAM	10,95			
	reaction time	0,135		No. of steps:	49,50
	0-20m	2,99	3,12	1,57	4,09
	20-40m		2,00	2,07	4,83
	40-60m		1,94	2,19	4,71
	60-80m		1,91	2,19	4,79
	80-100m		1,98	2,28	4,44

A Kinematics Analysis Of Three Best 100 M Performances Ever

Maćkała Krzysztof & Antti Mero

Journal of Human Kinetics volume 36, 149-160. 2013.

Kinematic parameters a) Usain Bolt		Olympic Games Beijing 2008	World Championships Berlin 2009	Olympic Games London 2012	Statistics from three competitions		
					$\bar{X}$	SD	V
Time [s]		9.69	9.58	9.63	9.63	0.06	0.57
Velocity [m/s]		10.32	10.44	10.38	10.38	0.06	0.58
Stride frequency [Hz]		4.24	4.23	4.29	4.25	0.03	0.76
Number of strides	All	41.1	40.92	41.4	41.13	0.25	0.61
	Take –off from LL	20.7	20.1	20.9	20.57	0.42	2.02
	Take –off from RL	20.4	20.8	20.5	20.57	0.21	1.01
Stride length [m]		2.43	2.47	2.41	2.44	0.03	1.25

Kinematic parameters b) the rest of finalists		Olympic Games Beijing 2008 (n=7) (1, 2, 3)			World Championships Berlin 2009 (n=7) (3)			Olympic Games London 2012 (n=6) (1, 4, 5)		
		$\bar{X}$	SD	V	$\bar{X}$	SD	V	$\bar{X}$	SD	V
Time [s]		9.96	0.05	0.51	9.91	0.10	1.06	9.86	0.10	0.93
Velocity [m/s]		10.04	0.05	0.51	10.09	0.11	1.01	10.15	0.09	0.92
Stride frequency [Hz]		4.55	0.21	4.68	4.53	0.20	4.41	4.38	0.19	4.44
Number of strides	All	45.69	2.17	4.75	44.91	1.77	3.94	44.45	1.99	4.48
	Take –off from LL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Take –off from RL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stride length [m]		2.19	0.11	4.84	2.23	0.09	3.93	2.25	0.10	4.50

A Kinematics Analysis Of Three Best 100 M Performances Ever

Maćkała Krzysztof & Antti Mero

Journal of Human Kinetics volume 36, 149-160. 2013.

a) Olympic Games Beijing 2008

Distance [m]	Mean time [s]*	mean time [s]**	Total time	Mean velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	Each 20 m	Total	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.85	1.89	1.85	5.40	5.40	7.0	11.1	11.0	1.41	1.82	3.84	3.83
10-20	1.02	0.99	2.87	9.80	6.97	4.1			2.44		4.01	
20-30	0.91	0.90	3.78	10.99	7.94	4.0	8.0	19.0	2.50	2.50	4.39	4.49
30-40	0.87	0.86	4.65	11.49	8.60	3.9			2.56		4.48	
40-50	0.85	0.83	5.50	11.76	9.09	3.9	7.6	26.6	2.56	2.63	4.59	4.55
50-60	0.82	0.82	6.32	12.19	9.49	3.7			2.70		4.51	
60-70	0.82	0.81	7.14	12.19	9.80	3.8	7.4	34.0	2.63	2.70	4.63	4.51
70-80	0.82	0.82	7.96	12.19	10.05	3.6			2.77		4.39	
80-90	0.83	0.83	8.79	12.05	10.24	3.5	7.1	41.1	2.86	2.83	4.22	4.10
90-100	0.90	0.83	9.69	11.11	10.31	3.6			2.77		4.00	

b) World Championship - Berlin 2009

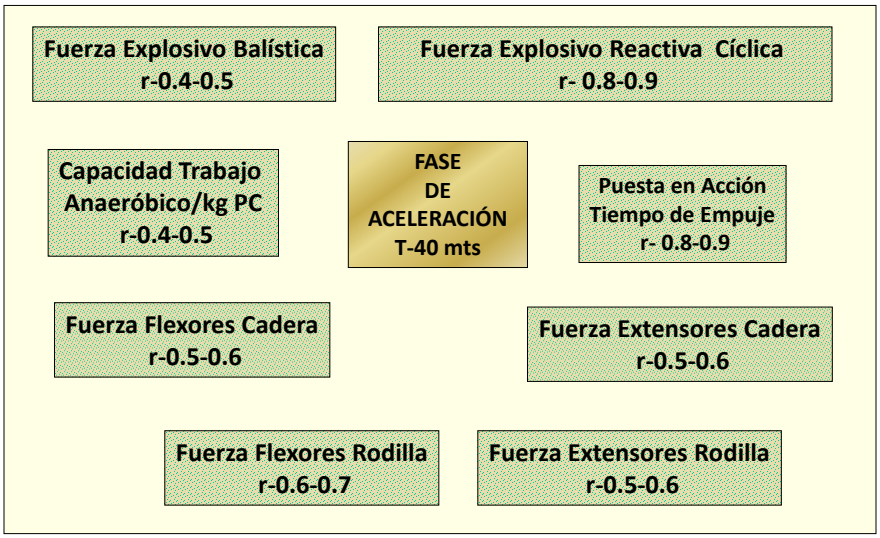
Distance [m]	Mean time [s]*	Mean time [s]**	Total time	Mean velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	20 m Section	Total	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.89	1.90	1.90	5.26	5.26	7	11.2	11.2	1.43	1.78	3.68	3.89
10-20	0.99	0.98	2.88	10.20	6.94	4.2			2.38		4.28	
20-30	0.90	0.92	3.80	10.87	7.90	4.0	7.9	19.1	2.50	2.52	4.35	4.54
30-40	0.86	0.83	4.63	12.05	8.64	3.9			2.56		4.70	
40-50	0.83	0.84	5.46	11.90	9.16	3.8	7.5	26.6	2.63	2.67	4.64	4.49
50-60	0.82	0.82	6.29	12.19	9.53	3.8			2.63		4.63	
60-70	0.81	0.82	7.11	12.19	9.84	3.7	7.2	33.8	2.70	2.77	4.51	4.49
70-80	0.82	0.81	7.92	12.34	10.10	3.5			2.86		4.32	
80-90	0.83	0.83	8.75	12.05	10.28	3.4	7.0	40.8	2.94	2.85	4.10	4.23
90-100	0.83	0.83	9.58	12.05	10.44	3.6			2.77		4.34	

c) Olympic Games - London 2012

Distance [m]	Average time [s]*	Total time [s]	Total time [s]**	Average velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	20 m Section	Tota l	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.91	1.91		5.23	5.23	7.3	11.5	11.5	1.37	1.74	3.82	3.94
10-20	1.01	2.92	2.93	9.90	6.84	4.2			2.38		4.16	
20-30	0.92	3.84		10.87	7.81	4.1	8.0	19.5	2.44	2.50	4.45	4.49
30-40	0.86	4.70	4.69	11.63	8.51	3.9			2.56		4.54	
40-50	0.84	5.54		11.90	9.02	4.0	7.8	27.3	2.50	2.56	4.76	4.70
50-60	0.82	6.36	6.35	12.19	9.43	3.8			2.63		4.63	
60-70	0.81	7.17		12.34	9.76	3.6	7.0	34.3	2.78	2.86	4.44	4.32
70-80	0.81	7.98	7.96	12.34	10.02	3.4			2.94		4.20	
80-90	0.82	8.80		12.19	10.23	3.6	7.1	41.4	2.78	2.82	4.38	4.30
90-100	0.83	9.63	9.63	12.05	10.38	3.5			2.86		4.21	



PRINCIPALES FACTORES QUE DETERMINAN LA VELOCIDAD DE ACELERACIÓN



Selected Determinants of Acceleration in the 100 m Sprint
Maćkała Krzysztof, Fostial Marek & Kacper Kowalski
Journal of Human Kinetics, 45(1), 135-148. 2015.

El análisis cluster mostró que los velocistas tienen un perfil biomecánico-motor muy definido y homogéneo, mientras que en los no especialistas las variables aparecen más "mezcladas" y sin patrón

El análisis agrupó la mayoría de variables en dos clústeres bien definidos:

- **Clúster 1 (Motor–Fuerza/Salto): Fuerza Máxima en Sentadilla, Salto de Longitud, Pentasalto y Decasalto:**
  - **Todas correlacionadas fuertemente entre sí.**
- **Clúster 2 (cinemático–antropométrico): Velocidad en 10 y 30 m, Frecuencia de Zancada, Longitud de Zancada, Índice de Zancada, Longitud de Pierna.**

Este patrón muestra que en velocistas las variables se organizan de forma coherente: fuerza y potencia de salto están claramente relacionadas entre sí, y las medidas corporales y de zancada explican la mecánica de aceleración

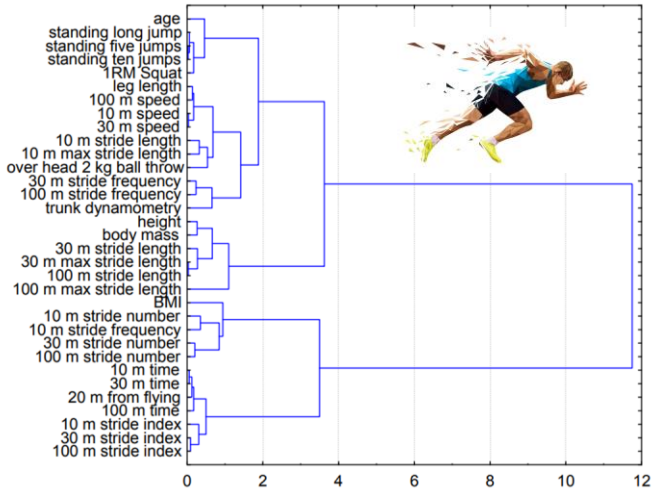
Selected Determinants of Acceleration in the 100 m Sprint

Maćkała Krzysztof, Fostial Marek & Kacper Kowalski

Journal of Human Kinetics, 45(1), 135-148. 2015.

Variable	Sprinters n=11	
	$\bar{x}$	SD
Antchropometrics		
Age (years)	23.95	2.33
Body height (cm)	180.36	6.47
Body mass (kg)	75.55	6.01
Leg length (cm)	90.27	7.35
BMI	23.16	1.30
Kinematics		
10 m time (s)	1.89	0.08
10 m stride number	7.10	0.38
10 m stride length (cm)	141.13	7.89
10 m stride index	1.56	0,08
10 m max stride length (cm)	178.77	7.04
10 m stride frequency (Hz)	3.77	0.19
Kinematics		
30 m time (s)	3.93	0.24
30 m stride number	16.27	0.65
30 m stride length (cm)	181.09	7.74
30 m stride index	2.02	0.13
30 m max stride length (cm)	223.82	9.72
30 m stride frequency (Hz)	4.16	0.30
Kinematics		
100 m time (s)	11.14	0.36
100 m stride number	47.64	1.96
100 m stride length (cm)	210.13	8.93
100 m stride index	2.34	0.17
100 m max stride length (cm)	239.82	9.03
100 m stride frequency (Hz)	4.28	0.18

Análisis Cluster de Características Antropométricas y Capacidades Motoras en Velocistas



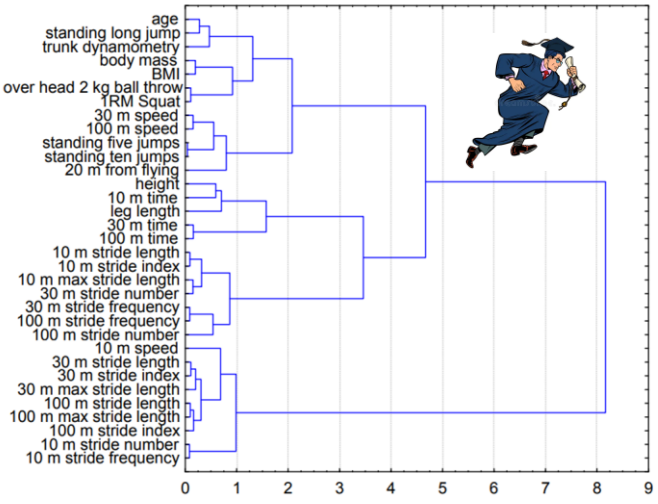
Selected Determinants of Acceleration in the 100 m Sprint

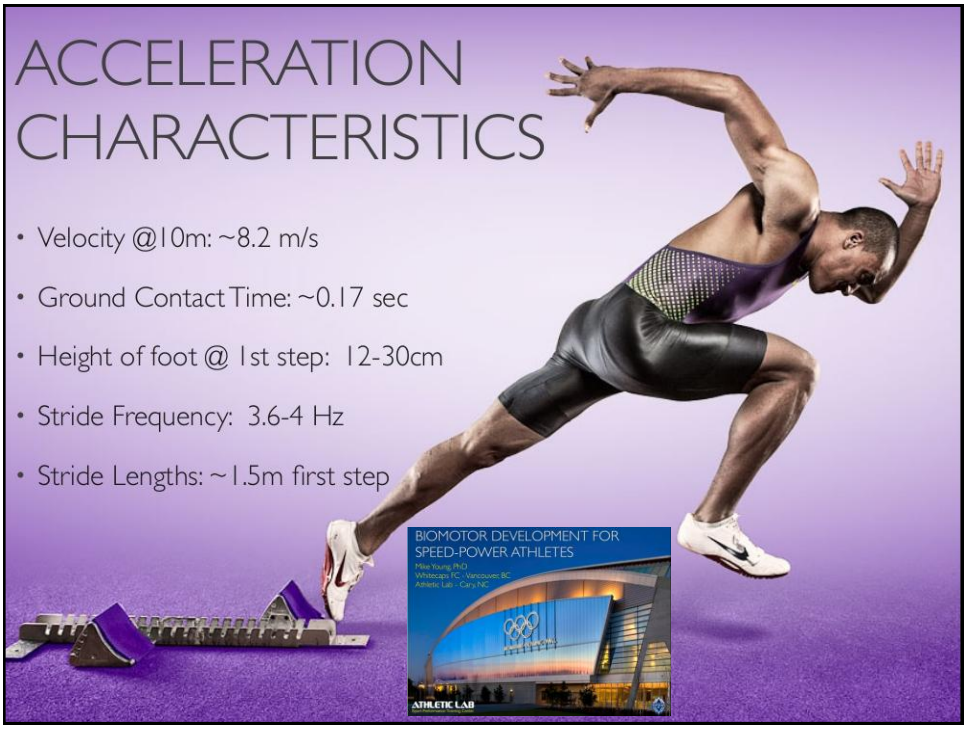
Maćkała Krzysztof, Fostial Marek & Kacper Kowalski

Journal of Human Kinetics, 45(1), 135-148. 2015.

Variable	Students n=11	
	$\bar{x}$	SD
Antchropometrics		
Age (years)	23.18	1.66
Body height (cm)	176.36	3.91
Body mass (kg)	70.00	5.28
Leg length (cm)	84.14	1.95
BMI	22.41	1.34
Kinematics		
10 m time (s)	1.93	0.04
10 m stride number	7.10	0.27
10 m stride length (cm)	141.73	4.74
10 m stride index	1.67	0.07
10 m max stride length (cm)	180.11	6.37
10 m stride frequency (Hz)	3.67	0.17
Kinematics		
30 m time (s)	4.44	0.11
30 m stride number	16.36	0.50
30 m stride length (cm)	177.02	7.05
30 m stride index	2.08	0.09
30 m max stride length (cm)	216.73	7.72
30 m stride frequency (Hz)	3.71	0.17
Kinematics		
100 m time (s)	12.20	0.39
100 m stride number	48.64	1.91
100 m stride length (cm)	204.05	8.25
100 m stride index	2.43	0.09
100 m max stride length (cm)	228.64	11.76
100 m stride frequency (Hz)	4.03	0.13

Análisis Cluster de las Características Antropométricas y Capacidades Motoras en Estudiantes





Selected Determinants of Acceleration in the 100m Sprint

Krzysztof Maćkała, Marek Fostiak & Kacper Kowalski

Journal of Human Kinetics, 45, 135-148. 2015.

MUESTRA

11 velocistas competitivos (MM: 10,50 s)
11 estudiantes activos (MM: 11,80 s)

En velocistas, el rendimiento en la Fase de Aceleración depende de :

- Fuerza de pierna (sentadilla máxima y saltos horizontales),
- Frecuencia de zancada eficiente,
- Condición antropométrica (como la longitud de pierna),
- y coordinación técnica (zancada e índice de carrera).

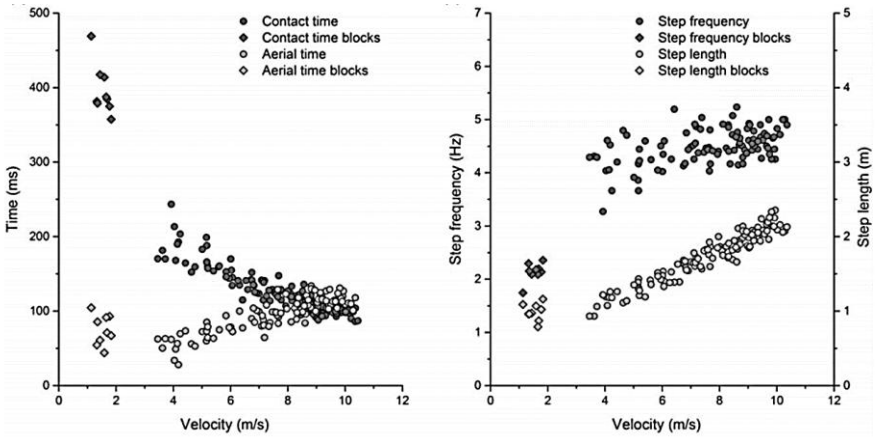
Estos elementos están interrelacionados y definen perfiles de aceleración coherentes en atletas entrenados, mientras que en estudiantes mostraron mayor variabilidad y menor sistematicidad

Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion

Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Sàez-de-Villarreal E, Couturier A, Samozino P, Morin J-B.

Scand J Med Sci Sports, doi: 10.1111/sms.12389. 2015.

Características espaciotemporales del paso (a) durante (TC, ms) o inmediatamente después [tiempo vuelo (ms), frecuencia de paso (Hz), longitud de paso (m)] de la primera propulsión en los tacos de salida y (b) durante la fase de aceleración (penúltimo paso) representados contra la velocidad de avance (m/s)



Selected Determinants of Acceleration in the 100m Sprint

Krzysztof Maćkała, Marek Fostiak & Kacper Kowalski

Journal of Human Kinetics, 45, 135-148. 2015.

10 metros

	Sprinters n=11		Students n=11		t	p
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD		
10 m time (s)	1.89	0.08	1.93	0.04	-1.70	0.1055
10 m stride number	7.10	0.38	7.10	0.27	0.03	0.9747
10 m stride length (cm)	141.13	7.89	141.73	4.74	-0.22	0.8316
10 m stride index	1.56	0,08	1.67	0.07	-3.35	**0.032**
10 m max stride length (cm)	178.77	7.04	180.11	6.37	-0.47	0.6455
10 m stride frequency (Hz)	3.77	0.19	3.67	0.17	1.21	0.2417

	20 m Lanzados	Squat 1RM	Tronco Dinamometría	L. Balón 2kg	Decasalto	Pentasalto	Salto Pies Juntos
Velocistas Alto Rendimiento (n=11)							
10 m (T)	0.89	-0.71	-	-0.68	-0.71	-0.65	-0.74
10 m (V)	-0.90	0.66	-	0.69	0.72	0.66	0.77

Selected Determinants of Acceleration in the 100m Sprint

Krzysztof Maćkała, Marek Fostiak & Kacper Kowalski

Journal of Human Kinetics, 45, 135-148. 2015.

30 metros

Variable	Sprinters n=11		Students n=11		t	p
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD		
30 m time (s)	3.93	0.24	4.44	0.11	-6.48	**0.0001**
30 m stride number	16.27	0.65	16.36	0.50	-0.37	0.7170
30 m stride length (cm)	181.09	7.74	177.02	7.05	1.29	0.2116
30 m stride index	2.02	0.13	2.08	0.09	-1.25	0.2271
30 m max stride length (cm)	223.82	9.72	216.73	7.72	1.89	0.0728
30 m stride frequency (Hz)	4.16	0.30	3.71	0.17	4.33	**0.0003**

	20 m Lanzados	Squat 1RM	Tronco Dinamometría	L. Balón 2kg	Decasalto	Pentasalto	Salto Pies Juntos
Velocistas Alto Rendimiento (n=11)							
10 m (T)	**0.76**	-	**-0.80**	-	-	-	**-0.62**
10 m (V)	**0.89**	**-0.65**	-	-	**-0.67**	**-0.62**	**-0.70**

Sprint Performance Changes and Determinants in Afro-Caribbean Adolescents Between 13 and 15 Years Old

Karine Babel Copaver, Claude Hertogh & Olivier Hue

Journal of Human Kinetics volume 34, 89-98. 2012.

Estatura y relación Nº de zancadas/Estatura (SN/BH)
fueron los principales predictores del rendimiento en sprint

El delta del rendimiento se explicó principalmente por longitud y Nº de zancadas

Los parámetros relacionados con la estatura y la longitud de zancada fueron los principales predictores del rendimiento en sprint, en lugar de la fuerza explosiva

Relaciones entre el rendimiento en sprint (30 m) y las variables antropométricas y pruebas de aptitud física

	Age	Tan	BH	BM	FM %	SN	VJ	SN/BH	SF	SL
r^2	.255	.575	.385	.030	.221	.561	.561	.643	.031	.565
p	<.001	<.001	<.001	<.05	<.001	<.001	<.001	<.001	<.05	<.001

Tan: Estadio de Tanner; **BH:** Estatura**; BM:** Peso Corporal**, FM%:** Masa Grasa (%)**;**
SN: Número Zancadas; **VJ:** Salto Vertical; **SN/BH:** Nº Zancadas/Estatura;
SF: Frecuencia de Zancada; **SL:** Longitud de Zancada

Analysis of the Acceleration Capacity of Female Sprint Athletes

Gerard Carmona Dalmases & Carlos González-Haro

Apunts. Educación Física y Deportes, 107(1), 69-77. 2012.

La *Vmáx* es el principal parámetro determinante del rendimiento (*t*30m) mujeres

También la capacidad de aceleración, sobre todo la *aceleración temprana* (*Vi*2) y la fuerza elástico explosiva (CMJ) poseen una gran correlación con el *t*30m y la *vmáx*

$a_{inicial}$ altamente determinada por la fuerza dinámica máxima *(*LJ *bw)*
aunque su relación con *t*30m no fue significativa

	t_{30m}	$a_{inicial}$	v_{i1}	v_{i2}	v_{i3}	$v_{máx}$	*SJ*	*CMJ*	*LJ bw*	*RJ 5s tc*	*RJ 5s pot rel*	*RJ 5s hcg*
$a_{inicial}$	–,715											
v_{i1}	–,531	,813										
v_{i2}	–,954*	,632	,630									
v_{i3}	–,934	,653	,687	,996**								
$v_{máx}$	–,980**	,635	,562	,992**	,979*							
SJ	–,925	,398	,251	,907	,870	,941						
CMJ	–,983*	,630	,371	,902	,868	,948	,951*					
LJ bw	–,622	,980**	,711	,491	,507	,510	,288	,556				
RJ 5s tc	–,967*	,867	,645	,892	,883	,917	,801	,931	,800			
RJ 5s pot rel	,965*	–,648	–,328	–,851	–,813	–,908	–,919	–,993	–,595	–,928		
RJ 5s hcg	–,556	,948*	,936	,550	,596	,517	,214	,425	,907	,724	–,422	
P_m *máx*	,622	–,175	–,484	–,819	–,831	–,764	–,715	–,551	,017	–,477	,452	–,221

Niveles de significación: $P < 0,05$*, $P < 0,01$**. t_{30m}: tiempo en 30 m; $a_{inicial}$: aceleración inicial; v_{i1}: velocidad instantánea a 1 s; v_{i2}: velocidad instantánea a 2 s; v_{i3}: velocidad instantánea a 3 s; $v_{máx}$: velocidad máxima; SJ: *squat jump*; CMJ: *counter movement jump*; LJ bw: *load jump body weight* (peso corporal); RJ 5s tc: tiempo de contacto medio durante 5 s de *rebound jump*; RJ 5s pot rel: potencia relativa media durante 5 s de *rebound jump*; RJ 5s hcg: altura del centro de gravedad media durante 5 s de *rebound jump*; P_m *máx*: potencia media máxima (valor más elevado de potencia media).

Direct measurement of power during one single sprint on treadmill

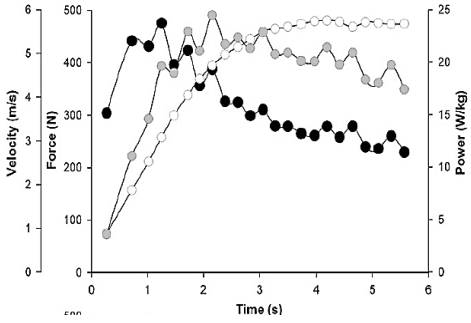
J.B. Morin, P. Samozino, R. Bonnefoy, Edouard & A. Belli

Journal of Biomechanics 43, 1970-1975. 2010.

MUESTRA

12 varones estudiantes de Educación Física

(**Edad:** 24.57±3,7 años; **PC:** 74.57±9,1 kg; **Estatura:** 1,78±0,05 m)



Curvas típicas de **Potencia de Propulsión** (gris), **Velocidad** (blanco) y **Fuerza** (puntos negros) promediadas para cada paso durante un sprint de 6”

Parameter	Load condition	Mean (SD)	Range
P_{max} (W/kg)	High	22.1 (3.9)	17.3 – 31.3
	Default	22.2 (3.2)	17.0 – 29.4
	Low	21.9 (3.9)	16.7 – 29.5
V_{max} (m/s)	High	5.11 (0.32) [a]	4.66 – 5.76
	Default	5.47 (0.31)	5.08 – 6.21
	Low	5.91 (0.46) [a,b]	5.21 – 6.70
F_{max} (N)	High	471 (70)	369 – 573
	Default	450 (66)	361 – 566
	Low	431 (72) [b]	358 – 572

Valores máximos de **Potencia**, **Velocidad** y **Fuerza** propulsivas para las 3 condiciones de carga

No se encontraron diferencias significativas entre condiciones de carga para Pmáx (P = 0,695), mientras que Fmáx aumentó y Vmáx disminuyó significativamente (P=0,05) al aumentar la carga

An Effects of running velocity on running kinetics and kinematics

Matt Brughelli, JohnCronin & Anis Chaouachi,
Journal Strength and Conditioning Research, 25(4), 933-939. 2010.

MESTRA: 16 jugadores semiprofesionales de fútbol australiano
(edad: 23,3 ± 2,1 años; altura: 184,8 ± 12,4 cm; y peso: 84,1 ± 67,4 kg)

A medida que la velocidad aumentaba del **40 a 60%,** las fuerzas verticales y horizontales máximas aumentaron un 14,3% (ES: 1,0) y un 34,4% (ES: 4,2) respectivamente

Los cambios en las **fuerzas verticales** y **horizontales máximas** del **60 al 80%** fueron del 1,0% (ES = 0,05) y del 21,0% (ES = 2,9), respectivamente

Finalmente, los cambios en las fuerzas verticales y horizontales máximas del **80%** al máximo fueron del 2,0% (ES = 0,1) y del 24,3% (ES = 3,4)

Tanto **FZ** como **LZ** aumentaron significativamente con cada incremento de velocidad ($p<0,05$)

Por el contrario, **TC** y **desplazamiento vertical del CdeM** disminuyeron significativamente con el aumento de la velocidad ($p<0,05$)

Se encontró **correlación positiva** significativa entre **Fuerza Horizontal** y **Velocidad Máxima** ($r=0,47$)

Variable	40%	60%	80%	100%
Vertical force (N)	1,681.6 ± 226.0	1,922.7 ± 235.0†‡	1,942.3 ± 278.9†‡	1,983.7 ± 271.9†‡
Horizontal force (N)	178.6 ± 14.3	240.1 ± 17.1†‡	290.2 ± 22.0†‡§	360.9 ± 27.9†‡§‖
CM displacement (cm)	5.51 ± 0.78	5.46 ± 1.11	4.18 ± 0.38†‡§	2.83 ± 0.41†‡§‖
Contact times (ms)	301.78 ± 22.67	280.45 ± 18.56†‡	248.29 ± 21.78†‡§	209.67 ± 19.67†‡§‖
Stride length (m)	1.70 ± 0.62	2.12 ± 0.54†‡	2.57 ± 0.64†‡§	3.27 ± 0.65†‡§‖
Stride frequency (Ss^{-1})	0.80 ± 0.05	1.15 ± 0.03†‡	1.45 ± 0.03†‡§	1.67 ± 0.02†‡§‖

CURSO DE ENTRENADORES DE ATLETISMO
Juan Manuel García Manso
Juan Alfonso García Roca

LAS CARRERAS DE VELOCIDAD EN ATLETISMO

FASE DE MÁXIMA VELOCIDAD



FASE DE MÁXIMA VELOCIDAD

Es el período de las carreras de Velocidad en el que el atleta se desplaza a su Velocidad Máxima una vez que finaliza la Fase de Aceleración

Ocurre, aproximadamente, entre los 40 y 60 metros de carrera, dependiendo de las capacidades y nivel del atleta

Dura solo unos segundos hasta el momento en el organismo comience a fatigarse y la velocidad empiece a disminuir

Se estima que, en atletas bien entrenados,
esta fase dura entre 2.5-3.0 segundos (≈30-40 metros)

En atletas de menor nivel,
la duración suele ser de 1.0 -1.5 segundos

ATLETAS MÁS RÁPIDOS DE LA HISTORIA DEL ATLETISMO

(HOMBRES & MUJERES)

(CERRADO A 01/08/2025)

ATLETA	HOMBRES	MUJERES
Usain Bolt (2009) 100 m	**12.42 m/s** 44.7 km/h	
Tyson Gay (2009) 100 m	**12.10 m/s** 43.6 km/h	
Florence Griffith-Joyner (1998) 100 m		**10.70 m/s** 38.5 km/h
Elaine Tompson-Herah (2021) 100 m		**10.70 m/s** 39.7 km/h

Analyzing the Olympic 100-meter sprints
Pierre-Jean Vazel
https://www.hmmrmedia.com/2021/10/tokyo-sprint-analysis/2021.

IMPORTANCIA DE UNA ELEVADA VELOCIDAD MÁXIMA (VM)

Una vez más, el velocista que alcanzó la mayor velocidad máxima fue el ganador (JJ.OO. Toyo 2021): Jacobs fue el único en alcanzar una velocidad de 12 m/s.

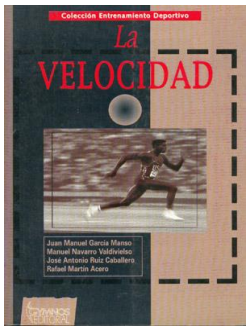
MEN	Maximum Velocity (m/s)	Distance to MV (m)	Time to MV (s)
3DAT Intel data			
Jacobs 9.80	12.03	85	8.5
Kerley 9.84	11.75	74	7.6
De Grasse 9.89	11.86	73	7.6
Simbine 9.93	11.69	61	6.6
Baker 9.95	11.64	75	7.7
Su 9.98	11.61	56	6.2
Mean	***11.76***	***70***	***7.4***
Su 9.83 (semi-final)	*11.72*	*54*	*5.8*
Baker 9.83 (semi-final)	*11.83*	*71*	*7.3*
Jacobs 9.84 (semi-final)	*11.89*	*64*	*6.8*
USA Oly Trials 2021 (9.91)	11.64 (11.53-11.80)	71.4 (58-87)	7.41
World Champs 2017 (10.04)	11.66 (11.32-12.00)	68.6 (54-94)	7.27
Historical data (source LAVEG)			
Bolt 9.58 (2009 WC)	*12.34*	*67.9*	*6.70*
Gay 9.71 (2009 WC)	*12.20*	*55.2*	*5.98*
Bailey 9.84 (1996 OG)	*12.01*	*54.55*	*5.94*
Powell 9.84 (2009 WC)	*11.99*	*53.8*	*5.87*
Greene 9.86 (1997 WC)	*11.87*	*58.1*	*6.24*
Boldon 9.87 (1997 WC)	*11.80*	*66.5*	*6.95*
Fredericks 9.89 (1996 OG)	*11.67*	*55.0*	*5.98*
Atkins 9.91 (2007 WC)	*11.74*	*59.0*	*6.38*
Blake 9.92 (2011 WC)	*11.75*	*57.9*	*6.27*



Esta observación presenta una excepción en la historia del análisis de tiempos en los principales campeonatos:

La final del Campeonato Mundial de 2017, cuando **Simbine** alcanzó los 12,0 m/s, solo quedó en 5º lugar



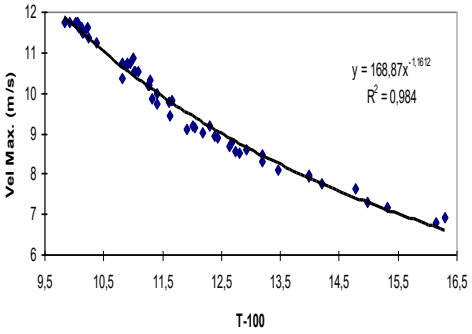


Hombres:

World-class:	**≤ 9,95–10,03 s**
Elite:	**9,95–10,81 s**
Sub-elite:	**10,40–10,95 s**
Nivel nacional:	**10,65–11,77 s**

Mujeres:

World-class:	**≤ 11,10 s**
Elite:	**11,29–11,95 s**
Nivel nacional:	**11,45–12,66 s**



La Máxima Velocidad que alcanza un atleta en una carrera de 100 m tiene una alta correlación con la marca que se obtiene (R= 0.984)

T-100 m	MAXIMA VELOCIDAD
9.80 seg.	11.85-12.05 m/s
10.00 seg.	11.50-11.75 m/s
10.30 seg.	11.00-11.25 m/s
10.60 seg.	10.50-10.75 m/s
11.00 seg.	10.00-10.25 m/s

Accurate Estimates of Ultimate 100-Meter Records
John Einmahl & Yi He
arXiv preprint arXiv:2502.04085. 2025.

Plantean que estamos muy cerca del techo de velocidad máxima que puede alcanzar los humanos varones en carreras de velocidad (Récord Mundial Masculino 100 m: 9.58")

En mujeres aún habría más margen (≈0.15"–0.30" para un RM: 10.34") pero con un suelo potencial de alrededor de 10.20"

Los potenciales de mejora están condicionados, en gran medida, a que las condiciones futuras sean comparables a las del periodo analizado (reglas, materiales, tecnología, pistas, dopaje, etc.)

HOMBRES: (RM: 9.56)

- **Estimación puntual: 9.56 s**
- **Límite inferior prudente (95%): 9.49 s**
- **Muy poco probable: <9.49 s**
- **Récord Mundial: 9.59 s**

MUJERES (RM: 10.49)

- **Estimación puntual 10.34 s;**
- **Límite inferior prudente (95%) = 10.20 s**
- **Muy poco probable: <10.20 s**
- **Récord Mundial: 10.49 s**





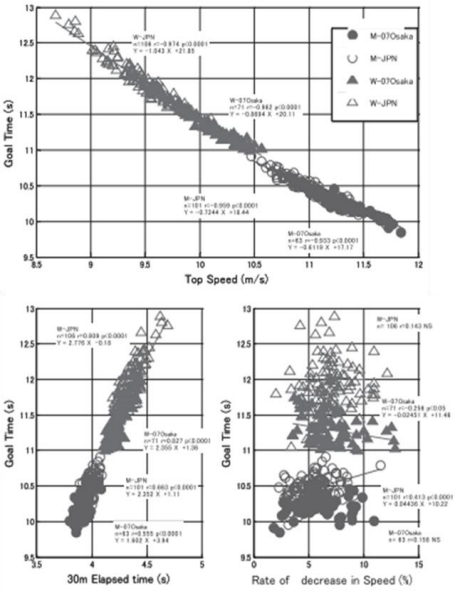
FASE DE MANTENIMIENTO DE LA MÁXIMA VELOCIDAD
(TOP SPEED INTERVAL)
(98-100% MÁXIMA VELOCIDAD)





- **En la mayoría de atletas de Alto Nivel, la Velocidad Máxima se alcanza ≈50–60 metros.**
- **La Velocidad Máxima se mantiene ≈20-25 m (≈2.0–2.5 s) antes de que aparezca una pérdida perceptible hacia meta.**
- **En algunos casos excepcionales la "meseta" (98-100%) puede extenderse >40–50 metros.**
- **En velocistas de Nivel Medio, la Velocidad Máxima se alcanza a los ≈40-50 metros.**
- **La Velocidad Máxima se mantiene ≈10-15 m (≈1.0–1.5 s) antes de que aparezca una pérdida perceptible hacia meta.**

Análisis of speed patterns in 100-m sprints
Matsuo A, Tsuchie H, Yanagiya T, Hirokawa R, Sugita M. & Ae M.
Bulletin of Studies in Athletics of JAAF, 5,97-101. 2009.



A mayor Velocidad Máxima, mejor Rendimiento

Relación entre Velocidad Máxima, T30 m, Disminución de Velocidad (%) y Tiempo Objetivo (Tiempo Carrera + TR)

En hombres, el rango de Tiempo Objetivo fue de 9,95 s (Gatlin; EE. UU.) a 10,91 s; en mujeres, el rango fue de 11,05 s (Felix; EE. UU., 2005) a 12,89 s. L

Velocidad Máxima y Tiempo Objetivo mostraron relación inversa, y se observaron correlaciones estadísticas significativas para todos los grupos (M-07 Osaka = –0,933; M-JPN = –0,959; W-07 Osaka = –0,962; W-JPN = –0,974; p<0,0001).

En todos los grupos, T30 m mostró una relación estadística con el tiempo objetivo. Coeficientes de correlación oscilaron entre 0,555 y 0,809, inferiores a los de relación entre Velocidad Máxima y Tiempo Objetivo.

Performance analysis in competition between athletes 100 meters dash athletes of different levels

Pablo Floria Martín & Amelia Ferro Sánchez

RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte, 7(26), 408-416. 2011.

1

MUESTRA: Finales de 100 m masculinos de Categoría Senior de 2 Campeonatos de España al Aire Libre

En velocistas élite, aunque pueden alcanzar velocidades similares, los que logran las marcas superiores son aquellos que aceleran más rápido y resisten mejor la pérdida de velocidad hacia el final

La principal diferencia entre velocistas más rápidos y menos rápidos, radica en:

•Fase de Aceleración de Comienzo de Carrera (0–30 m)

•Fase de desaceleración de Final de Carrera (80–90 m)

No se detectan diferencias significas en la Velocidad Máxima alcanzada
Esto sugiere que la clave está en: cómo se Acelera & cómo se logra mantener la Velocidad al final de la carrera

Por ello, para vencer en una carrera de 100 m, se debería:

•Enfocar el entrenamiento en mejorar la aceleración inicial (específicamente los primeros ≈10 m o Sub-Fase de Fuerza), donde los más rápidos alcanzan una mayor proporción de su Velocidad Máxima.

•Trabajar también en como mantener mejor la velocidad durante la fase de desaceleración final, reduciendo la caída de velocidad de los últimos metros.

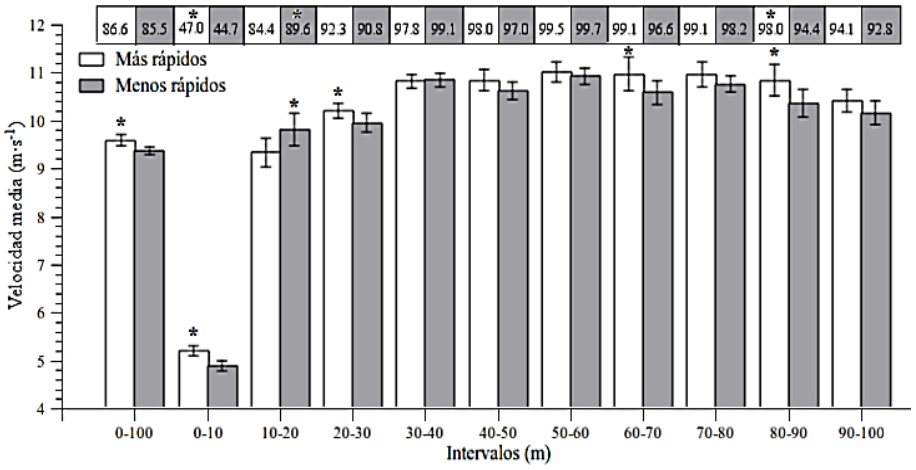
Performance analysis in competition between athletes 100 meters dash athletes of different levels

Pablo Floria Martín & Amelia Ferro Sánchez

RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte, 7(26), 408-416. 2011.

2

MUESTRA: Finales de 100 m masculinos de Categoría Senior de 2 Campeonatos de España al Aire Libre



Análisis del rendimiento en competición entre corredores de 100 metros lisos de diferente nivel

Pablo Floría Martín & Amelia Ferro Sánchez

RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte, *7*(26), 408-416. 2011.

MUESTRA

14 Finalistas Campeonatos España

(10.44 ± 0.13 s vs 10.68 ± 0.09 s; p = 0.002)

Durante la fase de velocidad máxima, los corredores más rápidos fueron capaces de mantener una velocidad considerablemente alta (valores de VMR por encima del 99%) en 3 de los tramos analizados (50-60, 60-70 y 70-80 m), mientras que los menos rápidos sólo la mantuvieron en dos de ellos (30-40, 50-60 m)

Velocidad Media Relativa	Más rápidos	Menos rápidos	
VMR_{0-10} (%)	47.0 ± 1.7	44.7 ± 1.3	0.015*
VMR_{10-20} (%)	84.3 ± 3.0	89.6 ± 3.5	0.011*
VMR_{20-30} (%)	92.3 ± 1.7	90.8 ± 2.2	0.189
VMR_{30-40} (%)	97.8 ± 1.1	99.1 ± 1.2	0.062
VMR_{40-50} (%)	98.0 ± 1.9	97.0 ± 2.4	0.400
VMR_{50-60} (%)	99.5 ± 0.6	99.7 ± 0.8	0.670
VMR_{60-70} (%)	99.1 ± 2.4	96.6 ± 2.4	0.068
VMR_{70-80} (%)	99.1 ± 1.0	98.2 ± 1.5	0.202
VMR_{80-90} (%)	98.0 ± 2.4	94.4 ± 2.4	0.016*
VMR_{90-100} (%)	94.1 ± 2.0	92.8 ± 2.5	0.313

Assessment of sprint parameters in top speed interval in 100 m sprint: a pilot study under field conditions

Seidl, T., Russomanno, T. G., Stöckl, M., & Lames, M.

Frontiers in Sports and Active Living, 3, 689341. 2021.

MUESTRA: 16 atletas sub-20 de Nivel Regional y Nacional

H (7): 10,55 - 12,41 s (11,64 ± 0,68 s)

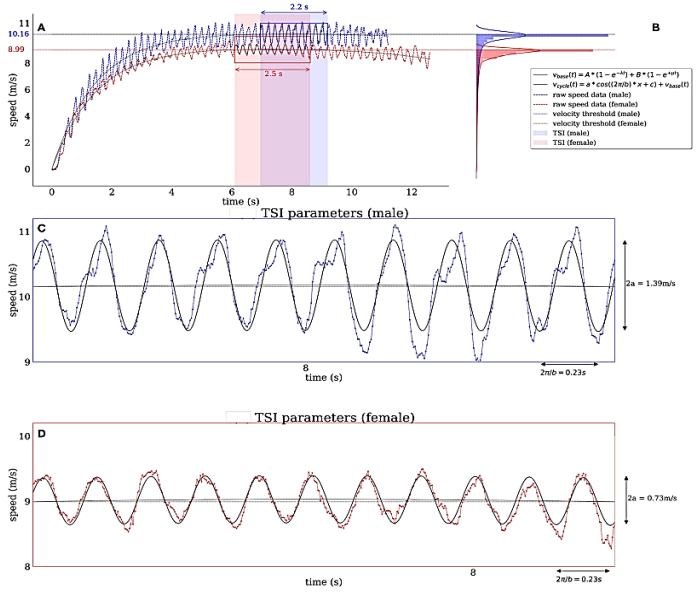
M (9): 12,18 y 13,31 s (12,72 ± 0,43 s)

- **Los velocistas no sostienen indefinidamente su velocidad máxima, sino que logran un intervalo corto (2–2.5 s, 20 m aprox.) en el que corren cerca de su tope.**
  - **Fase de Máxima Velocidad. H: 48-69 m – M: 43-64 m**
  - **Duración Fase Máxima Velocidad. H: ≈ 2.2 s – M: ≈ 2. 5 s**
- **Durante este intervalo, la velocidad muestra fluctuaciones regulares paso a paso, reflejando el carácter cíclico de la carrera. Aunque se hable de una meseta, la velocidad nunca es constante, oscila en cada zancada.**
  - **Variación Hombres: ≈ 1.31 m/s (≈ 14% de la Máxima Velocidad).**
  - **Variación Mujeres: ≈ 0.71 m/s (≈ 8% de la Máxima Velocidad)**

Assessment of sprint parameters in top speed interval in 100 m sprint: a pilot study under field conditions

Seidl, T., Russomanno, T. G., Stöckl, M., & Lames, M.

Frontiers in Sports and Active Living, 3, 689341. 2021.



Profiling elite male 100-m sprint performance: The role of maximum velocity and relative acceleration

Healy, R., Kenny, I. C., & Harrison, A. J.

Journal of sport and health science, 11(1), 75-84. 2022.

MUESTRA: 82 velocistas masculinos de élite y subélite

- **Velocidad Máxima a los 50-70 m.**
- **Meseta de Vmax fue breve (10–20 m, raramente >30 m) (2.0-2.5 s).**
- **Duración de Meseta correlacionó con nivel competitivo:**
  - Cuanto más nivel, más metros en la zona de Máxima Velocidad.
- **La diferencia entre atleta élite internacional y nacional no estuvo solo en el pico de velocidad, sino en cuánto tiempo/distancia pudieron sostenerlo.**

	All	Faster	Slower	Mean difference (95%CI)	% Mean difference (95%CI)	*p*	Cohen *d* (95%CI)
100-m sprint performance (s)[a]	10.02 ± 0.23	9.77 ± 0.10	10.28 ± 0.09	−0.50 (−0.55 to −0.46)	−5.2 (−5.7 to −4.7)	<0.001*	−5.13 (−5.63 to −4.62)
v_{max} (m/s)	11.39 ± 0.33	11.71 ± 0.18	11.02 ± 0.17	0.70 (0.61 to 0.79)	6.0 (5.2 to 6.8)	<0.001*	3.69 (3.21 to 4.17)
τ (s)	1.17 ± 0.07	1.18 ± 0.06	1.13 ± 0.06	0.05 (0.02 to 0.08)	4.3 (1.6 to 6.9)	0.002**	0.81 (0.31 to 1.31)

Sprint running:
from fundamental mechanics to practice - a review
Haugen, T., McGhie, D., & Ettema, G.
European journal of applied physiology, 119(6), 1273-1287. 2019.

Consolidan la evidencia de que Mantenimiento de Máxima Velocidad es corto (10–30 m) y que, más allá, la capacidad de sostenerla distingue a los mejores velocistas

UBICACIÓN DE LA VELOCIDAD MÁXIMA

- **En velocistas de élite, la velocidad pico se alcanza entre 50 y 70 m.**
- **Se mantiene hasta los 80–85 m.**



DURACIÓN Y EXTENSIÓN DE LA MESETA

- **La velocidad máxima se mantiene de 10 a 30 m.**
  - **Élite Mundial: más cerca de 30 m.**
  - **Subélite y Juveniles: más cerca de 10–15 m.**

CARACTERÍSTICAS DEL MANTENIMIENTO

- **Aunque se hable de "meseta", la velocidad máxima no es constante**
- **Se requiere un equilibrio entre longitud y frecuencia de zancada, que empieza a deteriorarse con la fatiga.**
- **El mantenimiento exige un alto grado de rigidez de los apoyos, eficiencia en la reutilización de energía elástica y resistencia neuromuscular**

Sprint running:
from fundamental mechanics to practice - a review
Haugen, T., McGhie, D., & Ettema, G.
European journal of applied physiology, 119(6), 1273-1287. 2019.

	n	30 m (s)	60 m (s)	80 m (s)	30–60 m (s)	60–80 m (s)	80–100 m (s)
100 m men							
9.58[a]	1	3.78	6.31	7.92	2.53	1.61	1.66
9.71–9.80	5	3.82 ± 0.01	6.37 ± 0.03	8.05 ± 0.03	2.55 ± 0.02	1.68 ± 0.03	1.72 ± 0.03
9.81–9.90	7	3.83 ± 0.04	6.42 ± 0.04	8.12 ± 0.02	2.60 ± 0.02	1.70 ± 0.03	1.75 ± 0.02
9.91–10.00	12	3.85 ± 0.04	6.46 ± 0.04	8.18 ± 0.04	2.61 ± 0.02	1.73 ± 0.01	1.77 ± 0.02
10.01–10.10	21	3.89 ± 0.04	6.51 ± 0.03	8.26 ± 0.03	2.62 ± 0.03	1.74 ± 0.01	1.79 ± 0.02
10.11–10.20	24	3.95 ± 0.04	6.60 ± 0.05	8.36 ± 0.05	2.64 ± 0.03	1.75 ± 0.01	1.81 ± 0.04
100 m women							
10.61–10.70	4	4.07 ± 0.02	6.89 ± 0.03	8.76 ± 0.03	2.82 ± 0.01	1.87 ± 0.02	1.90 ± 0.05
10.71–10.80	12	4.10 ± 0.03	6.94 ± 0.04	8.83 ± 0.03	2.84 ± 0.01	1.88 ± 0.02	1.93 ± 0.03
10.81–10.90	5	4.17 ± 0.06	6.99 ± 0.04	8.89 ± 0.03	2.85 ± 0.02	1.90 ± 0.01	1.95 ± 0.03
10.91–11.00	6	4.17 ± 0.07	7.05 ± 0.04	8.97 ± 0.03	2.87 ± 0.04	1.92 ± 0.02	1.99 ± 0.03
11.01–11.10	6	4.18 ± 0.05	7.09 ± 0.03	9.03 ± 0.02	2.89 ± 0.04	1.94 ± 0.02	2.01 ± 0.02
11.11–11.20	9	4.20 ± 0.05	7.15 ± 0.05	9.13 ± 0.04	2.95 ± 0.02	1.98 ± 0.02	2.04 ± 0.04

Multicomponent velocity measurement for linear sprinting: Usain Bolt's 100 m world-record analysis
Štuhec, S., Planjšek, P., Čoh, M., & Mackala, K.
Bioengineering, *10*(11), 1254. https://doi.org/10.3390/bioengineering10111254. 2023.

MUESTRA

Récord Mundial de Usain Bolt (9.58 s) de Berlín 2009)

LONGITUD Y DURACIÓN DE LA MESETA

- **Bolt mantuvo su velocidad máxima durante ≈52 m de la carrera.**
- **Temporalmente, equivale a ≈4.5–5.0 s de mantenimiento de velocidad máxima.**

DISTRIBUCIÓN DENTRO DE LA CARRERA



- **El inicio o ocurre después de los 50 m.**
- **Se extiende hasta prácticamente la línea de meta (≈100 m).**
  - **Solo con una leve desaceleración en los últimos 10–15 m.**
- **Bolt corrió 5 tramos consecutivos de 10 m a velocidades > 12 m/s.**

CARACTERIZACIÓN DE ZONA DE MANTENIMIENTO DE LA MÁXIMA VELOCIDAD

- **Aunque se habla de "mantenimiento", la velocidad no es constante.**
- **Hay microoscilaciones paso a paso, ligadas a la mecánica cíclica.**
- **Estas oscilaciones son menores en Bolt que en velocistas de menor nivel.**

Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed
Carmelo Bosco & Carlo Vittori
New Studies in Athletics, 1 39-45. 1986.

VELOCIDAD MÁXIMA vs. VELOCIDAD SUPRAMÁXIMA

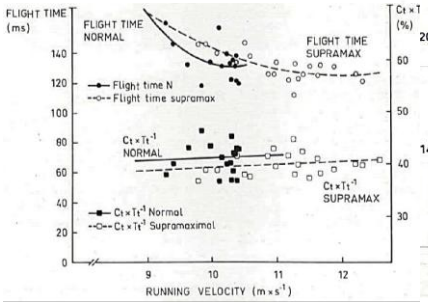
Correr más rápido que la propia velocidad máxima, mediante asistencia externa, mejora la velocidad sobre todo vía SL (y sólo un poco vía SF), con tiempos de contacto y fases de vuelo más breves
En élites, el margen de SL está más "techo-limitado" y el aumento se ve más en SF; En sub-élite, SL y SF pueden crecer
Esto justifica el "overspeed" (arrastres asistidos) como estímulo neuromotor si se dosifica bien para no alterar significativamente la técnica de carrera

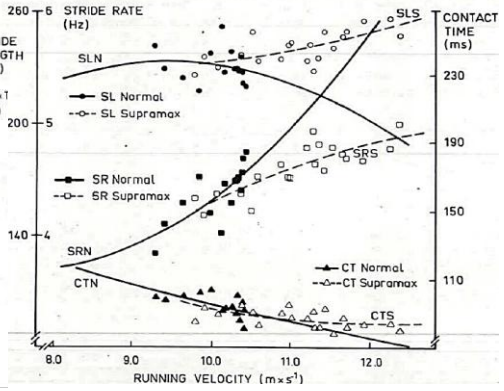
Variable	Velocidad Máxima Individual	Velocidad Supramáxima (asistida)	Cambio típico
Velocidad	V máxima	≈ 1.085 × Vmax	↑ ≈ 8–9%
Frecuencia (SF)	≈ 4.3–4.6 Hz	+ 1–2%	↑ Leve
Longitud (SL)	2.1–2.6 m (según nivel)	+ 5–7%	↑ Moderada
Tiempo Contacto	—	↓	Menor
Tiempo Vuelo	—	↑	Mayor

Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed
Carmelo Bosco & Carlo Vittori
New Studies in Athletics, 1 39-45. 1986.

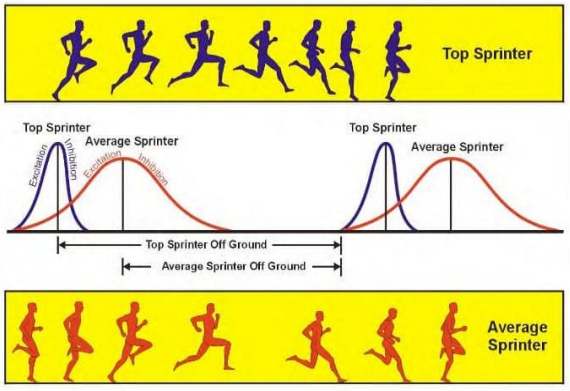
MUESTRA
3 velocistas italianos
MM: 10.33 ± 0.13 s
EDAD: 21.5 ± 2.1 años
ESTATURA: 177.3 cm
PC: 69.0 ± 7.0 kg
LP: 90.9 ± 0.8 cm

Tipo de Carrera	V m/s	LZ cm	FZ Hz	TC ms	TV ms	C/T %
Normal	**10.15** ±0.42	**225.8** ±4.3	**4.5** ±0.3	**92.8** ±3.1	**130.0** ±10.6	**41.6** ±1.5
Suprarápida	**11.60** ±0.92	**244.8** ±9.7	**4.7** ±0.7	**84.9** ±6.9	**126.0** ±5.7	**40.1** ±1.0
	P<0.01	P<0.02	NS	P<0.01	NS	NS





FACTORES BIOMECÁNICOS CLAVES



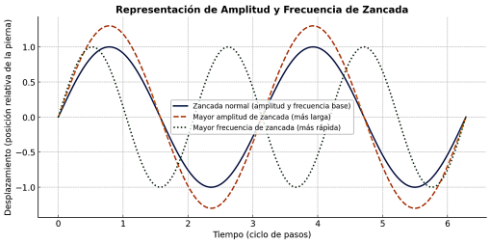
- **Frecuencia de Zancada Alta**: >4,5 pasos/segundo en élite.
- **Longitud de Zancada Optimizada**: sin sacrificar frecuencia.
- **Tiempos de Contacto Muy Cortos**: ~0,08-0,09 seg. en máxima velocidad.
- **Gran Fuerza de Reacción Contra el Suelo**: hasta 4-5 veces PC.

FACTORES CINEMÁTICOS DETERMINANTES DE LA VELOCIDAD DE CARRERA

AMPLITUD DE ZANCADA & FRECUENCIA DE ZANCADA

VELOCIDAD DE CARRERA (V) =

Longitud de Zancada (LZ) × Frecuencia de Zancada (FZ)



Los parámetros cinemáticos clave que determinan la velocidad en pruebas de sprint son la longitud y frecuencia de zancada, junto con los tiempos de apoyo y vuelo y la eficiencia técnica de las articulaciones

La combinación óptima de estos parámetros es individual y depende de factores morfológicos, fuerza-velocidad y capacidad de aplicar fuerza en apoyos ultrarrápidos y cortos

PARÁMETROS CINEMÁTICOS PRINCIPALES

1.Frecuencia de Zancada (Step Frequency)
- Número de pasos por unidad de tiempo (Hz).
- Atletas de élite suelen alcanzar 4,5–5 pasos/s.
- Alta frecuencia permite mantener/recuperar velocidad, sobre todo en fases de aceleración y máxima velocidad.

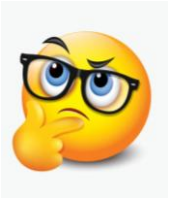
2.Longitud de Zancada (Step Length)
- Distancia horizontal cubierta por cada apoyo.
- En corredores élite: 2,3–2,8 m (dependiendo de la estatura).
- Depende de la fuerza de impulsión, ángulo de despegue, amplitud articular y elasticidad.



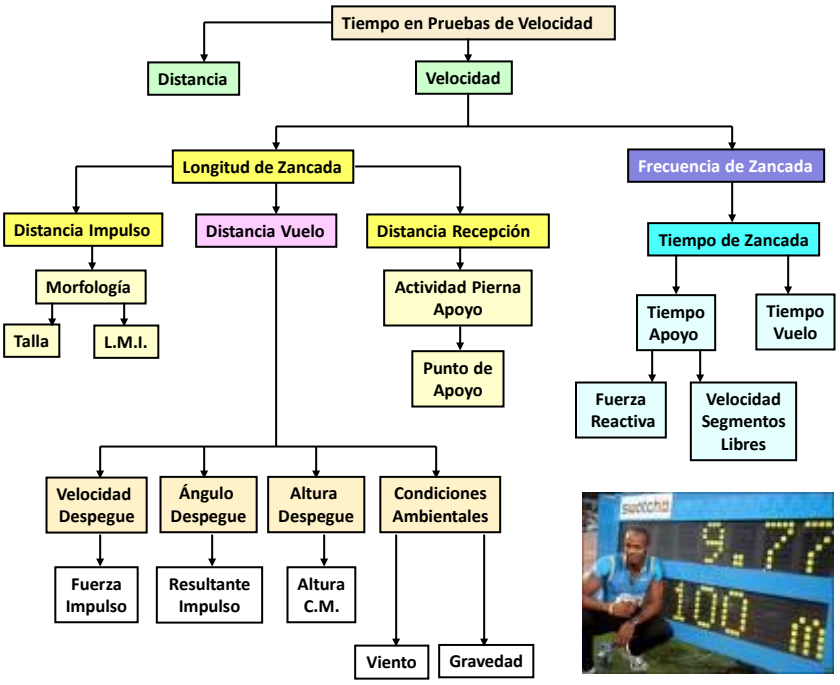
3.Tiempo de Apoyo (Contact Time)
- Duración del contacto del pie con el suelo.
- En velocidad máxima: 80–100 ms.
- Cuanto más corto (sin perder eficacia), mejor transmisión de fuerzas horizontales.

4.Tiempo de Vuelo (Flight Time)
- Tiempo entre el despegue de un pie y el apoyo del otro.
- Relacionado con la longitud de zancada.
- Valores muy altos aumentan la oscilación vertical y perjudican la economía de desplazamiento.

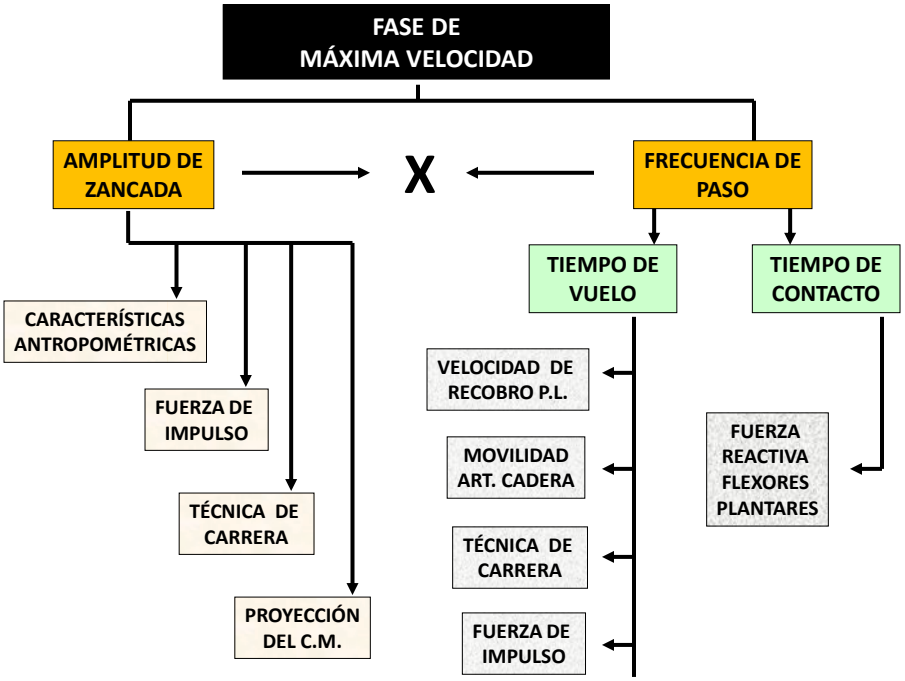
5.Altura del Centro de Masas (Vertical Oscillation)
- Un patrón técnico eficiente minimiza oscilaciones verticales innecesarias.
- Un exceso de rebote reduce la velocidad horizontal.

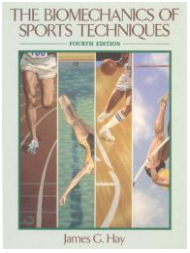


6.Ángulos Articulares Clave
- *Rodilla*: rápida recuperación del muslo en fase de recobro.
- *Tobillo*: rigidez elástico-refleja para un contacto reactivo.
- *Cadera*: amplitud en la extensión posterior y rapidez en la flexión anterior.


Tiempo en Pruebas de Velocidad
Distancia
Velocidad
Longitud de Zancada
Frecuencia de Zancada
Distancia Impulso
Distancia Vuelo
Distancia Recepción
Tiempo de Zancada
Morfología
Actividad Pierna Apoyo
Tiempo Apoyo
Tiempo Vuelo
Talla
L.M.I.
Punto de Apoyo
Fuerza Reactiva
Velocidad Segmentos Libres
Velocidad Despegue
Ángulo Despegue
Altura Despegue
Condiciones Ambientales
Fuerza Impulso
Resultante Impulso
Altura C.M.
Viento
Gravedad

9.77
100 m

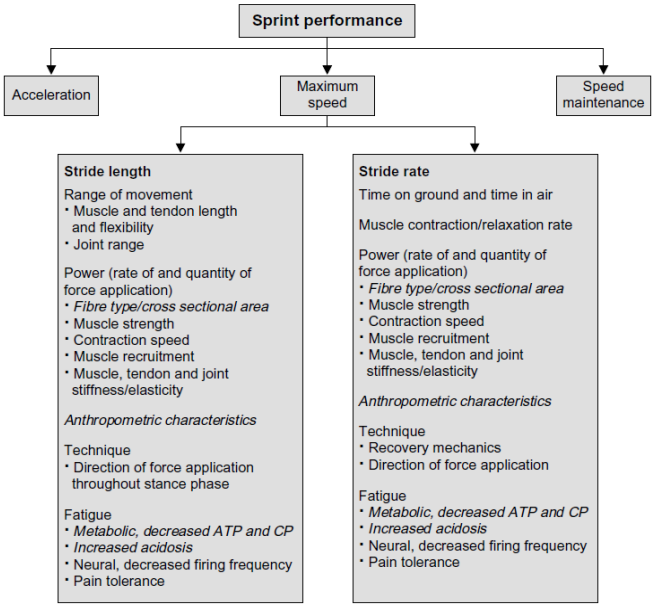

FASE DE MÁXIMA VELOCIDAD
AMPLITUD DE ZANCADA
X
FRECUENCIA DE PASO
CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS
FUERZA DE IMPULSO
TÉCNICA DE CARRERA
PROYECCIÓN DEL C.M.
TIEMPO DE VUELO
TIEMPO DE CONTACTO
VELOCIDAD DE RECOBRO P.L.
MOVILIDAD ART. CADERA
TÉCNICA DE CARRERA
FUERZA DE IMPULSO
FUERZA REACTIVA FLEXORES PLANTARES



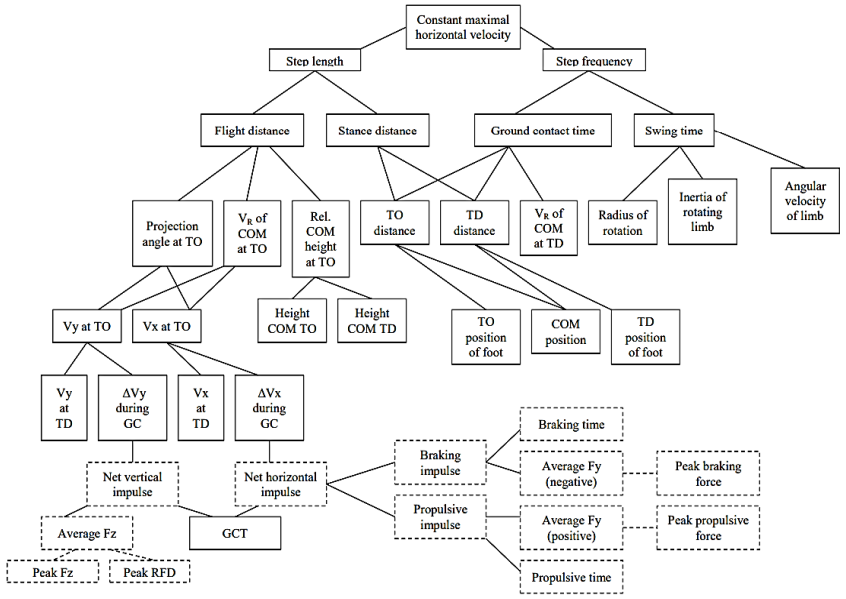
The Biomechanics of Sports Techniques
James G. Hay
London, Benjamin-Cummings Pub Co. 4th edit. 1993.



Neural Influences on Sprint Running Training Adaptations and Acute Responses
Angus Ross, Michael Leveritt & Stephan Riek
Sports Medicine, 31 (6), 409-425. 2005.



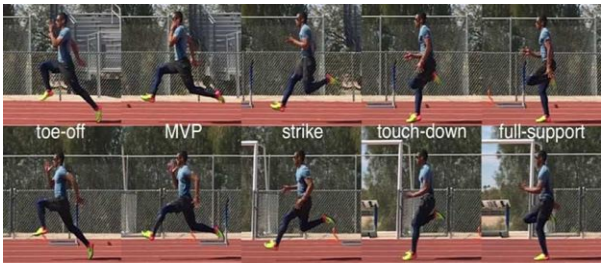
Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.



Training and valuation course for coaches
(TEMA 1. Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos)
Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso
UCAM & COE. 2025.

El análisis de la zancada alcanza un valor añadido con el
ALTIS Kinogram Method
el cual propone observar cinco momentos específicos dentro del ciclo:

- **Touchdown,**
- **Full Support,**
- **Toe-off,**
- **Máxima Proyección Vertical (MVP)**
- **Stride.**



Este enfoque ofrece una estructura visual que facilita la observación por parte del entrenador y la comprensión por parte del atleta

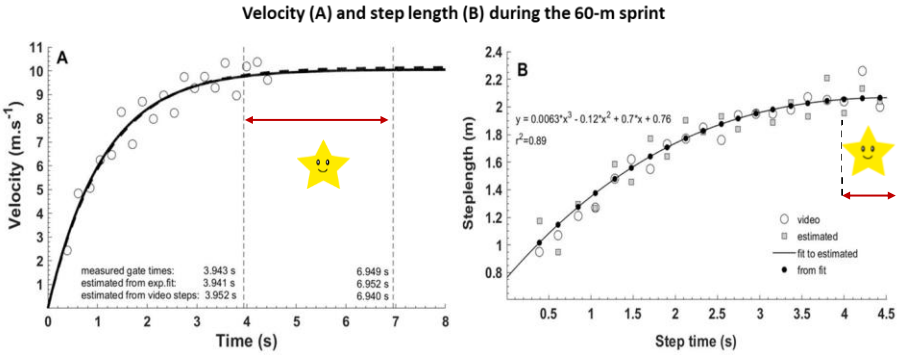
Para los jóvenes, ver una secuencia de imágenes consecutivas permite identificar errores concretos (i.e. apoyos retrasados o falta de extensión en el despegue) y asociar las correcciones a un momento visual del ciclo

Stride and Step Length Obtained with Inertial Measurement Units during Maximal Sprint Acceleration
Cornelis J. de Ruiter & Jaap H. van Dieën
Sports, 7, 202. https://doi.org/10.3390/sports7090202. 2019.

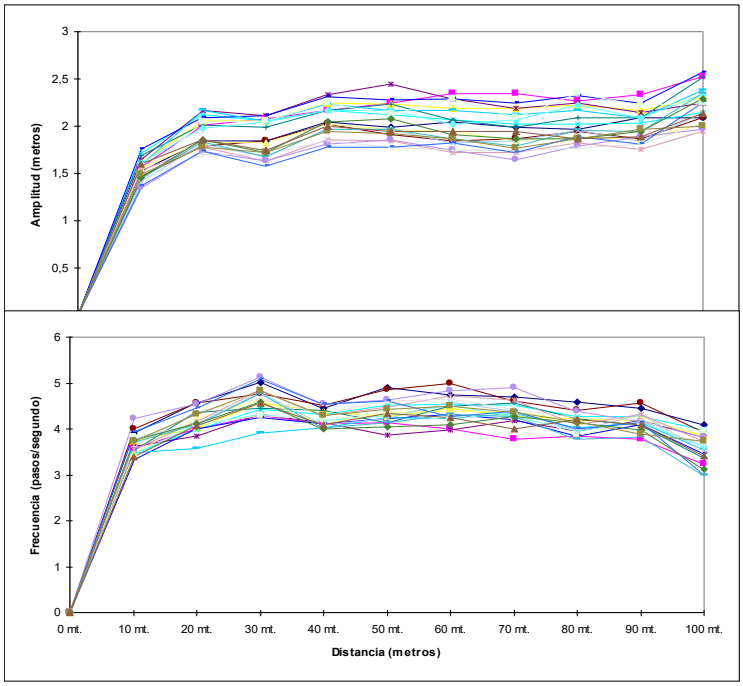
LA VELOCIDAD DE CARRERA ES EL PRODUCTO DE:
FRECUENCIA DE ZANCADA & LONGITUD DE ZANCADA

Mejor Marca personal de este atleta era de 10,85 s en 100 m

Figura 1A: muestra velocidad 30 m: 3,943 s (3,941, 3,952) y 60 m: 6,949 s, (6,952; 6,940)
Figura 1B: muestra TC para los primeros 20 pasos del sprint de 60 m y la LZ (cuadrados grises)



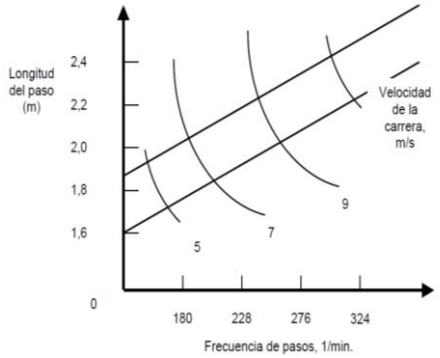
Comportamiento de los Parámetros de Amplitud y Frecuencia de Zancada en 21 (H: 11; M: 10) atletas jóvenes CAR-Barcelona



Comportamiento de los parámetros biomecánicos que condicionan la estructura técnica del paso de los sprinters cubanos en el tramo 50-60
Yanocci Enríquez Castillo
Instituto Superior de Cultura Física. Matanzas (Cuba). 2004.

En la Fase de Máxima Velocidad, la técnica de carrera se caracteriza por el ajuste fino entre longitud y frecuencia de paso, ya que la aceleración ha finalizado y se busca la mayor estabilidad posible en la zancada

En ese tramo de la carrera, el nivel de rendimiento depende de la capacidad de optimizar ambos parámetros en valores específicos e individualizados



Los sprinters de mayor nivel logran combinar altas FZ (>4.5–5 Hz, ≈270–300 pasos/min) con LZ relativamente grandes (2.20–2.40 m).

Eso les permite sostener velocidades en torno a 9–10 m/s.

Los corredores de menor nivel se quedan con FZ más bajas (≈180–220 pasos/min) y LZ más cortas (1.7–1.9 m), lo que se refleja en velocidades de 5–7 m/s.

Comportamiento de los parámetros biomecánicos que condicionan la estructura técnica del paso de los sprinters cubanos en el tramo 50-60
Yanocci Enríquez Castillo
Instituto Superior De Cultura Fisica. Matanzas (Cuba). 2004.

La LZ puede analizarse como la suma de 3 distancias parciales:

- Distancia entre la proyección del C.M. y el pie de apoyo en el momento del despegue;
- Distancia en la que el centro de gravedad se desplaza durante la fase de vuelo,
- Distancia entre proyección del C.M. y el pie al tomar contacto con el suelo.

Algunos autores plantean que la longitud media de zancada es 1,14 veces la Estatura, mientras que la máxima es 1,24 veces la Estatura o 2,15 veces la longitud del miembro inferior medido desde la cresta ilíaca

Tabasnick le adjudica a la amplitud máxima del paso un valor de 2,60 veces la longitud de la extremidad inferior desde el trocánter mayor del fémur

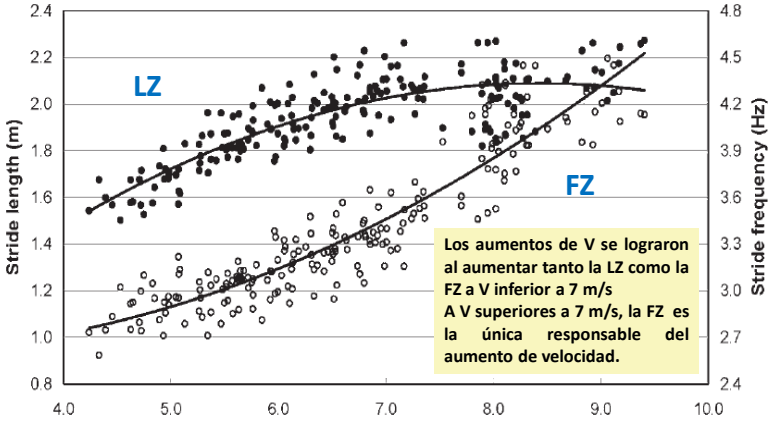
Ecuación para determinar, de manera teórica la **Frecuencia Máxima** de pasos **($FZ_{max.}$)** de un corredor una vez que éste alcanza su **Máxima Velocidad**:

$$\text{F. Máx. Zancada} = \frac{\text{Vel. Media (50-100 m) + 3\%}}{\text{L. Máx. Zancada (Tabasnick)}}$$

Factors Related to Top Running Speed and Economy
Nummela, A., Keränen T. & Mikkelsson, L. O.
International Journal Sports Medicine, 28, 655–661. 2007.

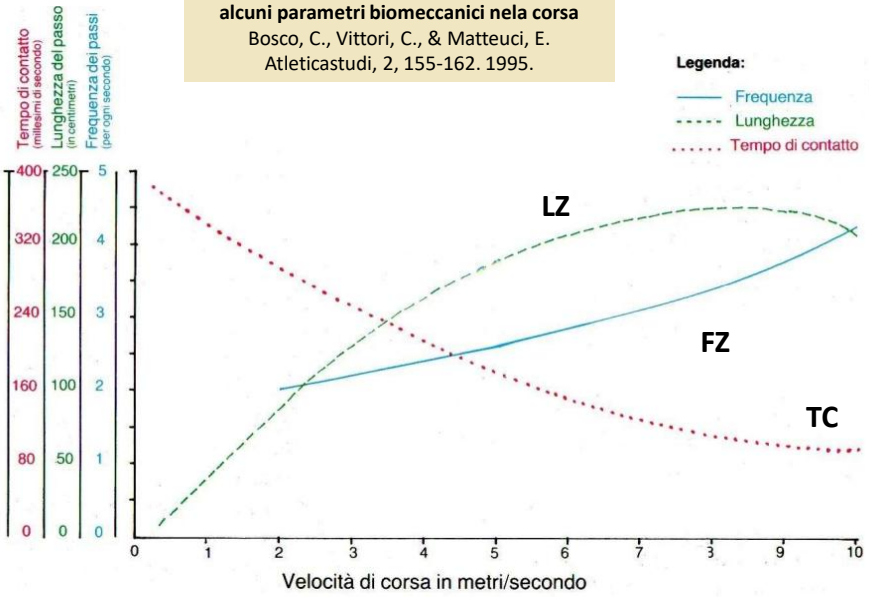
LZ y FZ de 25 corredores de características diferentes
corriendo a diferentes velocidades
(10 Corredores de Fondo; 8 Corredores de Orientación; 7 Triatletas)

Edad: 19.8±1.1 años; **Estatura**: 1.82±0.07 m: **PC**: 69.4±7.5 kg



Los aumentos de V se lograron al aumentar tanto la LZ como la FZ a V inferior a 7 m/s
A V superiores a 7 m/s, la FZ es la única responsable del aumento de velocidad.

Considerazioni sulle variazioni dinamiche di alcuni parametri biomeccanici nela corsa
Bosco, C., Vittori, C., & Matteuci, E.
Atleticastudi, 2, 155-162. 1995.



ELITE SPRINTING:
are athletes individually step-frequency or step-length reliant?
Salo, A. I., Bezodis, I. N., Batterham, A. M., & Kerwin, D. G.
Medicine and Science in Sports and Exercise, 43(6), 1055-1062. 2011.

Estudios previos generalmente identificaron solo una de estas variables como la principal causa de velocidades de carrera más rápidas

Entre atletas élite, existe una elevada variación en los patrones de rendimiento

En general, la dependencia de la SF o la SL es un fenómeno muy individual

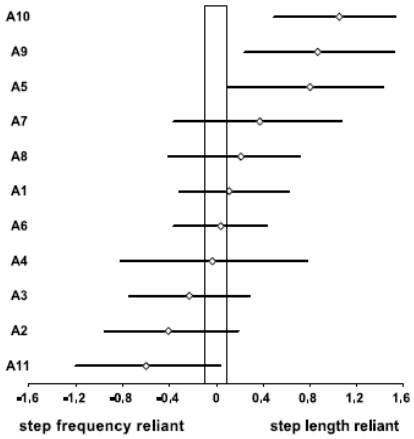
A10 presentó la mayor diferencia positiva de IC (dependencia SL), con valor de 1,05 (IC=0,50-1,53).

La mayor diferencia negativa entre SF y SL (dependencia de SF) se presentó para en A11, con un valor de ≤0,60 (IC de ≤1,20 a 0,03).

Se propone que se tenga en cuenta esta dependencia en el entrenamiento, ya que los atletas que dependen de la SF necesitan mantener su sistema nervioso preparado para un rápido cambio de piernas, mientras que los atletas que dependen de la SL requieren mayor concentración para mantener los niveles de fuerza.

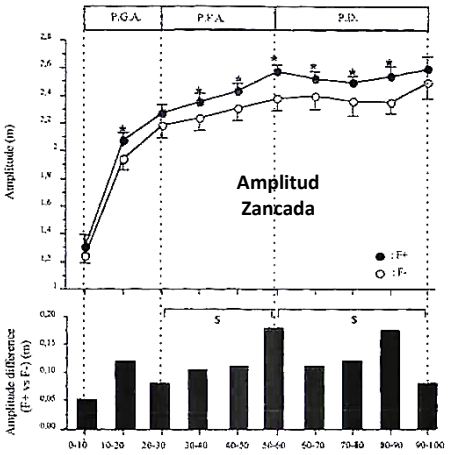
MUESTRA: 52 carreras de 100 m televisadas
11 atletas participaron en 10 o más carreras

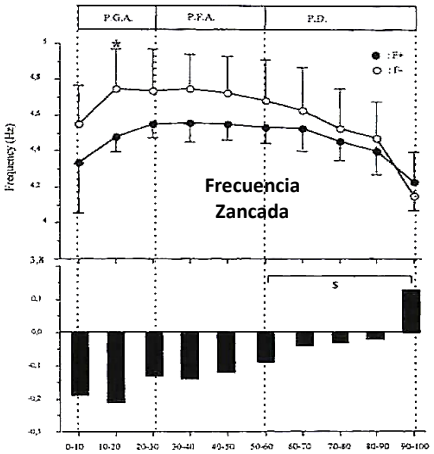
Los atletas realizaron carreras con diversas combinaciones de SF y SL



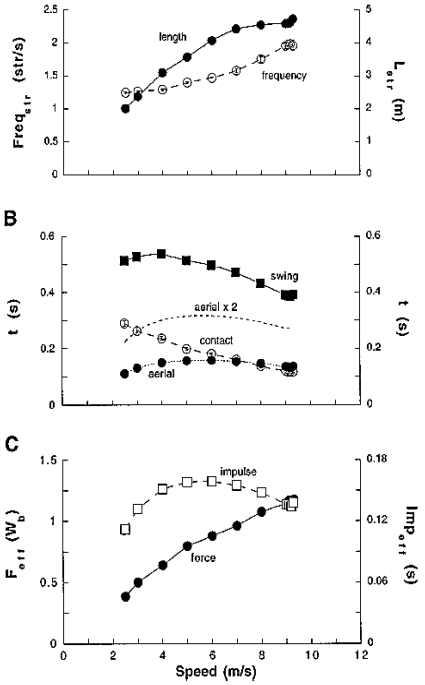
Evolution of stride and amplitude during course of the 100 m event in athletics
Gajer, G., Thepaut-Mathieu, C. & D. Lehenaff, D.
14(1), 43-50,1999.

MUESTRA: 12 corredores (Semifinales y Finales - C.N. Francia 1996)
Más Rápidos: n=6; Estatura: 1.81 m; PC: 76.2 kg; MM: 10.18 s (±0.05)
Menos Rápidos: n=6; Estatura: 1.81 m; PC: 71.8 kg; MM: 10.52 s (±0.08)





Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements
Peter G. Weyand, Deborah B. Sternlight,
Mattew J. Bellizzi & Seth Wright
Journal Applied Physiology, 89, 1991–1999. 2000.



A: El **aumento de velocidad** se logra principalmente por el aumento de la LZ a bajas velocidades y por aumento de FZ a altas velocidades.

B: El aumento de la **FZ** a velocidades más altas se debe a la reducción de los TC y los TV. Los tiempos de vuelo determinan ≈2/3 del período de oscilación de la pierna.

C: Las fuerzas de apoyo efectivo durante el contacto aumentó en proporción directa a la velocidad de carrera, mientras que los impulsos efectivos aumentan más lentamente a velocidades intermedias antes de disminuir hasta un valor mínimo a la máxima velocidad.

MÁXIMA VELOCIDAD

H: 2.15-2.30 m
M: 1.95-2.10 m

H: 4.20-4.65 Máx: 5.10-5.40
M: 4.10-4.60 Máx: 5.10-5.40

AMPLITUD DE ZANCADA

H: 43 – 46 (45) Zancadas
M: 46 – 49 (48) Zancadas

FRECUENCIA DE ZANCADA

Velocidad (m.seg-1)	Frecuencia (p/s)	5.25	5.00	4.80	4.55	4.35	4.20
12.00		2.28	2.40	2.50	2.64	2.75	2.86
11.75	Amplitud	2.24	2.35	2.45	2.58	2.70	2.80
11.50	de cada	2.19	2.30	2.40	2.53	2.64	2.74
11.25	Paso	2.14	2.25	2.34	2.47	2.59	2.69
11.00		2.09	2.20	2.29	2.41	2.53	2.62
10.75	(metros)	2.05	2.15	2.24	2.36	2.47	2.56
10.50		2.00	2.10	2.19	2.31	2.41	2.50
10.25		1.95	2.05	2.14	2.25	2.36	2.44
10.00		1.90	2.00	2.08	2.20	2.30	2.38

LONGITUD DE ZANCADA, & FRECUENCIA VS. VELOCIDAD MÁXIMA

los velocistas de élite corren más rápido porque logran pasos más largos (LZ) sin sacrificar la frecuencia (FZ), aplicando más Fuerza Horizontal en cada apoyo

VELOCIDAD = LZ × FZ

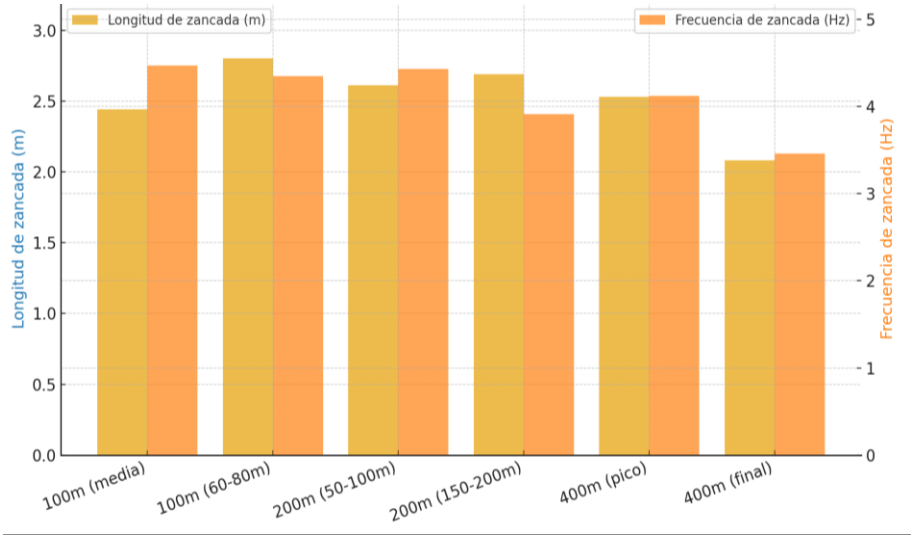
(Ambos factores no aportan lo mismo en cada fase de la carrera)

- **ACELERACIÓN INICIAL:**
  - Mejorar ambos parámetros es crucial.
    - Corredores élite logran zancadas largas muy pronto sin sacrificar frecuencia.
- **VELOCIDAD MÁXIMA:**
  - LZ marca la diferencia entre élite y sub-élite, mientras que los aumentos marginales de velocidad provienen de la frecuencia.
- **FASE DE FATIGA:**
  - Mejores velocistas mantienen mejor SL, mientras que SF suele caer en todos.
  - FZ es un denominador común (≈4.5 Hz).
  - Lo que diferencia a un 10.0 s de un 10.5 s es la LZ eficaz.

Comparación de la Longitud de Zancada (metros) y Frecuencia de Zancada (Hz) en distintas fases de carreras de 100 m, 200 m y 400 m (corredores masculinos de élite)

DISTANCIA	LONGITUD DE ZANCADA (m)	AMPLTUD DE ZANCADA (Hz)
100 m (media)	2.44	4.47
100 m (60-80 m)	2.80	4.35
200 m (50-100 m)	2.61	4.43
200 m (150-200 m)	2.69	3.91
400 m (Pico)	2.53	4.12
400 m (final)	2.08	3.46

Comparación de la longitud de zancada (metros) y frecuencia de zancada (Hz) en carreras de 100 m, 200 m y 400 m (corredores masculinos de élite)



LMI (cm)	LZ (cm)	Nº Pasos Salida Lanzada	Nº Pasos Salida Parada	Frecuencia 0-100 metros	Frecuencia 0-50 metros	Frecuencia 50-100 metros
Marca en 100 Metros: 10”15/100						
80 cm	2.08 cm	48.1	52.9	5.21 p/s	5.40 p/s	5.56 p/s
85 cm	2.21 cm	45.2	49.8	4.90 p/s	5.08 p/s	5.24 p/s
90 cm	2.34 cm	42.7	47.0	4.63 p/s	4.80 p/s	4.95 p/s
95 cm	2.47 cm	40.5	44.5	4.39 p/s	4.55 p/s	4.69 p/s
100 cm	2.60 cm	38.5	42.3	4.17 p/s	4.32 p/s	4.45 p/s
Marca en 100 Metros: 10”00/100						
80 cm	2.08 cm	48.1	52.9	5.29 p/s	5.49 p/s	5.66 p/s
85 cm	2.21 cm	45.2	49.8	4.98 p/s	5.17 p/s	5.33 p/s
90 cm	2.34 cm	42.7	47.0	4.70 p/s	4.88 p/s	5.03 p/s
95 cm	2.47 cm	40.5	44.5	4.45 p/s	4.63 p/s	4.77 p/s
100 cm	2.60 cm	38.5	42.3	4.23 p/s	4.40 p/s	4.53 p/s

LMI (cm)	LZ (cm)	Nº Pasos Salida Lanzada	Nº Pasos Salida Parada	Frecuencia 0-100 metros	Frecuencia 0-50 metros	Frecuencia 50-100 metros
Marca en 100 Metros: $10''60_{/100}$						
80 cm	2.08 cm	48.1	52.9	4.99 p/s	5.14 p/s	5.30 p/s
85 cm	2.21 cm	45.2	49.8	4.70 p/s	4.84 p/s	4.98 p/s
90 cm	2.34 cm	42.7	47.0	4.43 p/s	4.57 p/s	4.71 p/s
95 cm	2.47 cm	40.5	44.5	4.20 p/s	4.33 p/s	4.46 p/s
100 cm	2.60 cm	38.5	42.3	3.99 p/s	4.11 p/s	4.24 p/s
Marca en 100 Metros: $10''30_{/100}$						
80 cm	2.08 cm	48.1	52.9	5.13 p/s	5.31 p/s	5.47 p/s
85 cm	2.21 cm	45.2	49.8	4.83 p/s	5.00 p/s	5.15 p/s
90 cm	2.34 cm	42.7	47.0	4.56 p/s	4.72 p/s	4.86 p/s
95 cm	2.47 cm	40.5	44.5	4.32 p/s	4.47 p/s	4.61 p/s
100 cm	2.60 cm	38.5	42.3	4.11 p/s	4.25 p/s	4.38 p/s

Kinematics of sprinting in children and youths

Maarian Vanderka & Tomáš Kampmiller

New Studies in Athletics, 28, 35-45. 2013.



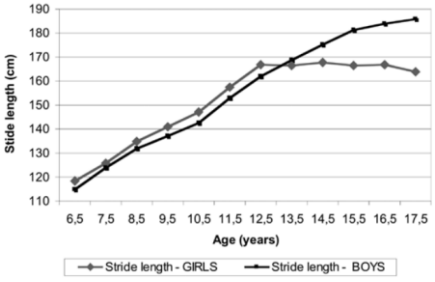
La velocidad de carrera es una capacidad motora humana básica y forma parte de la estructura del rendimiento en muchas disciplinas deportivas

Es bien sabido que resulta una difícil de desarrollar, ya que está sustancialmente condicionada por la herencia en los niveles del sistema nervioso central, la estructura de las fibras musculares y los sistemas energéticos, todos ellos difíciles de influir mediante el proceso de entrenamiento deportivo

En la práctica, los autores recomiendan que los entrenadores presten especial atención a la frecuencia de zancada y a la duración del apoyo, ya que son indicadores que permiten identificar a los jóvenes con mayor potencial de velocidad

Un atleta que se sitúe muy por encima de la media (2 o 3 desviaciones estándar más alto que sus compañeros) en estas variables, tiene muchas probabilidades de destacar si recibe un entrenamiento adecuado

Kinematics of sprinting in children and youths
Marian Vanderka & Tomáš Kampmiller
New Studies in Athletics, 28, 35-45. 2013.





Edad (años)	Velocidad niños (m/s)	Velocidad niñas (m/s)	Amplitud niños (m)	LZ niñas (m)	FZ niños (z/s)	FZ niñas (z/s)
10	5.5	5.3	1.50	1.40	4.4	4.3
12	6.2	6.0	1.70	1.60	4.4	4.3
14	7.0	6.7	1.90	1.75	4.3	4.2
16	8.0	7.2	2.10	1.85	4.3	4.2
18	9.0	7.4	2.20	1.90	4.2	4.1

RELACIÓN AMPLITUD & FRECUENCIA DE ZANCADA EN COMPETICIÓN





Rendimiento y Progresión de Muriel Hurtis
La técnica de Carrera de Velocidad
La preparación de Hurtis hasta Munich 2002
Guy Ontanon
Cuadernos de Atletismo Nº 50.
Congreso Internacional de Tenerife (2003)

Munich1972

FINAL DE 100 METROS JJ.OO. MUNICH 1972

VALERY FILIPPOVICH BORZOV (10.14)

	10 Metros	20 Metros	30 Metros	40 Metros	50 Metros	60 Metros	70 Metros	80 Metros	90 Metros	100 Metros
Frecuencia Zancada	**4.33**	**4.80**	**4.80**	**4.83**	**4.86**	**4.86**	**4.80**	**4.80**	**4.80**	**4.61**
Amplitud Zancada	**1.65**	**2.28**	**2.19**	**2.23**	**2.28**	**2.36**	**2.37**	**2.36**	**2.34**	**2.45**

The men's 100 metres.
Scientific Research Project at the 3rd IAAF World Championships in Athletics, Tokyo 1991
Ae, M., Ito, A., & Suzuki, M.
New Studies in Athletics, 7(1), 47–52. 1992.

la diferencia entre los dos grupos no está en "mover más rápido las piernas", sino en aplicar más fuerza para ganar LZ y mantenerla en fatiga

Variable	Top 4 (9.86–10.02 s)	5º–8º (10.08–10.26 s)	Diferencia Clave
Velocidad Máxima	11.8–12.0 m/s	11.3–11.5 m/s	+0.5 m/s en los más rápidos
Longitud de Zancada	2.25–2.70 m	2.10–2.40 m	+7–10% más larga en Top 4
Frecuencia de Zancada	4.3–4.6 Hz	4.3–4.6 Hz	Prácticamente igual
Tiempo de Apoyo	≈0.090 s	≈0.100–0.105 s	Más corto en Top 4
Tiempo de Vuelo	≈0.130–0.140 s	≈0.120–0.125 s	Ligeramente mayor en Top 4
Velocidad 70–100 m	Descenso leve	Descenso mayor	Top 4 mantienen mejor LZ y velocidad

Biomechanics Research Project in the IAAF

Biomechanics Analysis of the Men's 100 Meters Sprint

World Championships Daegu 2011

Ji-Seon Ryu (Corea del Sur)

Name	Finish Time (sec)	Reaction Time(sec)	Total Steps	Avg. Step Length(m)			Avg. Step Frequency(m/sec)		
				0-47m	-64m	-100m	0-47m	-64m	-100m
Usain BOLT (JAM)	10.10	0.153	40	2.24	2.83	2.71	3.96	4.02	3.86
Dwain CHAMBERS (GBR)	10.28	0.171	44	2.04	2.43	2.71	4.24	4.58	3.90
Angel David RODRIGUEZ (ESP)	10.37	0.172	47	1.96	2.27	2.38	4.41	4.82	4.41
Simon MAGAKWE (RSA)	10.53	0.150	50	1.74	2.13	2.71	4.84	5.09	3.88
Nilson ANDRE (BRA)	10.54	0.146	53	1.68	2.13	2.11	4.96	5.16	5.00
Gerald PHIRI (ZAM)	10.60	0.211	47	1.88	2.27	2.71	4.48	4.74	3.77
Abdouraim HAROUN (CHA)	10.72	0.179	46	1.96	2.43	2.38	4.28	4.30	4.29
Moudjib TOYB (COM)	11.12	0.157	48	1.88	2.27	2.38	4.32	4.45	4.07

A Kinematics Analysis of Three Best 100 M Performances Ever

Maćkała Krzysztof & Antti Mero

Journal of Human Kinetic 36, 149–160. 2013.

Parámetros cinemáticos seleccionados (tiempo y velocidad) de Usain Bolt en el sprint de 100 m

a) Olympic Games Beijing 2008

Distance [m]	Mean time [s]*	mean time [s]**	Total time	Mean velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	Each 20 m	Total	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.85	1.89	1.85	5.40	5.40	7.0	11.1	11.0	1.41	1.82	3.84	3.83
10-20	1.02	0.99	2.87	9.80	6.97	4.1			2.44		4.01	
20-30	0.91	0.90	3.78	10.99	7.94	4.0	8.0	19.0	2.50	2.50	4.39	4.49
30-40	0.87	0.86	4.65	11.49	8.60	3.9			2.56		4.48	
40-50	0.85	0.83	5.50	11.76	9.09	3.9	7.6	26.6	2.56	2.63	4.59	4.55
50-60	0.82	0.82	6.32	12.19	9.49	3.7			2.70		4.51	
60-70	0.82	0.81	7.14	12.19	9.80	3.8	7.4	34.0	2.63	2.70	4.63	4.51
70-80	0.82	0.82	7.96	12.19	10.05	3.6			2.77		4.39	
80-90	0.83	0.83	8.79	12.05	10.24	3.5	7.1	41.1	2.86	2.83	4.22	4.10
90-100	0.90	0.83	9.69	11.11	10.31	3.6			2.77		4.00	

A Kinematics Analysis of Three Best 100 M Performances Ever

Maćkała Krzysztof and Antti Mero

Journal of Human Kinetic 36, 149–160. 2013.

Numerical characteristics of selected kinematic parameters in the 100 m sprint:
a) Usain Bolt,
b) the rest of finalists

Kinematic parameters a) Usain Bolt		Olympic Games Beijing 2008	World Championships Berlin 2009	Olympic Games London 2012	Statistics from three competitions		
					$\bar{x}$	SD	V
Time [s]		9.69	9.58	9.63	9.63	0.06	0.57
Velocity [m/s]		10.32	10.44	10.38	10.38	0.06	0.58
Stride frequency [Hz]		4.24	4.23	4.29	4.25	0.03	0.76
Number of strides	All	41.1	40.92	41.4	41.13	0.25	0.61
	Take –off from LL	20.7	20.1	20.9	20.57	0.42	2.02
	Take –off from RL	20.4	20.8	20.5	20.57	0.21	1.01
Stride length [m]		2.43	2.47	2.41	2.44	0.03	1.25

Kinematic parameters b) the rest of finalists		Olympic Games Beijing 2008 (n=7) (1, 2, 3)			World Championships Berlin 2009 (n=7) (3)			Olympic Games London 2012 (n=6) (1, 4, 5)		
		$\bar{x}$	SD	V	$\bar{x}$	SD	V	$\bar{x}$	SD	V
Time [s]		9.96	0.05	0.51	9.91	0.10	1.06	9.86	0.10	0.93
Velocity [m/s]		10.04	0.05	0.51	10.09	0.11	1.01	10.15	0.09	0.92
Stride frequency [Hz]		4.55	0.21	4.68	4.53	0.20	4.41	4.38	0.19	4.44
Number of strides	All	45.69	2.17	4.75	44.91	1.77	3.94	44.45	1.99	4.48
	Take –off from LL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Take –off from RL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stride length [m]		2.19	0.11	4.84	2.23	0.09	3.93	2.25	0.10	4.50

1 data from Waren Doscher; 2 data from adrian.sport.com ; 3 data from IAAF –Berlin 2009
4 data from speedendurance.com; 5 hypothetical assumption based on IAAF data

A Kinematics Analysis Of Three Best 100 M Performances Ever

Maćkała Krzysztof & Antti Mero

Journal of Human Kinetic 36, 149–160. 2013.

Parámetros cinemáticos seleccionados (tiempo y velocidad)
de Usain Bolt en el sprint de 100 m

c) Olympic Games - London 2012												
Distance [m]	Average time [s]*	Total time [s]	Total time [s]**	Average velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	20 m Section	Tota l	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.91	1.91		5.23	5.23	7.3	11.5	11.5	1.37	1.74	3.82	3.94
10-20	1.01	2.92	2.93	9.90	6.84	4.2			2.38		4.16	
20-30	0.92	3.84		10.87	7.81	4.1	8.0	19.5	2.44	2.50	4.45	4.49
30-40	0.86	4.70	4.69	11.63	8.51	3.9			2.56		4.54	
40-50	0.84	5.54		11.90	9.02	4.0	7.8	27.3	2.50	2.56	4.76	4.70
50-60	0.82	6.36	6.35	12.19	9.43	3.8			2.63		4.63	
60-70	0.81	7.17		12.34	9.76	3.6	7.0	34.3	2.78	2.86	4.44	4.32
70-80	0.81	7.98	7.96	12.34	10.02	3.4			2.94		4.20	
80-90	0.82	8.80		12.19	10.23	3.6	7.1	41.4	2.78	2.82	4.38	4.30
90-100	0.83	9.63	9.63	12.05	10.38	3.5			2.86		4.21	

FINAL DE 100 M DE LOS JJ.OO. DE ATLANTA 1996

Manuel Pascua Piqueras (2005)

ATLETA	MARCA (s)	Nº ZANCADAS	LZ (media)	LZ (máxima)	FZ (media)	FZ (máxima)
Donovan Bailey	**9.84**	44.25	2.25	2.39	4.49	4.76
Frankie Fredericks	**9.89**	46,50	2.15	2.28	4.70	4.98
Ato Boldon	**9.90**	45.50	2.19	2.32	4.59	4.87
Dennis Mitchel	**9.99**	45.50	2.19	2.32	4.55	4.82
Michael Marsh	**10.00**	43.50	2.29	2.43	4.35	4.61
Davidson Ezinwa	**10.14**	45.50	2.19	2.32	4.48	4.75
Michael Green	**10.16**	47.25	2.11	2.24	4.65	4.92

Evolution of stride and amplitude during course of the 100 m performance

Gajer, B., Thépaut-Mathieu, C., & Lehenaff, D.
New Studies in Athletics, 14(1), 43–50. 1999.

Fase / Variable	Internacional (10.18 s)	Nacional (10.52 s)	Diferencia clave
Velocidad máxima	≈11.1 m/s (40–60 m)	≈10.6 m/s (40–60 m)	+0.5 m/s a favor de internacionales
Longitud Zancada	≈2.25 m	≈2.10 m	+7% mayor en internacionales
Frecuencia Zancada	≈4.5 Hz	≈4.5 Hz	Prácticamente igual
0–30 m (aceleración)	LZ crece más rápido (≈1.80 m alcanzados antes)	LZ más baja (≈1.70 m)	Internacionales consiguen amplitud antes
40–60 m (velocidad máxima)	velocidad y LZ máxima	Ligeramente más tarde, con valores inferiores	Intern. más explosivos en transición
70–100 m (desaceleración)	Mantienen mejor LZ y limitan caída de V	Pierden velocidad y amplitud más rápido	Mejor capacidad de resistir fatiga

- **No es FZ lo que distingue a un 10.1 de un 10.5: ambos mueven las piernas a ≈4,5 Hz.**
- **La diferencia está en aplicar más fuerza por apoyo, que se traduce en zancadas más largas y en mantenerlas más estables al final.**
- **Los velocistas internacionales tienen una mayor producción de fuerza horizontal en la aceleración y una menor pérdida de LZ en la fase de fatiga.**

Evolution of stride and amplitude during course of the 100 m event in athletics

Gajer, B., Thepaut-Mathieu, C. & Lehenaff, D.
New Studies in Athletics, 14(1), 43-50. 1999.

MUESTRA

Puestos (1-4): Estatura: 181±4.4; PC: 76.2±2.7; MM: 10.18±0.05 s

Puestos (5-8): Estatura: 181±4.4; PC: 76.2±2.7; MM: 10.18±0.05 s

	AMPLITUD ZANCADA			FRECUENCIA ZANCADA		
	Finalists (m)	A Finishers 1-4 (m)	B Finishers 5-8 (m)	Finalists (Hz)	A Finishers 1-4 (Hz)	B Finishers 5-8 (Hz)
0 - 10 m	1.36 ± 0.06	1.40 ± 0.09	1.33 ± 0.07	3.90 ± 0.31	3.89 ± 0.28	3.90 ± 0.39
10 - 20 m	1.91 ± 0.03	1.91 ± 0.03	1.91 ± 0.03	4.76 ± 0.27	4.88 ± 0.08	4.65 ± 0.36
20 - 30 m	2.36 ± 0.05	2.37 ± 0.05	2.36 ± 0.06	4.59 ± 0.12	4.58 ± 0.09	4.61 ± 0.16
30 - 40 m	2.48 ± 0.09	2.51 ± 0.03	2.46 ± 0.12	4.52 ± 0.16	4.50 ± 0.13	4.53 ± 0.21
40 - 50 m	2.47 ± 0.12	2.52 ± 0.12	2.43 ± 0.11	4.67 ± 0.22	4.63 ± 0.21	4.71 ± 0.25
50 - 60 m	2.39 ± 0.09	2,44 ± 0.10	2.34 ± 0.06	4.79 ± 0.18	4.75 ± 0.19	4.83 ± 0.19
60 -70 m	2.42 ± 0.07	2.47± 0.05	2.38 ± 0.07	4.74 ± 0.14	4.72 ± 0.11	4.76 ± 0.11
70 - 80 m	2.56 ± 0.11	2.59 ± 0.10	2.53 ± 0.12	4.57 ± 0.17	4.57 ± 0.13	4.56 ± 0.24
80 - 90 m	2.52 ± 0.09	2.54 ± 0.09	2.50 ± 0.09	4.45 ± 0.17	4.44 ± 0.15	4.45 ± 0.20
90 - 100m	2.55 ± 0.12	2.6 ± 0.13	2.49 ± 0.09	4.38 ± 0.21	4.39 ± 0.20	4.38 ± 0.24

Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres

Krzyszlof Mackala
New Studies in Athletics, 22(2), 7-16. 2007.

1

3rd World Championships in Athletics, Tokio 1991

Place	Name	Variables	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
1	Lewis (USA)	Stride Frequency	3.83	4.81	4.45	4.41	4.66	4.86	4.76	4.45	4.34	4.53
		Stride length	1.39	1.92	2.44	2.55	2.56	2.42	2.50	2.71	2.65	2.57
		Time	1.88	2.96	3.88	4.77	5.61	6.46	7.30	8.13	9.00	9.86
		Velocity	5.31	9.26	10.87	11.24	11.90	11.76	11.90	12.05	11.49	11.63
2	Burrell (USA)	Stride Frequency	3.59	4.81	4.61	4.43	4.41	4.50	4.57	4.50	4.34	4.23
		Stride length	1.52	1.96	2.38	2.57	2.61	2.58	2.52	2.64	2.59	2.71
		Time	1.83	2.89	3.80	4.68	5.55	6.41	7.28	8.12	9.01	9.88
		Velocity	5.46	9.43	10.99	11.36	11.49	11.63	11.49	11.90	11.24	11.49
3	Mitchell (USA)	Stride Frequency	4.28	4.96	4.61	4.70	4.92	4.94	4.74	4.60	4.67	4.61
		Stride length	1.30	1.88	2.33	2.42	2.34	2.33	2.46	2.53	2.43	2.44
		Time	1.80	2.87	3.80	4.68	5.55	6.42	7.28	8.14	9.04	9.92
		Velocity	5.56	9.35	10.75	11.36	11.49	11.49	11.63	11.63	11.36	11.24
4	Christie (GBR)	Stride Frequency	3.89	4.95	4.65	4.48	4.54	4.72	4.84	4.75	4.44	4.20
		Stride length	1.39	1.91	2.34	2.51	2.59	2.46	2.40	2.48	2.50	2.71
		Time	1.85	2.91	3.83	4.72	5.57	6.43	7.29	8.14	9.04	9.92
		Velocity	5.41	9.43	10.87	11.24	11.76	11.63	11.63	11.76	11.11	11.36

Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres
Krzyszlof Mackala
New Studies in Athletics, 22(2), 7-16. 2007.

2

3rd World Championships in Athletics, Tokio 1991

5	Fredericks (NAM)	Stride Frequency	4.31	4.36	4.61	4.59	4.91	5.02	4.96	4.80	4.66	4.37
		Stride length	1.25	1.94	2.36	2.39	2.34	2.29	2.35	2.45	2.41	250
		Time	1.86	2.92	3.84	4.73	5.60	6.47	7.33	8.18	9.07	9.95
		Velocity	5.38	9.43	10.87	11.24	11.49	11.49	11.63	11.76	11.24	11.36
6	Steward (JAM)	Stride Frequency	3.37	5.02	4.85	4.79	4.90	4.97	4.83	4.55	4.58	4.73
		Stride length	1.43	1.86	2.27	2.35	2.38	2.31	2.35	2.52	2.43	2.35
		Time	1.81	2.88	3.79	4.68	5.54	6.41	7.29	8.16	9.06	9.96
		Velocity	5.52	9.35	10.99	11.24	11.63	11.49	11.36	11.49	11.11	11.11
7	da Silva (BRA)	Stride Frequency	3.96	4.91	4.49	4.27	4.36	4.61	4.73	4.69	4.36	4.16
		Stride length	1.32	1.92	2.40	2.63	2.60	2.44	2.35	2.45	2.55	2.57
		Time	1.91	2.97	3.90	4.79	5.67	6.56	7.5	8.32	9.22	10.12
		Velocity	5.24	9.43	10.75	11.24	11.36	11.24	11.24	11.49	11.11	11.11
8	Surin (CAN)	Stride Frequency	3.98	4.32	4.52	4.49	4.67	4.75	4.54	4.23	4.21	4.27
		Stride length	1.34	1.94	2.41	2.48	2.41	2.34	2.50	2.72	2.61	2.55
		Time	1.88	2.95	3.87	4.77	5.66	6.56	7.44	8.31	9.22	10.14
		Velocity	5.31	9.20	10.87	11.11	11.24	11.11	11.36	11.49	10.99	10.87

Factors Related to Top Running Speed and Economy
Nummela, A., Keränen T. & Mikkelsson, L. O.
International Journal Sports Medicine, 28, 655–661. 2007.

LZ y FZ de 25 corredores de características diferentes
corriendo a diferentes velocidades
(10 Corredores de Fondo; 8 Corredores de Orientación; 7 Triatletas)

Edad: 19.8±1.1 años; **Estatura**: 1.82±0.07 m: **PC**: 69.4±7.5 kg

1. **RELACIÓN VELOCIDAD–LONGITUD DE ZANCADA:**
   - **LZ aumenta con la velocidad hasta un cierto punto (≈8–9 m/s).**
   - **Luego se estabiliza o crece más lentamente (no se alarga indefinidamente).**
2. **RELACIÓN VELOCIDAD–FRECUENCIA DE ZANCADA:**
   - **FZ aumenta de manera casi lineal con la velocidad, sin el mismo "tope" que LZ.**
   - **Para alcanzar velocidades muy altas, FZ se convierte en el factor determinante.**
3. **INTERACCIÓN ENTRE AMBAS VARIABLES:**
   - **A velocidades moderadas, los corredores pueden mejorar tanto alargando como incrementando la frecuencia.**
   - **A velocidades cercanas a las máximas, FZ es el factor decisivo, ya que LZ ya está cerca de su límite biomecánico.**

Mid-phase movements of Tyson Gay and Asafa Powell in the 100 metres at the 2007 World Championships in Athletics
Akira Ito, Koji Fukuda & Kota Kijima
New Studies in Athletics, 23(2), 39-43. 2008.



Relaciones entre la Velocidad de Carrera, la Frecuencia del Paso y la Longitud de Zancada

COMPARACIÓN ENTRE ASAFA POWELL & TYSON GAY



Ambos corredores son ejemplos de técnica eficiente en la fase de máxima velocidad:
Demuestran que no hay necesidad de "*pisar justo bajo el centro de gravedad*" ni de extender activamente rodilla o tobillo

Ambos mantienen una rodilla flexionada en el apoyo (TC) para optimizar la transferencia de potencia

Gay y Powell representan estilos diferentes con resultados similares:

- Tyson Gay se apoya más en una zancada larga;
- Asafa Powell se apota en frecuencia más alta.

Demuestra que varios estilos técnicos pueden ser exitosos si están coordinados adecuadamente

Este análisis permite cuestionar estrategias tradicionales que suelen hacerse durante los entrenamientos (i.e. insistir en extender rodilla/tobillo durante apoyo) y valorar la importancia del ángulo y la cinemática apropiada

Mid-phase movements of Tyson Gay and Asafa Powell in the 100 metres at the 2007 World Championships in Athletics
Akira Ito, Koji Fukuda & Kota Kijima
New Studies in Athletics, 23(2), 39-43. 2008.

EN LA "FASE MEDIA" (*MOE-PHASE*) DE LA CARRERA:

Ambos corredores mantienen una alta FZ y LZ con similar ángulo máximo de muslo y mínimo ángulo de la rodilla

Tyson Gay: 9.85 s

Muslo: 65º; Rodilla: 41º; FZ: 4.90 p/s; LZ: 2.42 m; CM-TC: 0.31 m

Asafa Powell: 9.87 s

Muslo: 70º; Rodilla: 38º; FZ: 4.96 p/s; LZ: 2.40 m; CM-TC: 0.31 m

Estos valores indican una alta eficiencia y un poderoso estilo de carrera





SCIENTIFIC RESEARCH PROJECT
BIOMECHANICAL ANALYSES
12th IAAF World Championships in Athletics 2009
Helmar Hommel

Bolt Usain	JAM	9,58		Averaged Steplength	Averaged Stepfrequency
			dt	dl	df
		[s]	[s]	[m]	[1/s]
	reaction time	0,146		No. of steps:	40,92
	0-20m	2,74	2,89	1,78	3,89
	20-40m		1,75	2,52	4,54
	40-60m		1,67	2,67	4,49
	60-80m		1,61	2,77	4,49
	80-100m		1,66	2,85	4,23

Gay Tyson	USA	9,71			
	reaction time	0,14		No. of steps:	45,94
	0-20m	2,78	2,92	1,63	4,20
	20-40m		1,78	2,25	5,00
	40-60m		1,69	2,42	4,88
	60-80m		1,63	2,48	4,94
	80-100m		1,69	2,36	5,02

Powell Asafa	JAM	9,84			
	reaction time	0,13		No. of steps:	44,45
	0-20m	2,78	2,91	1,63	4,21
	20-40m		1,80	2,31	4,81
	40-60m		1,71	2,49	4,71
	60-80m		1,68	2,51	4,74
	80-100m		1,74	2,65	4,33

Bailey Daniel	ANT	9,93			
	reaction time	0,13		No. of steps:	47,84
	0-20m	2,79	2,92	1,55	4,42
	20-40m		1,81	2,12	5,22
	40-60m		1,75	2,27	5,03
	60-80m		1,70	2,34	5,03
	80-100m		1,75	2,46	4,65

SCIENTIFIC RESEARCH PROJECT
BIOMECHANICAL ANALYSES
12th IAAF World Championships in Athletics 2009
Helmar Hommel

Fraser Shelly-Ann	JAM	10,73		Averaged Steplength	Averaged Stepfrequency
			dt	dl	df
		[s]	[s]	[m]	[1/s]
	reaction time	0,146		No. of steps:	49,58
	0-20m	2,88	3,03	1,59	4,15
	20-40m		1,95	2,09	4,91
	40-60m		1,90	2,19	4,82
	60-80m		1,89	2,18	4,86
	80-100m		1,96	2,20	4,65

Stewart Kerron	JAM	10,75			
	reaction time	0,170		No. of steps:	47,46
	0-20m	2,94	3,11	1,59	4,05
	20-40m		1,96	2,17	4,70
	40-60m		1,89	2,28	4,65
	60-80m		1,86	2,33	4,62
	80-100m		1,93	2,42	4,29

Jeter Carmelita	USA	10,83			
Semifinal 2	reaction time	0,14		No. of steps:	49,48
	0-20m	2,98	3,12	1,52	4,21
	20-40m		1,97	2,10	4,83
	40-60m		1,91	2,22	4,71
	60-80m		1,89	2,22	4,76
	80-100m		1,94	2,27	4,54

Campbell-Brown Veronica	JAM	10,95			
	reaction time	0,135		No. of steps:	49,50
	0-20m	2,99	3,12	1,57	4,09
	20-40m		2,00	2,07	4,83
	40-60m		1,94	2,19	4,71
	60-80m		1,91	2,19	4,79
	80-100m		1,98	2,28	4,44

ELITE SPRINTING:
Are Athletes Individually Step-Frequency or Step-Length Reliant?
Salo A. I. T., Bezodis IN, Batterham AM & Kerwin DG.
Medicine Science Sports & Exercise,
43(6), 1055–1062, 2011.

MUESTRA

11 atletas - 52 carreras

Incluye varios Campeonatos Olímpicos, Mundiales y Europeos, competiciones de Grand Prix de la IAAF, Copas de Europa y algunos campeonatos nacionales

Athlete	No. of Races	Mean Time (s)	SD (s)
A1	21	10.02	0.12
A2	27	10.08	0.09
A3	23	10.05	0.12
A4	20	10.12	0.12
A5	15	10.17	0.10
A6	15	10.12	0.13
A7	17	10.08	0.08
A8	16	10.16	0.08
A9	10	10.12	0.06
A10	14	10.17	0.12
A11	11	10.18	0.14
Mean	17	10.12	

	SL (m)			SF (Hz)		
Athlete	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
A1	2.14	2.27	2.20	4.62	4.91	4.75
A2	2.18	2.28	2.23	4.50	4.77	4.66
A3	2.01	2.11	2.07	4.91	5.19	5.05
A4	2.07	2.21	2.14	4.64	4.94	4.83
A5	2.12	2.23	2.17	4.66	4.82	4.74
A6	2.20	2.28	2.24	4.54	4.73	4.63
A7	2.13	2.24	2.18	4.67	4.86	4.76
A8	2.28	2.34	2.30	4.43	4.54	4.47
A9	2.28	2.34	2.31	4.44	4.51	4.48
A10	2.13	2.24	2.19	4.65	4.76	4.71
A11	2.14	2.22	2.18	4.62	4.84	4.73
Mean	2.15	2.25	2.20	4.61	4.81	4.71

El estudio muestra que existe una elevada variación en los patrones de rendimiento que existe entre los atletas de élite

En general, SF o SL muestran un comportamiento altamente individual

Se propone que atletas deben tener en cuenta este comportamiento en la elaboración de su entrenamiento, ya que atletas que dependen de SF necesitan mantener su sistema neuronal listo para un cambio rápido de la acción de sus piernas y los que dependen de SL requieren más concentración en mantener la fuerza.

Usain Bold – Biomechanical model of sprint technique
Milan Čoh
Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport, 17(1), 1-13. 2019.

Finalistas de 100 m en el IAAF World Challenge. Zagreb (2011)

PARÁMETRO	Usain Bolt (JAM)	Kim Collins (SKN)	Richard Thompson (TRI)	Saidy Ndure (NOR)	Mario Forsythe (JAM)	Justin Gatlin (USA)	Ivory Williams (USA)
T-100 m	**9.85**	**10.01**	**10.03**	**10.13**	**10.16**	**10.17**	**10.37**
TR (ms)	0,194	0,181	0,177	0,167	0,188	0,177	0,156
V (m/s)	10.15	9.99	9.97	9.87	9.84	9.83	9.64
Nº Pasos	41.00	49.29	44.50	43.25	46.50	43.25	49.00
FZ Media	4.166	4.92	4.44	4.27	4.58	4.25	4.73
LZ Media	2.44	2.03	2.25	2.31	2.15	2.31	2.04

Usain Bold – Biomechanical model of sprint technique

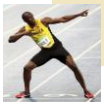
Milan Čoh

Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport, 17(1), 1-13. 2019.

Datos de Usain Bolt en Diferentes Carreras (2008-2012)

PARÁMETRO	BEIJING 2008	BERLIN 2009	ZAGREB 2011	LONDRES 2012
T-100 m (s)	9.69	9.58	9.85	9.63
TR (ms)	0.166	0.146	0.194	0.165
V_{media} (km/h)	37.15	37.57	36.54	37.36
$V_{máxima}$ (km/h)	43.91	44.72	43.70	44.70
$V_{máxima}$ (m/s)	12.20	12.42	12.14	12.41
Tramo más Rápido	60-80 m	60-80 m	70-90 m	60-80 m
Punto Máxima Velocidad	-//-	65.03 m	-//-	-//-
Número Zancadas	41.50	40.92	41.00	41.30
LZ (m)	2.41	2.44	2.44	2.42
FZ (pasos/s)	4.28	4.27	4.16	4.37

A kinematics analysis of three best 100 m performances ever



Maćkała Krzysztof & Antti Mero

Journal of Human Kinetics, 36, 149-160. 2013.

USAIN BOLT (JAM)

Parameters	Olympic Games Beijing 2008 (1)			World Championships Berlin 2009 (2)			Olympic Games London 2012 (3)		
	UsainBolt	Other Finalists		Usain Bolt	Other Finalists		Usain Bolt	Other Finalists	
		$\bar{x}$	SD		$\bar{x}$	SD		$\bar{x}$	SD
Age (year)	22	25.3	2.93	23	26.7	4.07	26	27.0	3.26
Body mass (kg)	90	76.7	6.41	90	79.0	8.01	93	80.4	8.27
Body height (m)	196	176	3.64	196	177.3	6.40	196	179.4	8.10
BMI (kg /m²)	23.4	25.5	2.34	23.4	22.5	2.26	24.2	24.9	1.58

Kinematic parameters a) Usain Bolt		Olympic Games Beijing 2008	World Championships Berlin 2009	Olympic Games London 2012	Statistics from three competitions		
					$\bar{x}$	SD	V
Time [s]		9.69	9.58	9.63	9.63	0.06	0.57
Velocity [m/s]		10.32	10.44	10.38	10.38	0.06	0.58
Stride frequency [Hz]		4.24	4.23	4.29	4.25	0.03	0.76
Number of strides	All	41.1	40.92	41.4	41.13	0.25	0.61
	Take –off from LL	20.7	20.1	20.9	20.57	0.42	2.02
	Take –off from RL	20.4	20.8	20.5	20.57	0.21	1.01
Stride length [m]		2.43	2.47	2.41	2.44	0.03	1.25

Kinematic parameters b) the rest of finalists		Olympic Games Beijing 2008 (n=7) (1, 2, 3)			World Championships Berlin 2009 (n=7) (3)			Olympic Games London 2012 (n=6) (1, 4, 5)		
		$\bar{x}$	SD	V	$\bar{x}$	SD	V	$\bar{x}$	SD	V
Time [s]		9.96	0.05	0.51	9.91	0.10	1.06	9.86	0.10	0.93
Velocity [m/s]		10.04	0.05	0.51	10.09	0.11	1.01	10.15	0.09	0.92
Stride frequency [Hz]		4.55	0.21	4.68	4.53	0.20	4.41	4.38	0.19	4.44
Number of strides	All	45.69	2.17	4.75	44.91	1.77	3.94	44.45	1.99	4.48
	Take –off from LL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Take –off from RL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stride length [m]		2.19	0.11	4.84	2.23	0.09	3.93	2.25	0.10	4.50

A Kinematics Analysis Of Three Best 100 M Performances Ever

Maćkała Krzysztof & Antti Mero

Journal of Human Kinetics volume 36, 149-160. 2013.

Kinematic parameters a) Usain Bolt		Olympic Games Beijing 2008	World Championships Berlin 2009	Olympic Games London 2012	Statistics from three competitions		
					$\bar{X}$	SD	V
Time [s]		9.69	9.58	9.63	9.63	0.06	0.57
Velocity [m/s]		10.32	10.44	10.38	10.38	0.06	0.58
Stride frequency [Hz]		4.24	4.23	4.29	4.25	0.03	0.76
Number of strides	All	41.1	40.92	41.4	41.13	0.25	0.61
	Take –off from LL	20.7	20.1	20.9	20.57	0.42	2.02
	Take –off from RL	20.4	20.8	20.5	20.57	0.21	1.01
Stride length [m]		2.43	2.47	2.41	2.44	0.03	1.25

Kinematic parameters b) the rest of finalists		Olympic Games Beijing 2008 (n=7) (1, 2, 3)			World Championships Berlin 2009 (n=7) (3)			Olympic Games London 2012 (n=6) (1, 4, 5)		
		$\bar{X}$	SD	V	$\bar{X}$	SD	V	$\bar{X}$	SD	V
Time [s]		9.96	0.05	0.51	9.91	0.10	1.06	9.86	0.10	0.93
Velocity [m/s]		10.04	0.05	0.51	10.09	0.11	1.01	10.15	0.09	0.92
Stride frequency [Hz]		4.55	0.21	4.68	4.53	0.20	4.41	4.38	0.19	4.44
Number of strides	All	45.69	2.17	4.75	44.91	1.77	3.94	44.45	1.99	4.48
	Take –off from LL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Take –off from RL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stride length [m]		2.19	0.11	4.84	2.23	0.09	3.93	2.25	0.10	4.50

A Kinematics Analysis Of Three Best 100 M Performances Ever

Maćkała Krzysztof & Antti Mero

Journal of Human Kinetics volume 36, 149-160. 2013.

a) Olympic Games Beijing 2008

Distance [m]	Mean time [s]*	mean time [s]**	Total time	Mean velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	Each 20 m	Total	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.85	1.89	1.85	5.40	5.40	7.0	11.1	11.0	1.41	1.82	3.84	3.83
10-20	1.02	0.99	2.87	9.80	6.97	4.1			2.44		4.01	
20-30	0.91	0.90	3.78	10.99	7.94	4.0	8.0	19.0	2.50	2.50	4.39	4.49
30-40	0.87	0.86	4.65	11.49	8.60	3.9			2.56		4.48	
40-50	0.85	0.83	5.50	11.76	9.09	3.9	7.6	26.6	2.56	2.63	4.59	4.55
50-60	0.82	0.82	6.32	12.19	9.49	3.7			2.70		4.51	
60-70	0.82	0.81	7.14	12.19	9.80	3.8	7.4	34.0	2.63	2.70	4.63	4.51
70-80	0.82	0.82	7.96	12.19	10.05	3.6			2.77		4.39	
80-90	0.83	0.83	8.79	12.05	10.24	3.5	7.1	41.1	2.86	2.83	4.22	4.10
90-100	0.90	0.83	9.69	11.11	10.31	3.6			2.77		4.00	

b) World Championship - Berlin 2009

Distance [m]	Mean time [s]*	Mean time [s]**	Total time	Mean velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	20 m Section	Total	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.89	1.90	1.90	5.26	5.26	7	11.2	11.2	1.43	1.78	3.68	3.89
10-20	0.99	0.98	2.88	10.20	6.94	4.2			2.38		4.28	
20-30	0.90	0.92	3.80	10.87	7.90	4.0	7.9	19.1	2.50	2.52	4.35	4.54
30-40	0.86	0.83	4.63	12.05	8.64	3.9			2.56		4.70	
40-50	0.83	0.84	5.46	11.90	9.16	3.8	7.5	26.6	2.63	2.67	4.64	4.49
50-60	0.82	0.82	6.29	12.19	9.53	3.8			2.63		4.63	
60-70	0.81	0.82	7.11	12.19	9.84	3.7	7.2	33.8	2.70	2.77	4.51	4.49
70-80	0.82	0.81	7.92	12.34	10.10	3.5			2.86		4.32	
80-90	0.83	0.83	8.75	12.05	10.28	3.4	7.0	40.8	2.94	2.85	4.10	4.23
90-100	0.83	0.83	9.58	12.05	10.44	3.6			2.77		4.34	



c) Olympic Games - London 2012

Distance [m]	Average time [s]*	Total time [s]	Total time [s]**	Average velocity [m/s]	Total velocity [m/s]	Number of strides	20 m Section	Tota l	Stride length [m]	Each 20 m	Stride frequency [Hz]	Each 20 m
0-10	1.91	1.91		5.23	5.23	7.3	11.5	11.5	1.37	1.74	3.82	3.94
10-20	1.01	2.92	2.93	9.90	6.84	4.2			2.38		4.16	
20-30	0.92	3.84		10.87	7.81	4.1	8.0	19.5	2.44	2.50	4.45	4.49
30-40	0.86	4.70	4.69	11.63	8.51	3.9			2.56		4.54	
40-50	0.84	5.54		11.90	9.02	4.0	7.8	27.3	2.50	2.56	4.76	4.70
50-60	0.82	6.36	6.35	12.19	9.43	3.8			2.63		4.63	
60-70	0.81	7.17		12.34	9.76	3.6	7.0	34.3	2.78	2.86	4.44	4.32
70-80	0.81	7.98	7.96	12.34	10.02	3.4			2.94		4.20	
80-90	0.82	8.80		12.19	10.23	3.6	7.1	41.4	2.78	2.82	4.38	4.30
90-100	0.83	9.63	9.63	12.05	10.38	3.5			2.86		4.21	

100m Stride Parameters

	BH	BW	D	Time	Strides	SL	SF	SL/BH
Usain Bolt	196	86	439	9.72	41.3	2.42	4.25	1.24
Asafa Powell	188	87	463	9.74	43.4	2.3	4.46	1.23
Justin Gatlin	185	83	445	9.77	41.6	2.4	4.26	1.3
Tyson Gay	183	75	410	9.77	43.8	2.28	4.48	1.25
Tim Montgomery	178	73	410	9.78	49	2.04	5.01	1.15
Ben Johnson	178	79	444	9.79	46.6	2.15	4.76	1.21
Maurice Greene	175	80	457	9.79	45.6	2.19	4.66	1.25
Donovan Bailey	182	83	456	9.84	44.1	2.27	4.48	1.25
Bruny Surin	180	89	494	9.84	44.3	2.26	4.5	1.25
Leroy Burrell	183	82	448	9.85	42.5	2.35	4.31	1.29
Olusoji Fasuba	175	74	423	9.85	45.7	2.19	4.64	1.25
Carl Lewis	188	81	431	9.85	42.9	2.33	4.35	1.24
Frank Fredericks	180	75	417	9.86	46.1	2.17	4.68	1.21
Ato Boldon	176	76	443	9.86	44.4	2.25	4.5	1.28
Francis Obikwelu	195	81	415	9.86	43.6	2.29	4.42	1.18

Kinematics of Sprinting in Children and Youths
Marian Vanderka & Tomáš Kampmiller
New Studies in Athletics, 28(1/2), 35-45. 2013.



Edad (Años)	Nº	Velocidad (m/s)	Estatura (cm)	PC (kg)	TC (ms)	TV (ms)	LZ (cm)	FZ (pasos/s)
6.50	29	4.82	122.45	22.79	149.10	89.35	114.80	4.24
7.50	137	5.08	127.73	25.13	151.00	94.12	123.99	4.12
8.50	118	5.43	134.07	28.68	148.13	95.67	131.88	4.14
9.50	171	5.66	138.17	31.36	146.83	96.34	137.01	4.15
10.50	93	5.90	142.78	34.13	145.40	97.12	142.64	4.15
11.50	125	6.07	149.40	39.08	150.71	101.54	152.79	3.99
12.50	78	6.18	154.38	42.44	155.63	106.85	161.88	3.84
13.50	95	6.45	164.02	50.98	160.30	101.92	166.78	3.84
14.51	74	6.86	169.15	57.09	155.53	100.59	175.22	3.93
15.51	172	7.13	176.49	64.31	154.03	100.71	181.28	3.95
16.50	35	7.38	178.98	69.37	150.16	99.32	183.85	4.04
17.40	12	7.37	180.26	70.84	153.22	99.18	185.65	3.99

MUESTRA: 1.299 niños (Bratislava – Eslovaquia) – Carreras de 25 m (control 10 metros)

Kinematics of Sprinting in Children and Youths
Marian Vanderka & Tomáš Kampmiller
New Studies in Athletics, 28(1/2), 35-45. 2013.

Edad (Años)	Nº	Velocidad (m/s)	Estatura (cm)	PC (kg)	TC (ms)	TV (ms)	LZ (cm)	FZ (pasos/s)
6.50	46	4.58	121.00	21.74	157.28	102.89	118.51	3.88
7.51	134	4.83	126.50	23.94	154.96	106.51	125.73	4.83
8.52	101	5.10	133.65	28.04	156.80	108.90	134.79	3.80
9.50	177	5.32	136.48	31.60	154.56	111.41	140.94	3.79
10.52	28	5.49	143.36	35.46	156.26	113.16	147.16	3.75
11.52	153	5.72	151.48	40.76	161.86	114.42	157.49	3.64
12.50	31	5.92	158.19	46.10	165.39	117.56	166.77	3.57
13.51	104	6.01	161.84	49.66	166.27	112.30	166.49	3.62
14.51	66	6.20	166.15	53.35	162.12	109.31	167.80	3.71
15.50	279	6.26	166.31	55.05	159.14	107.87	166.57	3.77
16.50	52	6.22	166.67	56.42	161.89	106.74	166.72	3.75

MUESTRA: 1.288 niñas (Bratislava – Eslovaquia) – Carreras de 25 m (control 10 metros)

Kinematic Analysis of Sprinting Pickup Acceleration versus Maximum Sprinting Speed
Manzer, S., Mattes, K., & Holländer, K.
Biology of Exercise, 12(2), 55-67. 2016.

MUESTRA (n = 16)
(8 atletas Corredoras júnior femeninos y 8 Corredores masculinos)

La Valores significativamente mayores de LZ y TV, y menores TC en hombres

Gracias al mayor TV es posible colocar el pie más cerca del cuerpo, pero con la rodilla más extendida en el suelo

Gender	Test	Speed [m/s]	Step length [m]			Step frequency [step/s]			Contact time [ms]		Flight time [ms]	
			Left	Right	Double stride	Left	Right	Double stride	Left	Right	Left	Right
Female (n=8)	Pickup	7.7 ± 0.4	1.87 ± 0.08	1.91 ± 0.13	3.78 ± 0.19	4.26 ± 0.31	4.19 ± 0.28	2.11 ± 0.12	115 ± 11	116 ± 10	121 ± 12	123 ± 10
	Sprint	8.0 ± 0.3	1.94 ± 0.09	1.97 ± 0.11	3.91 ± 0.19	4.22± 0.23	4.20 ± 0.25	2.10 ± 0.11	108 ± 9	109 ± 11	129 ± 12	130 ± 10
Male (n=8)	Pickup	8.4 ± 0.3	2.01 ± 0.16	2.04 ± 0.13	4.04 ± 0.26	4.34± 0.38	4.37 ± 0.31	2.17 ± 0.14	113 ± 10	110 ± 12	119 ± 16	120 ± 13
	Sprint	9.2 ± 0.3	2.14± 0.14	2.19 ± 0.09	4.33 ± 0.22	4.36 ± 0.29	4.38 ± 0.28	2.18 ± 0.13	108 ± 9	106 ± 7	123 ± 11	124 ± 12
Total (*N=16*)	Pickup	8.1 ± 0.5	1.94 ± 0.14	1.97 ± 0.14	3.91 ± 0.26	4.30 ± 0.34	4.28 ± 0.30	2.14 ± 0.13	114 ± 10	113 ± 11	120 ± 14	122 ± 11
	Sprint	8.6 ± 0.7	2.04 ± 0.15	2.08 ± 0.15	4.12 ± 0.29	4.29 ± 0.26	4.29 ± 0.27	2.14 ± 0.12	108 ± 9	107 ± 9	126 ± 12	127 ± 11
Pickup vs. Sprint (p-value)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.87	0.98	0.01	0.02	0.05	0.05
Female vs. Male (p-value)		0.00	0.01	0.00	0.00	0.47	0.22	0.28	0.74	0.33	0.52	0.38

BIOMECHANICAL REPORT FOR THE 100 M MEN'S
IAAF World Championships London 2017
Athanassios Bissas, Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgios Paradisis & Stéphane Merlino

Características cinemáticas claves de cada finalista

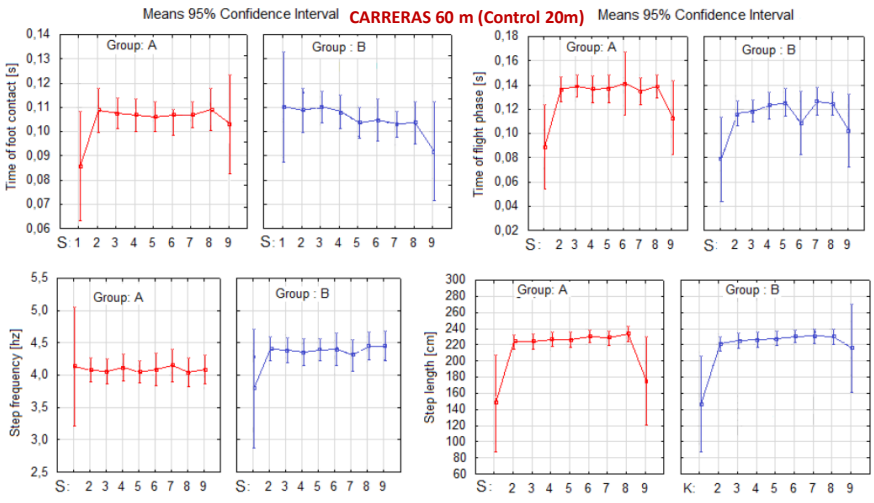
TRAMO DE CARRERA: 47,0-55,5 m

	Step length (m)	Relative step length	Step rate (Hz)	Step width (m)
GATLIN	2.51	1.36	4.67	0.12
COLEMAN	2.33	1.33	4.95	0.20
BOLT	2.70	1.38	4.39	0.15
BLAKE	2.38	1.32	4.85	0.23
SIMBINE	2.31	1.31	5.00	0.24
VICAUT	2.39	1.30	4.90	0.21
PRESCOD	2.51	1.36	4.63	0.22
SU	2.26	1.31	5.00	0.13

Analysis of step kinematics during maximum speed of 60 m sprint performance
Omelko Rafał, Fostiak Marek & Maćkała Krzysztof
Journal of Education, Health and Sport, 8(10), 227-235. 2018.

MUESTRA

G1: 7 velocistas (MM100 m: 10,37 ± 0,04 s – MM60 m: 6.69 ± 0,79 s)
G2: 7 velocistas (MM100 m: 10,71 ± 0,15 s; MM60 m: 6.97 ± 0,08 s)



Preliminary Analysis of the Men's 100 m Final

IAAF World Championships 2017



	Step Length (m)	Step Frequency (Hz)	Contact Time (s)	Flight Time (s)
Gatlin	2.47	4.61	0.104	0.113
Coleman	2.35	5.00	0.090	0.110
Bolt	2.69	4.27	0.097	0.137

Análisis de la sección de 47-55,5 m

	Max 10m Split Speed (m/s)	10m Zone of Max Speed (m)	Total Number of Steps
Gatlin	11.63	60-70	44
Coleman	11.63	50-60	47
Bolt	11.76	60-70	41

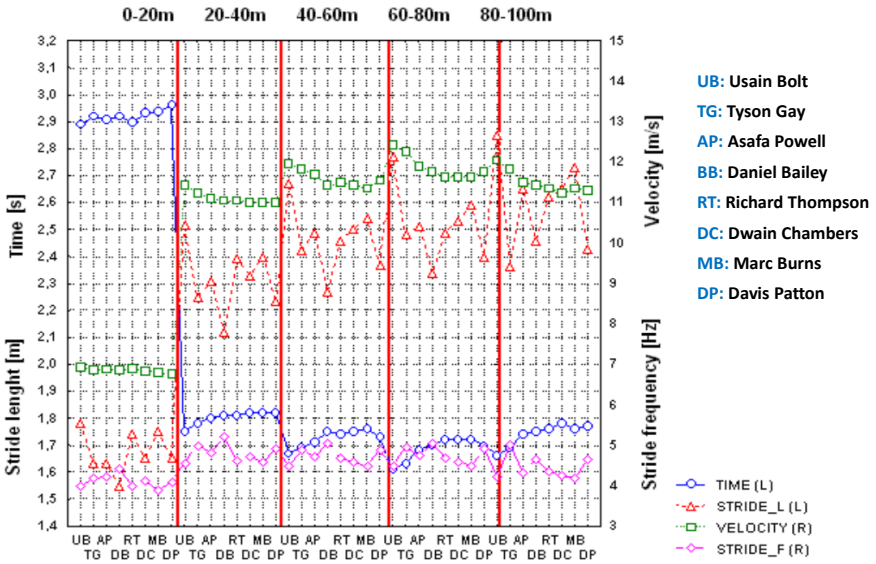
Sprinting: A biomechanical and physiological review

Haugen, T. A., McGhie, D., Ettema, G., Sandbakk, Ø., & Tønnessen, E.
Sports Medicine – Open, 5, 44, https://doi.org/10.1186/s40798-019-0221-0. 2019.

MUESTRA
Finalistas CM y JJ.OO.: 9.8–10.2 s
Velocistas sub-élite: 10.3–11.0 s

Variable	Élite mundial (<10.0 s)	Sub-élite (10.3–11.0 s)	Diferencias Claves
Velocidad Máxima	11.7–12.0 m/s	10.5–11.0 m/s	+0.7–1.0 m/s
LZ	2.40–2.70 m	2.10–2.30 m	+10–15%
FZ	4.3–4.6 Hz	4.3–4.6 Hz	≈ igual
TC	0.080–0.090 s	0.095–0.105 s	Más corto en élite
TV	0.12–0.14 s	0.11–0.12 s	Ligeramente mayor
Fuerza Horizontal (0–30 m)	Más alta Mejor orientada	Menor Más vertical	Decisiva en aceleración
Mantenimiento 70–100 m	Pérdida moderada Conservan LZ	Pérdida mayor Caída de LZ	Élite resisten mejor la fatiga

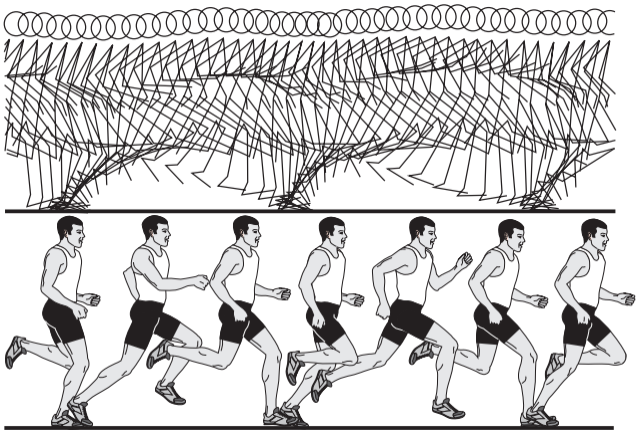
A kinematics analysis of three best 100 m performances ever
Maćkała Krzysztof & Antti Mero
Journal of Human Kinetics, 36, 149-160. 2013.



Estudio	Nivel Comparado	LZ	FZ	Conclusión
Ae et al. 1992	Top 4 vs 5–8 (Tokio)	2.25–2.70 vs 2.10–2.40 m	4.3–4.6 Hz (similar)	SL explica la diferencia de nivel
Gajer et al. 1999	10.18 vs 10.52 s	2.25 vs 2.10 m	≈4.5 Hz en ambos	Más rápidos = zancadas más largas.
Nummela et al. 2007	Jóvenes corredores	SL ↑ hasta un límite	SF ↑ linealmente	En velocistas élite SF determina el aumento.
Sides 2014	122 carreras Berlín-2009	(no directo)	(no directo)	Más rápidos alcanzan mayor Velocidad (11.7–12 vs 10.8 m/s), consistente con SL mayor + SF similar.
Haugen et al. 2019	Revisión élite vs sub-élite	2.40–2.70 vs 2.10–2.30 m	4.3–4.6 Hz (similar)	Diferencia de nivel = mayor SL absoluta.

Étude biomécanique de la course à pied

Leboeuf, F., de Leluardière, F. A., Lacouture, P., Duboy, J., Leplanquais, F., & Junqua, A. Podologie, 27-020-a-20. 2006.



FOTOGRAMA

Trayectoria recorrida por los extremos de los segmentos corporales y del CM durante la carrera

FRECUENCIA DE ZANCADA

Frecuencia de Zancada en la Carrera

"Parámetro biomecánico en las pruebas de velocidad que expresa el número de pasos ejecutados por el atleta en una unidad de tiempo (generalmente pasos por segundo)"

Junto con la longitud de zancada, determina la velocidad de desplazamiento y constituye un indicador clave de la eficiencia técnica en el sprint



Mientras que la Amplitud de Zancada está más condicionada por factores antropométricos y de las características de la impulsión, la Frecuencia de Zancada depende en gran medida de la coordinación neuromuscular y de la capacidad de aplicar fuerza en tiempos de apoyo muy reducidos

Suele expresarse en Pasos por Segundo (Hz)

En velocistas de élite, la frecuencia típica suele situarse entre 4,5 y 5 pasos/segundo (Hz) en la Fase de Máxima Velocidad

FRECUENCIA DE ZANCADA



L'ÉDUCATION ATHLÉTIQUE
Jacques Piasenta
INSEP (París). 1988.





Describe la zancada como la sucesión de una fase negativa de amortiguación, en la que se pierde velocidad, y una fase positiva de impulsión, en la que se recupera y se proyecta al atleta hacia adelante

En la velocidad, el objetivo consiste en minimizar al máximo la fase negativa mediante un apoyo del pie lo más próximo posible a la vertical de la cadera, lo que favorece una impulsión activa y eficaz

FRECUENCIA DE ZANCADA

Training and evaluation course for coaches
Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos
Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso
Universidad Católica Murcia – Comité Olímpico Español (2025)



Se define como el número de pasos que un atleta realiza, por segundo, durante la carrera

Junto con la amplitud, constituye el otro gran determinante de la velocidad, de modo que la relación entre ambas se resume en la expresión:

Velocidad = Amplitud Zancada × Frecuencia Zancada

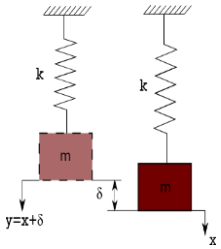
Mientras que la Amplitud de Zancada está más condicionada por factores antropométricos y de impulsión, la Frecuencia de Zancada depende, en gran medida, de la coordinación neuromuscular y de la capacidad de aplicar fuerza en Tiempos de Apoyo muy reducidos

MODELO MASA-RESORTE DE LA FRECUENCIA DE PASO

Hopping frequency in humans:
a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits
Farley, C. T., Blickhan, R., Saito, J., & Taylor, C. R.
Journal of Applied Physiology, 71(6), 2127-2132. 1991.

Muestra que la FZ en gestos que incluyen rebotes (i.e. hopping o running) no es arbitraria, sino que está determinada por la mecánica intrínseca de entender el cuerpo como un sistema masa-resorte

Tanto FZ como la LZ están acopladas a propiedades estructurales (masa y rigidez de los resortes) y a la búsqueda de eficiencia energética



- Cuando el sistema de resortes se estira, la fuerza sube y baja al menos una vez antes de que el cuerpo alcance su punto más bajo. Este patrón nunca ocurriría en un sistema simple de resorte-masa.
- Un sistema de 2 resortes y 2 masas tendría este patrón de fuerza-desplazamiento si uno de los resortes fuera más rígido que los demás.
- Cuando las personas saltan a bajas frecuencias, se genera un resorte más rígido que el resto del sistema músculo-tendinoso, y este resorte rígido se estire y retraiga en fracción del tiempo inferior al resto del sistema.
- En este caso, los puntos donde la fuerza disminuye durante el aterrizaje corresponden al retroceso del resorte rígido.
- Durante despegues a bajas frecuencias, la curva de desplazamiento forzado no se asemeja a la de sistema simple de resorte-masa.

SELECCIÓN ENERGÉTICA DE LA FRECUENCIA DE PASO

Distinct fast and slow processes contribute to the selection of preferred step frequency during human walking
Snaterse, M., Ton, R., Kuo, A. D., & Donelan, J. M.
Journal of Applied Physiology, 110(6), 1682-1690. 2011.

Elegimos nuestra FP mediante un proceso dual (rápido y lento), donde al final prevalece la búsqueda de ECONOMÍA ENERGÉTICA, pero modulada por el control motor y la estabilidad

DOS PROCESOS DE CONTROL DE LA FRECUENCIA:

•**Rápido (Fast Process):** ajustes inmediatos en la frecuencia de paso cuando se modifica la condición de la marcha (respuesta rápida a estímulos externos).

•**Lento (Slow Process):** ajustes graduales que requieren minutos, vinculados a la **minimización del coste energético metabólico**.

FRECUENCIA PREFERIDA ≠ MÍNIMA ENERGÉTICA INMEDIATA

•**Corto Plazo: no siempre se elige la FP que minimiza el coste energético.**

•**Con el tiempo (varios minutos de caminata), FP converge hacia la que efectivamente reduce al mínimo el gasto energético.**

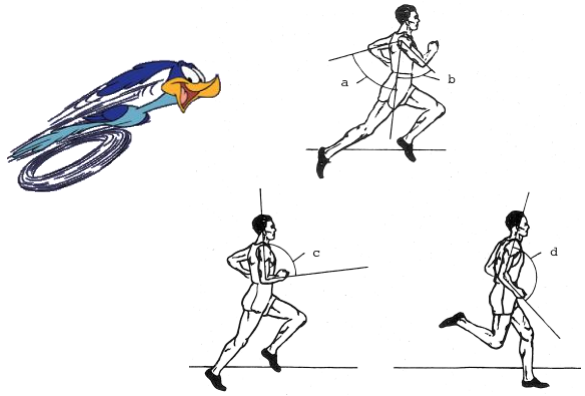
APRENDIZAJE Y CONTROL NEUROMOTOR

•**Proceso Lento: sugiere existencia de mecanismo de aprendizaje implícito en el sistema nervioso, que ajusta gradualmente la FP basándose en señales metabólicas y mecánicas.**

•**Proceso Rápido: controlado por factores sensoriales y estabilidad motora, más que por necesidad energética.**

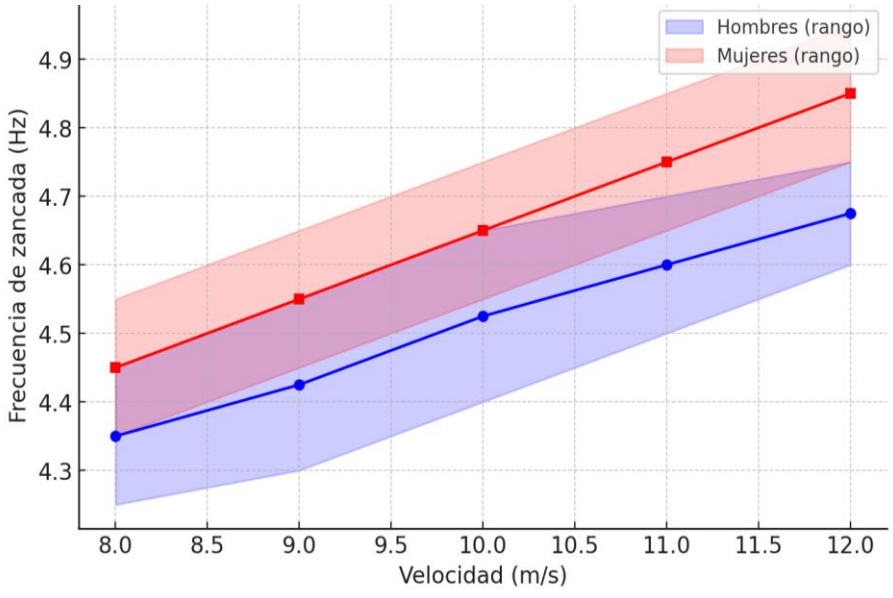
FRECUENCIA DE ZANCADA

Combina el TIEMPO DE CONTACTO con el suelo y el TIEMPO DE VUELO

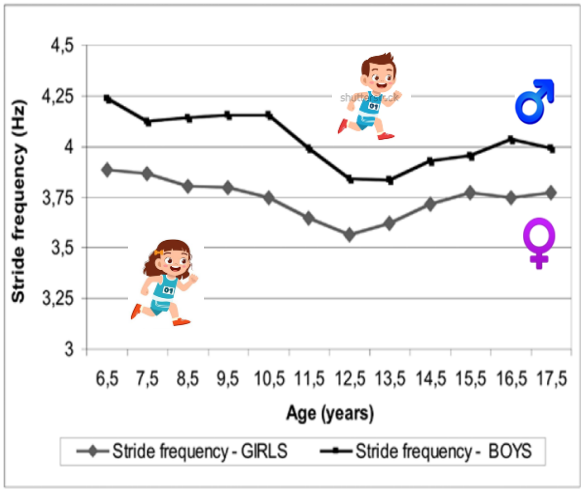


- **Relación entre los 2.0:1.0 durante la salida**
- **Relación 1.0:1.3/1.0:1.5 a Velocidad Máxima**
- **En la Salida: 67 % de Contacto con el Suelo**
- **A Velocidad Máxima: 40-45 % de Contacto con el Suelo**

FRECUENCIA DE ZANCADA

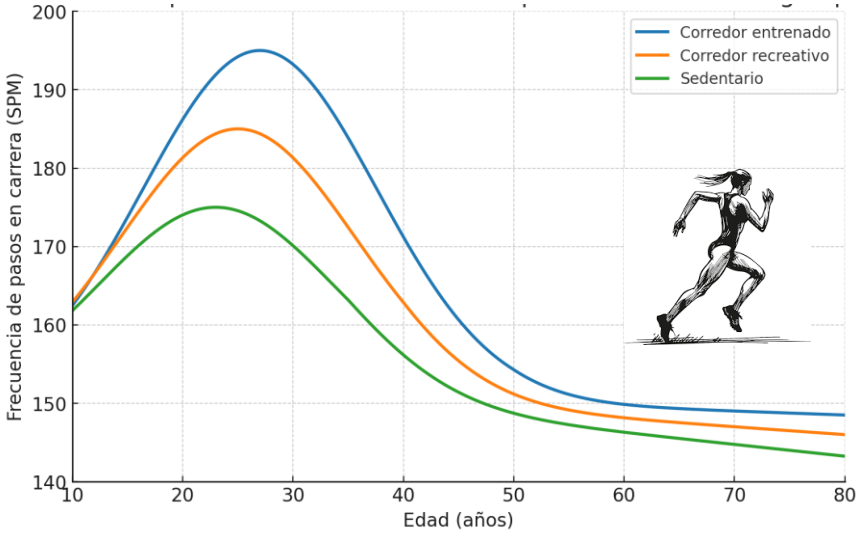


Kinematics of Sprinting in Children and Youths
Marian Vanderka & Tomáš Kampmiller
New Studies in Athletics, 28(1/2), 35-45. 2013.

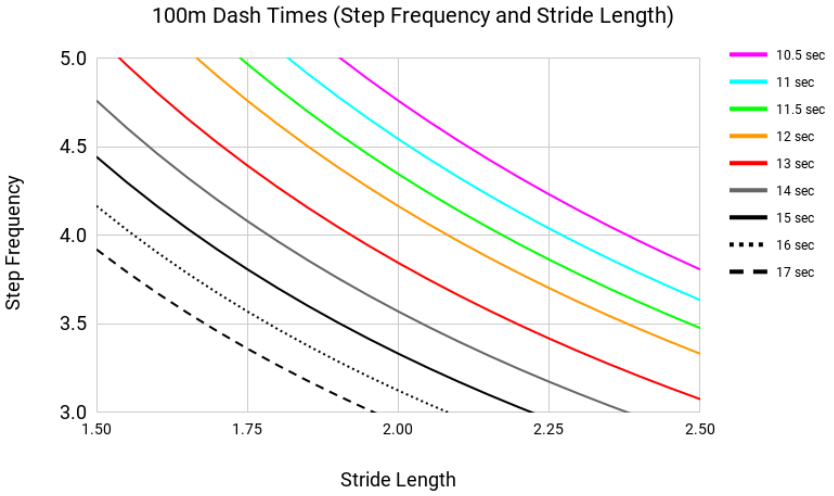


MUESTRA: 1.288 niños/as (Bratislava – Eslovaquia)
Carreras de 25 m (control 10 metros)

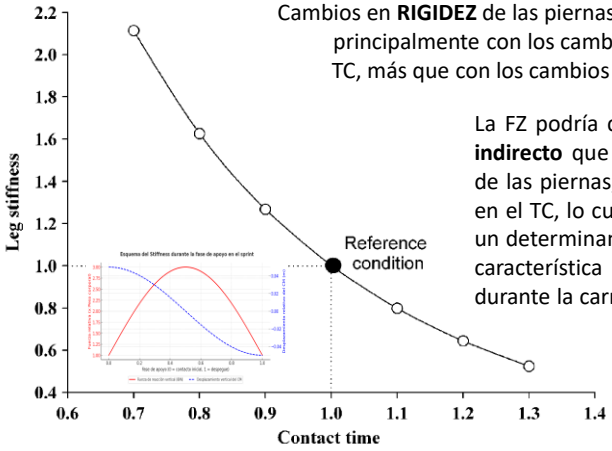
EVOLUCIÓN TEÓRICA DE LA FRECUENCIA DE PASOS CON LA EDAD Y EL ENTRENAMIENTO



Math for Sprinters - Step Frequency and Stride Length
Mickey Ferri (2019)
https://www.econathletes.com/post/math-for-sprinters-steps-per-second-and-stride-length



Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running
Morin, J. B., Samozino,P., Zameziati, K. & Belli, A.
Journal of Biomechanics 40, 3341–3348. 2007.



Cambios en **RIGIDEZ** de las piernas se relacionan principalmente con los cambios en el TC, más que con los cambios en la FZ

La FZ podría considerarse un **factor indirecto** que influye en la **RIGIDEZ** de las piernas, a través de su efecto en el TC, lo cual podría considerarse un determinante importante de esta característica de masa-resorte durante la carrera de velocidad.

Cambios teóricos en la **RIGIDEZ** de la pierna en función de aumentos y disminuciones normalizados del 30% en el **TC** (por debajo y por encima de los valores de referencia de la unidad)
El punto negro central representa un valor típico obtenido en condiciones normales

9.58 and 10.49: nearing the citius end for 100 m?

Haugen, T., Tønnessen, E., & Seiler, S.

International Journal of Sports Physiology and Performance, 10(2), 269-272. 2015.

Population	Height	100-m PB	Mean SL	Mean SF
Men (all time high)	*(m)*	*(s)*	*(m)*	*(Hz)*
Usain Bolt	1.96	9.58	2.44	4.28
Tyson Gay	1.80	9.69	2.24	4.61
Yohan Blake	1.80	9.69	2.19	4.72
Asafa Powell	1.90	9.72	2.29	4.50
Justin Gatlin	1.85	9.76	2.35	4.36
Nesta Carter	1.78	9.78	2.23	4.58
Tim Montgommery	1.78	9.78	2.04	5.01
Ben Johnson	1.77	9.79	2.15	4.75
Maureece Greene	1.76	9.79	2.19	4.66
Steve Mullings	1.76	9.80	2.16	4.71
Mean ±SD	*1.82 ±0.07*	*9.74 ±0.07*	*2.23 ±0.12*	*4.62 ±0.22*
Women (all time high)				
Florence G.-Joyner	1.70	10.49	2.11	4.51
Carmelita Jeter	1.63	10.64	2.01	4.67
Marion Jones	1.78	10.65	2.11	4.44
Shelly-Ann F.-Pryce	1.60	10.70	2.00	4.66
Christine Arron	1.77	10.73	2.26	4.13
Merlene Ottey	1.75	10.74	2.16	4.31
Kerron Stewart	1.75	10.75	2.10	4.43
Evelyn Ashford	1.65	10.76	1.95	4.77
Veronica C.-Brown	1.63	10.76	2.07	4.48
Irina Privalova	1.74	10.77	2.13	4.36
Mean ±SD	*1.70 ±0.07*	*10.70 ±0.09*	*2.09 ±0.09*	*4.48 ±0.19*

- **VELOCIDAD** es un producto de **LZ & FZ**.
- A bajas velocidades, tanto **LZ** como **FZ** aumentan con el aumento de la velocidad.
- Cuando la **VELOCIDAD** de carrera aumenta de **"casi máximo a máximo"**, la **LZ** se estabiliza o disminuye ligeramente, mientras que la **FZ** continúa aumentando.
- Con el incremento de velocidad también
  - Resistencia del viento y la pérdida de velocidad al inicio de cada apoyo aumenta.
  - TC y Generación de Fuerza de Empuje disminuyen.
- Desde la edad de 18 años, la mejora promedio de T100 de los mejores velocistas del mundo es de ≈8%.

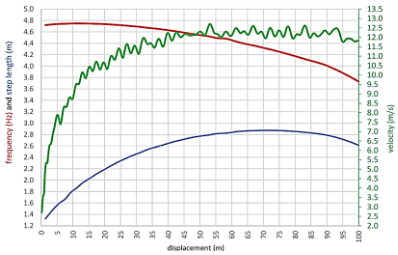
Multicomponent Velocity Measurement for Linear Sprinting: Usain Bolt's 100 m World-Record Analysis

Stanislav Štuhec, Peter Planjšek, Milan Coh 1 & Krzysztof Mackala

Bioengineering, 10, 1254. https://doi.org/10.3390/bioengineering10111254. 2023



Section (m)	Number of Steps	Step Length (m)	Step Frequency (Hz)	Average Step Time (s)	Real Distance (m)
10	6	1.55	4.73	0.111	9.31
20	5	2.02	4.74	0.117	19.43
30	4	2.34	4.71	0.122	28.79
40	4	2.56	4.66	0.120	39.03
50	4	2.72	4.58	0.124	49.93
60	3	2.81	4.49	0.119	58.36
70	4	2.86	4.34	0.129	69.82
80	3	2.86	4.24	0.123	78.42
90	4	2.82	4.08	0.122	89.71
100	4	2.68	3.38	0.168	100.44



Bolt mantuvo la velocidad máxima durante 5 tramos de 10 m, comportamiento claramente diferente al de otros velocistas de talla mundial

Velocidad Máxima (12,32 m/s) la logra a 52 m

Se observó un aumento continuo en LZ (pierna izquierda & derecha) hasta los 80 m de sprint

FRECUENCIA DE ZANCADA

Etapa de desarrollo	Características de la frecuencia de zancada	Factores determinantes
Infancia Temprana (3-6 años)	Alta frecuencia de pasos, con zancadas cortas y poco coordinadas Economía de carrera baja	Piernas cortas, inmadurez neuromotora, predominio del juego espontáneo.
Niñez Intermedia (7-12 años)	Frecuencia todavía elevada pero más estable, con mejor control técnico Se empieza a compensar con mayor longitud de zancada.	Crecimiento moderado, mejora de la coordinación y del control motor.
Adolescencia (13-17 años)	Disminuye la frecuencia relativa por el aumento de la longitud de las piernas El entrenamiento permite mantener valores elevados.	Estirón puberal, incremento de masa muscular, inicio del trabajo de fuerza y velocidad.
Juventud & Adultez temprana (18-25 años)	Se alcanza el equilibrio óptimo entre FZ y LZ Punto máximo de eficiencia y velocidad.	Madurez neuromuscular, fuerza máxima, entrenamiento específico de sprint.
Adultez media & Envejecimiento (>30 años)	Descenso progresivo de la frecuencia de zancada, compensado parcialmente con la técnica.	Pérdida de elasticidad, menor potencia neuromuscular, desgaste articular y reducción de velocidad de transmisión nerviosa.

Inter-individual differences in stride frequencies during running obtained from wearable data

Van Oeveren B.T., de Ruiter C.J., Hoozemans M.J. M., Beek P. J. & van Dieën J. H.
Journal of Sports Sciences, 37(17), 1996–2006. 2019.

Muestra: 250 corredores (recreativos y competitivos);
16 000 horas de registros obtenidos con dispositivos portátiles Garmin

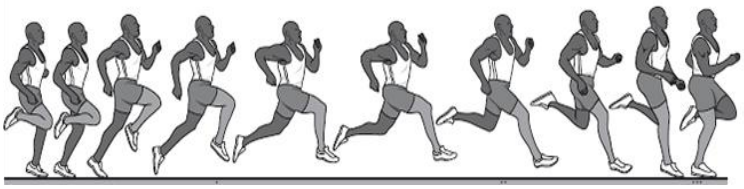
La FZ aumenta linealmente con la velocidad, pero la longitud de pierna, masa y hábitos de entrenamiento explican diferencias individuales importantes

No existe una FZ "ideal" única; cada corredor encuentra su equilibrio personal entre FZ y LZ

Factor	Relación con FZ	Descripción / Interpretación
Velocidad de carrera	**Positiva Fuerte**	Variable dominante: FZ aumenta ≈3 pasos/min por cada 1 m/s de V.
Longitud de Pierna	**Negativa**	Piernas más Largas: FZ algo más bajas (se compensa con mayor LZ).
Masa Corporal	**Negativa Débil**	Mayor PC: ligera reducción FZ, quizá por mayor Costo Mecánico.
Edad	**Positiva (igual velocidad)**	Los mayores tienden a FZ más alta para mantener estabilidad/eficiencia.
Frecuencia Entrenamiento	**Positiva**	Más sesiones semanales: tendencia a usar FZ más elevada.
Duración entrenamiento	**Positiva**	Sesiones más largas también se asocian a FZ más elevada.
Experiencia (años)	**No significativa**	No se observó relación clara con la SF.
Rendimiento / lesiones	**No significativa**	FZ no predice directamente tiempos ni riesgo de lesión.

LONGITUD DE ZANCADA

(FASE DE MÁXIMA VELOCIDAD)



Longitud de Paso (Step Length) depende de 2 principales factores:

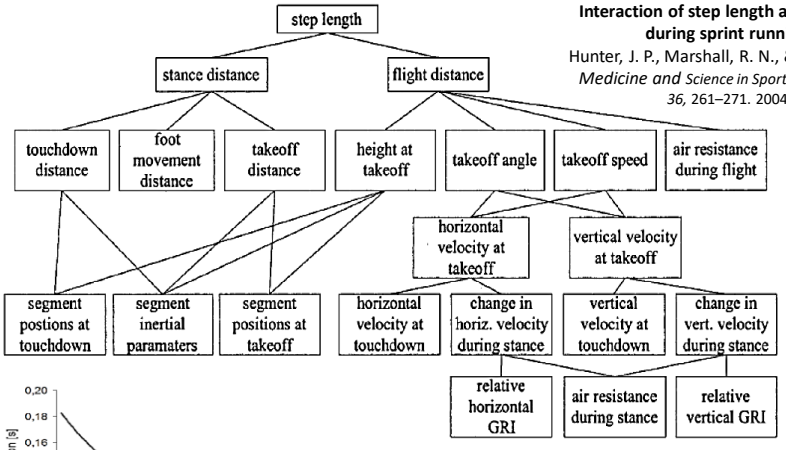
•FACTORES ANTROPOMÉTRICOS: longitud de las piernas, estatura, proporciones segmentarias.

- Longitud de pierna / estatura: ≈ 0.48–0.51.
- Longitud de la pierna influye, pero no determina la longitud de zancada.

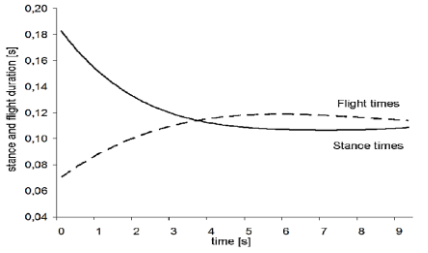
•FACTORES FUNCIONALES: fuerza, potencia, rigidez de los apoyos, técnica.

En principio, una pierna más larga ofrece un potencial mayor de longitud de zancada, pero eso no garantiza automáticamente más velocidad

LONGITUD DE ZANCADA



Interaction of step length and step rate during sprint running.
Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 36,* 261–271. 2004.



A velocidades de carrera superiores a 7 m/s, la FZ aumenta más que la LZ
(Hasta 2,6 m de LZ y 5 Hz FZ)



LONGITUD DE ZANCADA

FACTORES DETERMINANTES:

- **Velocidad de Carrera** = Longitud de Zancada × Frecuencia de Zancada.
- **Longitud de Zancada:** influida por la Estatura, Longitud de Piernas, Fuerza–Potencia, Técnica de Aplicación de Fuerzas y Nivel de Entrenamiento.

RANGOS TÍPICOS (ÉLITE):

- **Hombres:** 2,1 – 2,2 m en Fase de Aceleración; rango de 2,4 – 2,5 m, a Máxima Velocidad, Pudiendo llegar a 2,6 – 2,7 m.
- **Mujeres**: 2,0 – 2,1 m en aceleración; hasta 2,2 – 2,3 m en Máxima Velocidad.

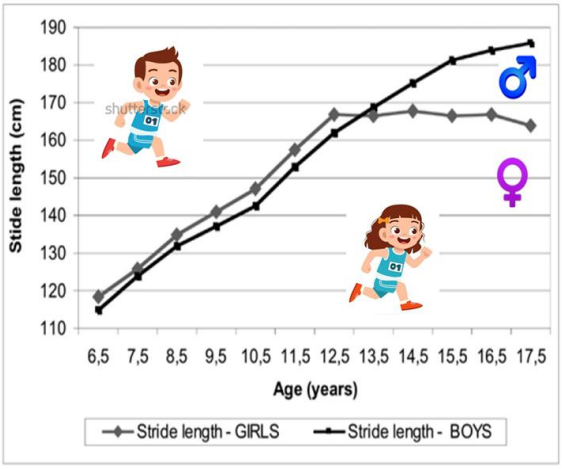
EVOLUCIÓN CON LA VELOCIDAD:

- En la aceleración, LZ aumenta rápidamente (cuerpo más erguido, mayor impulso horizontal).
- En la velocidad máxima (50–70 m) se estabiliza, variando poco entre pasos.

RELACIÓN CON LA FRECUENCIA:

- Un aumento de la longitud de zancada no debe comprometer la frecuencia; los velocistas optimizan la combinación de ambos parámetros.

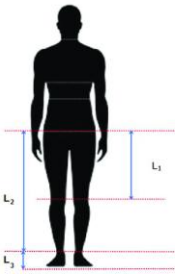
Kinematics of Sprinting in Children and Youths
Marian Vanderka & Tomáš Kampmiller
New Studies in Athletics, 28(1/2), 35-45. 2013.



MUESTRA: 1.288 niños/as (Bratislava – Eslovaquia)
Carreras de 25 m (control 10 metros)

LONGITUD DEL MIEMBRO INFERIOR

ESTATURA (m)	LMI BAJO (m)	LMI MEDIO (m)	LMI ALTO (m)
1.70	0.77	0.81	0.85
1.75	0.79	0.83	0.88
1.80	0.81	0.85	0.90
1.85	0.83	0.88	0.93
1.90	0.85	0.90	0.95
1.95	088	0.93	0.97
2.00	0.90	0.95	1.00



LONGITUD DEL MIEMBRO INFERIOR

Distancia desde la espina ilíaca anterosuperior hasta el maléolo medial (o lateral) del tobillo o al suelo

Sujeto de pie, erguido, pies separados a la anchura de hombro

Es la medida más usada en estudios de deporte y ergonomía

LONGITUD DE ZANCADA VS. VELOCIDAD DE CARRERA & SEXO

VELOCIDAD CARRERA (m/s – km/h)	HOMBRES (metros)	MEJERES (metros)
8.0 m/s 28.8 km/h	1.80 – 1.88 m	1.76 – 1.84 m
9.0 m/s 32.4 km/h	1.98 - 2.09 m	1.94 - 2.02 m
10.0 m/s 36.0 km/h	2.15 - 2.27 m	2.11 - 2.20 m
11.0 m/s 39.6 km/h	2.34 - 2.44 m	2.27 - 2.37 m
12.0 m/s 43.2 km/h	253 – 2.61 m	-//-

Exploring the relationship between stride, stature and hand size for forensic assessmen
Guest, R., Miguel-Hurtado, O., Stevenage, S., & Black, S.
Journal of Forensic and Legal Medicine, 52, 46-55. 2017.

LZ está significativamente relacionada con Estatura y LMI

El estudio desarrolla modelos de regresión que permiten un análisis robusto incluso cuando solo se dispone de un parámetro de medida

Leg Length y Estatura correlacionan fuertemente con LZ (r = 0.938)

Longitud de Pierna (LLC) a partir de Estatura (SC)
(LLC = −20.743 + 0.699 · SC)

Stride Length (SL_MED) desde Estatura (SC)
(SL_MED = 29.566 + 0.177 · SC)

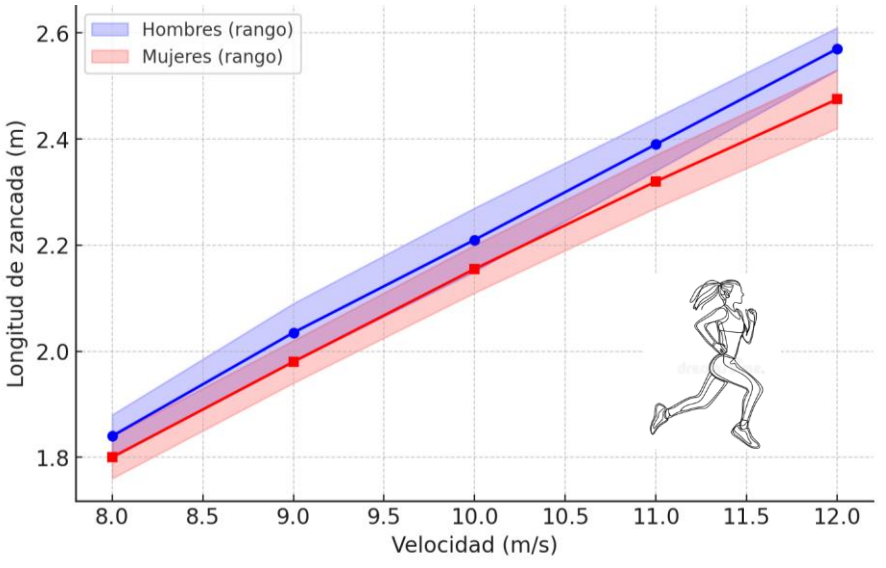
Stride Length (SL_MED) desde Longitud de Pierna (LLC)
(SL_MED = 35.363 + 0.247 · LLC)

Hand (stepwise)	SC	0.375	SC = 62.278 + 12.372 (H4)
LLC	SC	0.822	SC = 61.161 + 1.070 (LLC)
	LLC		LLC = -31.844 + 0.772 (SC)
SL_MED	SC	0.131	SC = 104.331 + 0.894 (SL_MED)
	SL_MED		SL_MED = 31.063 + 0.167 (SC)
	LLC	0.176	LLC = 38.784 + 0.862 (SL_MED)
	SL_MED		SL_MED = 37.322 + 0.224 (LLC)

PARÁMETROS TEÓRICOS DE AMPLITUD ZANCADA

ÍNDICES / PARÁMETROS	ESTATURA	L.M.I.
LONGITUD MÁXIMA ZANCADA	**1.30 * Estatura**	**2.35 (2.55-2.60)**
Longitud Media Zancada	**1.20 * Estatura**	**2.15 (2.05-2.20)**
Longitud Óptima a Máxima Velocidad	**LMI * 0.90**	**2.60 (H)** **2.50 (M)**

LONGITUD DE ZANCADA



LONGITUD ÓPTIMA DE ZANCADA

Estatura	Hombres: 9-16 años	Hombres: >17 años	Mujeres
1.34 metros	1.42-1.59 metros	1.59-1.77 metros	1.44-1.62 metros
1.39 metros	1.49-1.67 metros	1.67-1.85 metros	1.49-1.67 metros
1.44 metros	1.54-1.72 metros	1.72-1.90 metros	1.57-1.75 metros
1.50 metros	1.59-1.77 metros	1.80-1.98 metros	1.62-1.80 metros
1.54 metros	1.67-1.85 metros	1.85-2.05 metros	1.67-1.85 metros
1.60 metros	1.72-1.90 metros	1.92-2.10 metros	1.72-1.90 metros
1.65 metros	1.77-1.95 metros	1.98-2.10 metros	1.80-1.98 metros
1.70 metros	1.82-2.00 metros	2.05-2.25 metros	1.85-2.05 metros
1.75 metros	1.90-2.08 metros	2.10-2.31 metros	1.90-2.08 metros
1.80 metros	1.95-2.15 metros	2.18-2.38 metros	1.98-2.18 metros
1.85 metros	2.00-2.20 metros	2.23-2.43 metros	2.03-2.23 metros
1.90 metros	2.08-2.28 metros	2.31-2.51 metros	2.08-2.28 metros
1.95 metros	2.13-2.33 metros	2.36-2.56 metros	2.15-2.36 metros

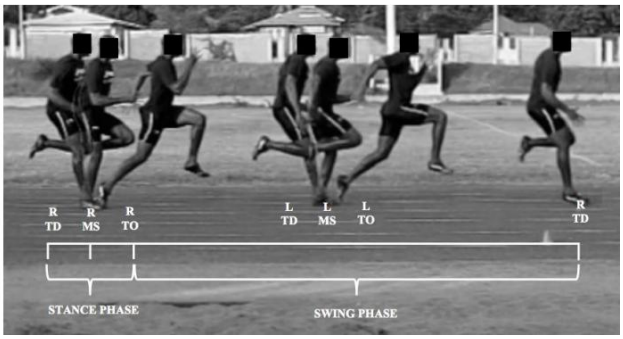
¿QUÉ BENEFICIA MÁS A LA VELOCIDAD? ¿MAYOR AMPLITUD O MAYOR FRECUENCIA?

1. **Respetar las características individuales del corredor:**
   - **Corredor de amplitud < 46 (H) - 49 (M) pasos de frecuencia media en los 100 metros.**
   - **Corredor de frecuencia > 46 (H) - 49 (M) pasos de frecuencia media en 100 metros.**
2. **Determinar amplitud óptima (Ejemplo: test 16 vallas 0.15).**
3. **Objetivo prioritario: Mejorar su frecuencia de acción.**

Velocidad = Amplitud / ($T_{contacto}$ + T_{vuelo})

FASES DE LA ZANCADA

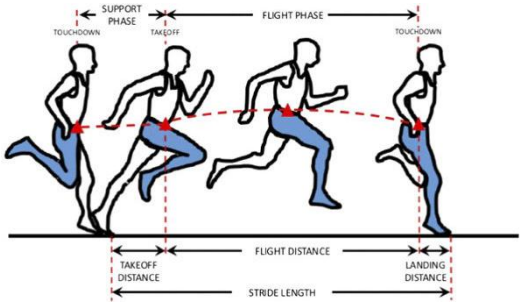
Aplicación durante la Fase de Máxima Velocidad



Fuente: Deborah Louise Sides (2014)

LA ZANCADA DE CARRERA EN PRUEBAS DE VELOCIDAD

L'ÉDUCATION ATHLÉTIQUE
Jacques Piasenta
INSEP (París). 1988.



Describe la zancada como la sucesión de una fase negativa de amortiguación, en la que se pierde velocidad, y una fase positiva de impulsión, en la que se recupera y se proyecta al atleta hacia adelante

En la velocidad, el objetivo consiste en minimizar al máximo la fase negativa mediante un apoyo del pie lo más próximo posible a la vertical de la cadera, lo que favorece una impulsión activa y eficaz

LA ZANCADA DE CARRERA EN PRUEBAS DE VELOCIDAD



ATLETISMO PARA JÓVENES (Volumen 1)
García-Roca, J. A., Sánchez-Pato, A., & Hernández-Guardiola, M. C.
Editorial INDE (Barcelona). 2021.

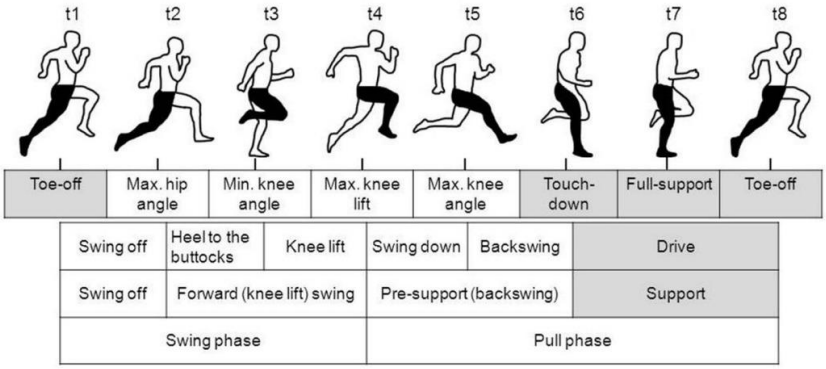
La zancada en las carreras de velocidad constituye la unidad fundamental del desplazamiento en velocidad y puede analizarse como un ciclo que integra tres momentos principales:

APOYO - IMPULSIÓN - VUELO

Desde un punto de vista pedagógico, lo esencial es comprender que estos momentos se enlazan de forma continua y que la eficacia del sprint depende de la coordinación armónica entre ellos

La técnica no se reduce a copiar un modelo ideal, sino a lograr que cada atleta optimice sus recursos motores en función de su edad y nivel de desarrollo a la mejor ejecución técnica de la prueba

Kinematic Stride Characteristics of Maximal Sprint Running of Elite Sprinters – Verification of the "Swing-Pull Technique"
Klaus Mattes, Stefanie Wolff & Shahab Alizadeh
Journal of Human Kinetics, 77, 15-24. 2021



MUESTRA: Velocistas alemanes élite (N=26, Estatura: 182±6 cm, Longitud Pierna: 93,8±4,1 cm)

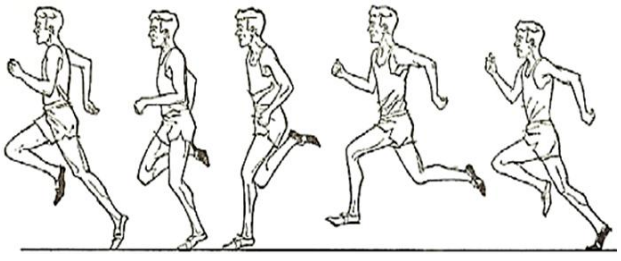
La velocidad (10,1 – 11,3 m/s) correlacionó con la Longitud de Zancada (r=0,53), Tiempo de Contacto (r=-0,53) y las variables del modelo técnico: ángulo de la rodilla al final de elevación de rodilla (r=0,40), ángulo máximo de la rodilla antes del backswing (r=0,40), velocidad del ángulo de extensión de la cadera (r=0,63) y velocidad vertical del pie (r=0,77) durante el preapoyo, ángulo del tobillo en el take-on (r = -0,43), flexión de rodilla (r=-0,54) y extensión de rodilla (r=-0,47) durante el apoyo

FASES DE LA ZANCADA

FASE DE IMPULSO: pie finaliza el contacto con el suelo. Objetivo: generar máximo impulso en el suelo. El impulso dura ≈0,09-0,11 segundos, aunque la fuerza máxima en músculos activados puede alcanzarse en ≈0,7-0,9 segundos.

FASE DE RECUPERACIÓN: pierna se balancea desde la cadera mientras el pie se levanta del suelo. En esta fase, articulación de la rodilla se cierra y pie realiza un ciclo a medida que se acerca al cuerpo. A medida que articulación de rodilla se abre, y la pierna comienza a estirarse, el pie se acerca al suelo preparándose para el apoyo. La pierna debe permanecer relajada para permitir que el pie golpee el suelo con el metatarso de forma activa arrastrando "el suelo" hacia atrás.

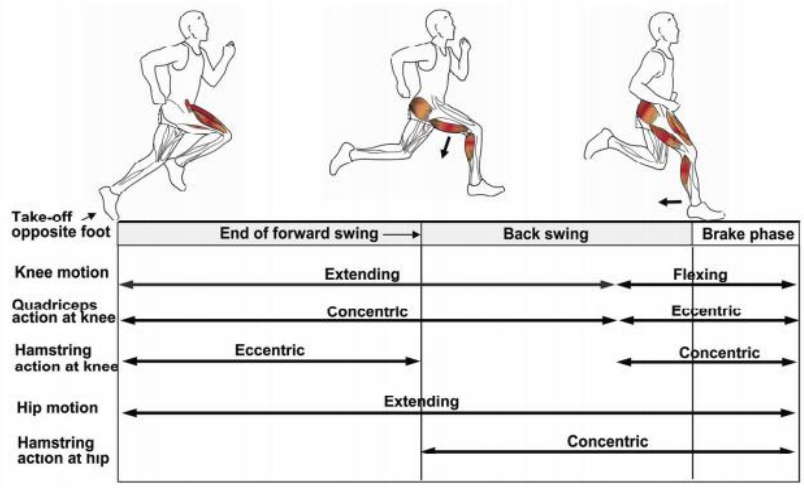
FASE DE APOYO: cuando PC del corredor recae sobre el pie de apoyo (TC). A cualquier velocidad, la fase de apoyo comienza con ligera carga en parte anterior del pie que luego se apoya sobre toda la planta. Incluso a Vmax, talón hace un breve contacto con el suelo. En esta fase, el pie hace contacto inicial con el suelo en el borde exterior del metatarso. PC se proyecta en el suelo en un punto que varía con la velocidad del atleta. A mayor velocidad, mayor será la distancia del punto de contacto.



Strength deficits identified with concentric action of the hip extensors and eccentric action of the hamstrings predispose to hamstring injury in elite sprinters

Sugiura Y, Saito T, Sakuraba K, Sakuma K & Suzuki E.

Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 38(8), 457-64. 2008.



Modo de contracción de los músculos cuádriceps e isquiotibiales durante la última parte de la fase de balanceo y la fase de frenado del contacto en el sprint

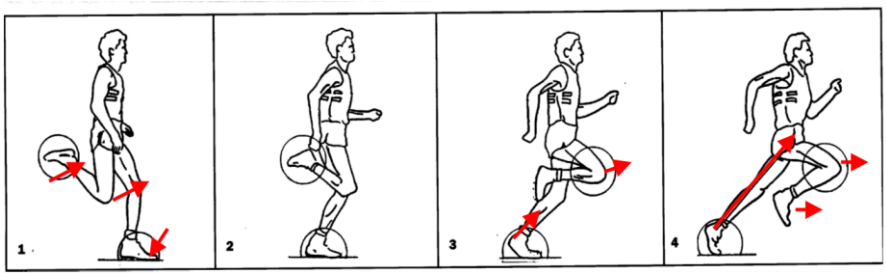
FASE DE APOYO

En las carreras de velocidad, la Fase de Apoyo, constituye el momento crítico de transferencia de fuerzas al desplazamiento del corredor

En ella, el sistema músculo-esquelético de las piernas debe generar una elevada rigidez para aprovechar la energía elástica- refleja de músculos, tendones y fascias, reduciendo al mínimo el TC con el suelo

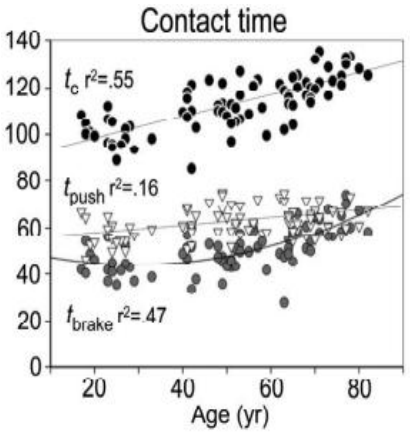
Las fuerzas de reacción alcanzan hasta 4–5 veces el PC, por lo que la alineación articular y la activación neuromuscular son claves para evitar colapsos y pérdidas de energía

Un apoyo eficiente maximiza la conversión de fuerza vertical en componente horizontal, optimizando la propulsión y, en consecuencia, la velocidad final.



FASE DE APOYO

Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes
Marko T. Korhonen. Academic Dissertation.
Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä. Junio 2009.



CAMBIOS DE PARÁMETROS CLAVES DE LA ZANCADA CON LA EDAD DEL CORREDOR:

Relaciones entre la Edad vs. TIEMPO DE SWING, Tiempo de Contacto (TC), Tiempo de Empuje (Tpush) y Tiempo de Frenado (Tbrake)

AUMENTA:

TC (+5 %), Tbrake (+9 %/década) y Tpush (+2 %/década)

DISMINUYE:

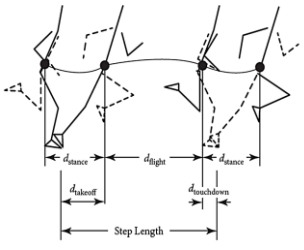
Taer (-5 %/década, p < 0,001)

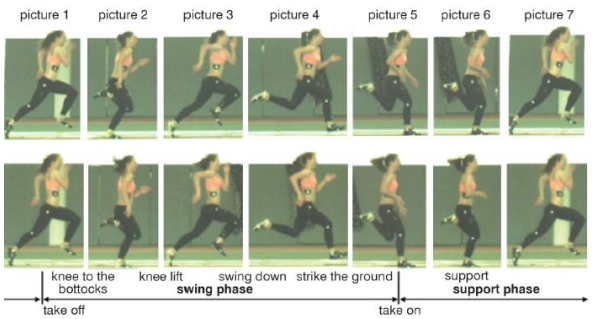
FASE DE APOYO EN LAS CARRERAS DE VELOCIDAD

Kinematic Analysis of Sprinting Pickup Acceleration versus Maximum Sprinting Speed
Manzer, S., Mattes, K., & Holländer, K.
Biology of Exercise, 12(2), 55-67. 2016.

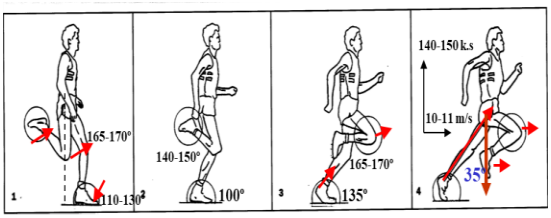
La fase de apoyo (soporte o «support phase») se refiere al periodo de contacto del pie con el suelo durante el sprint

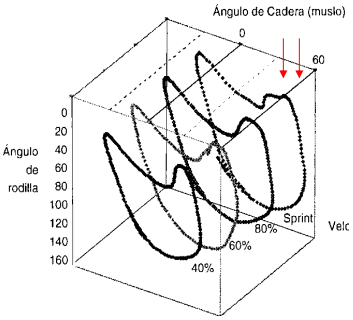
Definen varios aspectos claves en la Fase de Apoyo: "Take-Off" (Despegue), "Maximal Knee Lift", "Take-On" (Apoyo Inicial) y Ángulo Mínimo de Rodilla (Flexión Durante la Fase de Apoyo).





FASE DE APOYO
ASPECTOS CINEMÁTICOS BÁSICOS





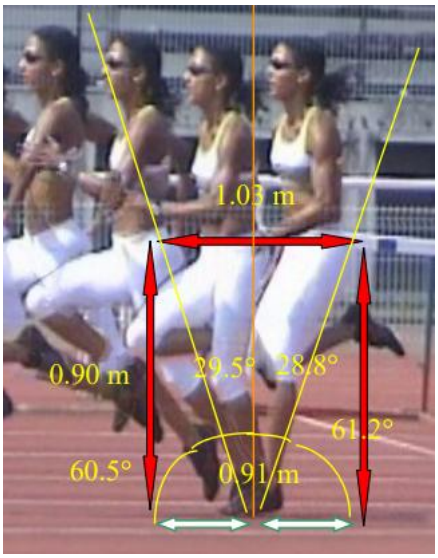
Punto de Apoyo: **Parte externa del metatarso (30-45 cm) delante CG que prona y flexiona tobillo y rodilla (amortiguación). El P.C. lo soporta el metatarso. Talón roza o apoya en el suelo (35º-40º). La contribución de la rodilla es mínima en el apoyo (≈2% - ≈15-20º de amortiguación). Pico máximo de activación (10-40 *ms* tras contacto).**

Pierna Libre: **Se flexiona hacia hacia el muslo (recobro) llevando el talón hacia el glúteo. Pre-activación muscular (20-100 *ms* antes)**

Tronco: **Relajado y casi vertical rota ligeramente sobre eje longitudinal.**

Brazos: **Se mueven activa y coordinadamente con flexión de 90º en la articulación del codo.**

FASE DE APOYO DEL PIE EN EL SUELO
TIEMPO DE CONTACTO EN CARRERAS DE VELOCIDAD



El **Tiempo de Contacto** es el tiempo que el pie permanece en contacto con el suelo durante cada zancada

Atletas de élite buscan optimizar este tiempo, ya que un TC más corto está relacionado con una mayor velocidad

Técnica de Carrera, Fuerza, Cadencia y Longitud de Zancada son factores que pueden influir en su valor

TC disminuye a medida que aumentamos La Velocidad de la carrera
(Se observa una disminución de TC entre la Marcha Normal, la Carrera y el Sprint)

Tiempo de Contacto se divide en 3 fases:

AMORTIGUACIÓN
SOSTÉN
IMPULSIÓN

POSICIÓN DEL CUERPO DURANTE EL APOYO

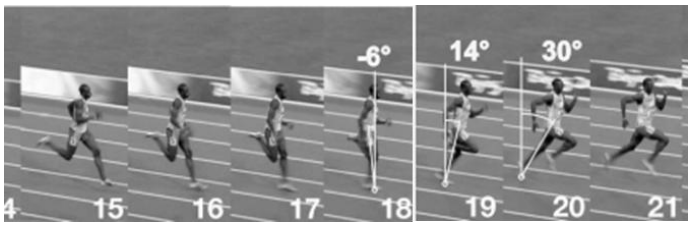
Al correr, la postura corporal correcta es un factor crucial para maximizar la velocidad y conseguir la máxima eficiencia de carrera

La posición ideal del cuerpo es perpendicular al suelo (o con ligera inclinación hacia adelante), el cuello, la cabeza y la cadera alineados de forma natural, los pies debajo de las caderas y los brazos oscilando de adelante hacia atrás con los codos flexionados a 90º

Dependiendo del apoyo en el suelo, el cuerpo puede inclinarse, como en la fase de impulso del sprint, o permanecer casi vertical, como en la fase de velocidad máxima

Alcanzar la velocidad máxima depende en gran medida de cuán relajado puedas mantener tu cuerpo en una posición erguida natural

Si quieres correr más rápido, recuerda que esprintar es principalmente una acción de agarre-arrastre-empuje del pie contra el suelo



DELPLAZAMIENTO DEL CUERPO DURANTE LA FASE DE APOYO

En biomecánica, el término *Contact Length (Lc)* se refiere a la distancia horizontal que recorre el centro de masas (CM) de un atleta mientras el pie está en contacto con el suelo

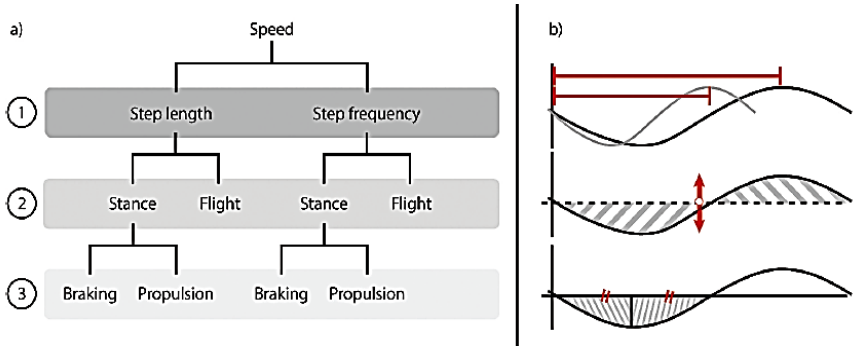
Esta métrica es fundamental para comprender cómo el cuerpo se desplaza hacia adelante durante cada zancada de una carrera de velocidad

$$V = \text{frecuencia de paso} \times \left(\frac{F_{\text{avg}}}{W_b}\right) \times L_c$$

$F_{av}g$: Fuerza media aplicada al suelo
$W_(b)$: Peso Corporal
$L_(c)$: Recorrido del CM durante la fase de apoyo

- En velocistas élite, durante el TC la fase de velocidad máxima, el CM probablemente avanza entre 0.50-0.70 metros (estimación basada en la relación con la LZ & TC)
- **Mayor *Contact Length* suele indicar mayor eficiencia**: se maximiza la distancia cubierta en cada contacto sin sacrificar FZ ni aplicar fuerzas verticales innecesarias.
- Atletas de élite logran aumentar ***$L_(c)$*** mientras reducen el TC, manteniendo buena proyección horizontal del CM y eliminando pérdidas energéticas

THE BIOMECHANICS OF RUNNING AND RUNNING STYLES:
a synthesis
Ben T. van Oeveren, Cornelis J. de Ruiter, Peter J. Beek & Jaap H. van Dieën
Sports Biomechanics, 23(4), 516–554. 2024.



Desglose jerárquico de los 3 niveles, y sus subfases, en relación con la velocidad

A la derecha se muestra una visualización de cada nivel

Nivel 1: muestra equilibrio entre FZ y LZ para determinar la velocidad de movimiento

Nivel 2: muestra subdivisión de un paso en las fases de Apoyo y Vuelo, que especifica con más detalle la sincronización, la distancia horizontal y el desplazamiento vertical por fase

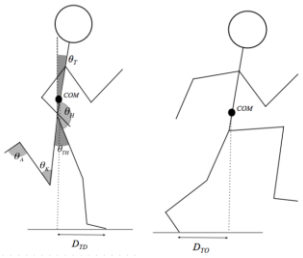
Nivel 3: muestra la relación entre la Fase de Frenado y la Fase de Propulsión

TIEMPOS DE LAS DIFERENTES FASES DEL APOYO DURANTE LA ZANCADA

VALORES ABSOLUTOS							
VELOCIDAD M/S	F. FRENADO MS	F.TRANSIC. MS	F.IMPULSO MS	T. APOYO M/S	T. VUELO MS	T PASO MS	T ZANCADA MS
5.50	16 +-4	50 +-24	80 +-17	147 +-40	191 +-19	337 +-24	760 +-20
6.50	16 +-4	44 +-20	85 +-8	145 +-90	183 +-20	327 +-10	660 +-20
7.50	15 +-3	31 +-22	84 +-10	130 +-90	148 +21	277 +-29	570 +-30
8.00	14 +-1	33 +-4	81 +-7	128 +-6	143 +-30	271 +-36	530 +-40
VALORES RELATIVOS							
VELOCIDAD M/S	F. FRENADO %	F.TRANSIC. %	F.IMPULSO %	T. APOYO %	T. VUELO %	PASO/CICLO %	
5.50	10.8 +-2.9	34.1 +-15.3	55.0 +-12.5	43.4 +-1.8	56.7 +-1.8	48.6 +-1.4	
6.50	11.2 +-3.7	29.8 +-12.7	59.0 +-9.0	44.1 +-1.6	55.9 +-1.6	50.6 +-0.5	
7.50	11.9 +-3.3	23.1 +-15.9	65.0 +-12.7	46.8 +-2.0	53.2 +-2.0	50.3 +-3.3	
8.00	10.8 +-0.7	25.9 +-3.1	63.3 +-2.9	47.6 +-5.0	52.4 +-5.0	49.6 +-2.6	Ferro-1996

Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.

En velocistas élite, durante el ciclo de apoyo, el Tronco se mantiene casi vertical (≈11–14°), la Cadera se extiende de 147° a 198°, la Rodilla pasa de 151° a ≈141–142° y Tobillo de 101° a 116°, mostrando rigidez articular y extensión progresiva para optimizar la Impulsion Horizontal del CM en la Fase de Vuelo



Ángulo	Touchdown (TD)	Mid-Stance (MS)	Toe-Off (TO)
Tronco (θT)	14° (±4)	13° (±4)	11° (±3)
Cadera (θh)	147° (±6)	160° (±5)	198° (±6)
Rodilla (θK)	151° (±4)	**141° (±5)***	142° (±6)
Tobillo (θA)	101° (±4)	**84° (±4)***	116° (±6)

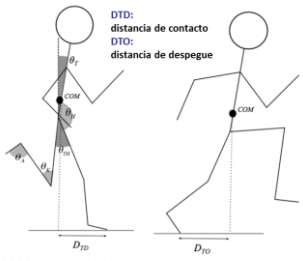
Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.

DTD (DISTANCIA DE CONTACTO): es la distancia horizontal entre el centro de gravedad (CM) y el punto de apoyo del pie en el momento del contacto inicial (“*Touchdown*”). Refleja si el pie aterriza adelantado o retrasado respecto al CM.

DTO (DISTANCIA DE DESPEGUE): es la distancia horizontal entre el CM y el punto de apoyo del pie en el instante de despegue (“*Toe-Off*”). Indica cómo se genera la propulsión al final de la fase de apoyo.

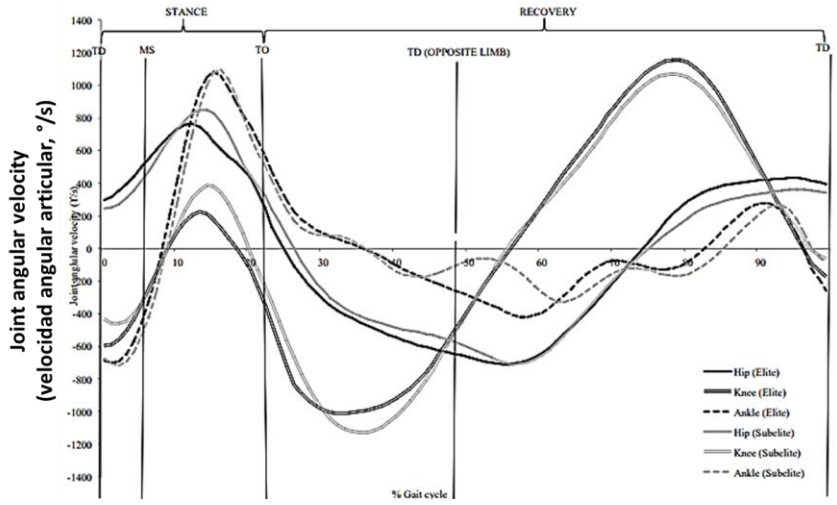
DTD: suele ser pequeño y negativo en velocistas élite. Pie ligeramente adelantado respecto al CM minimizando frenado.

DTO: aparece positivo, reflejando la propulsión hacia adelante.



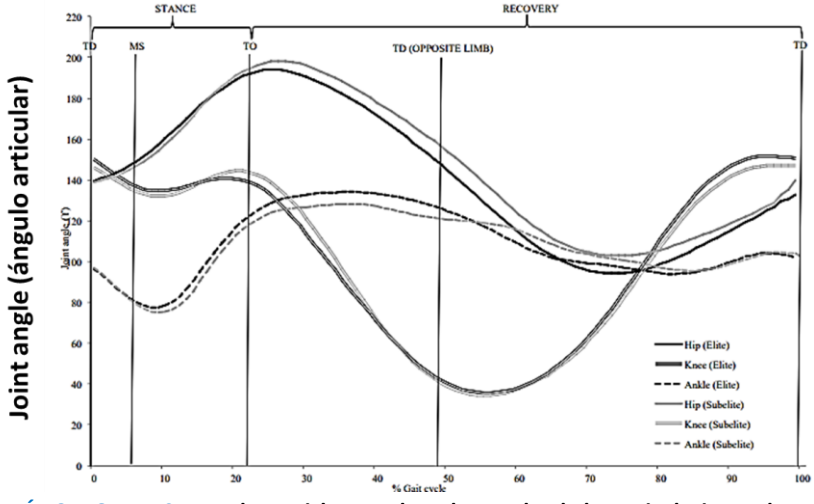
Parámetro	Valor Promedio	Descripción
DTD	**0.30 m (±0.05)**	Distancia horizontal del pie al centro de masa en el contacto inicial (TD).
DTO	**0.70 m**	Distancia horizontal del pie al centro de masa en el despegue (TO); calculada como *stance distance (1.00 m ±0.07) – DTD*.

Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.



VELOCIDAD ANGULAR ARTICULAR de un ciclo completo de carrera de las articulaciones de: cadera, rodilla y tobillo para atletas de élite (líneas negras) y sub-élite (líneas grises)

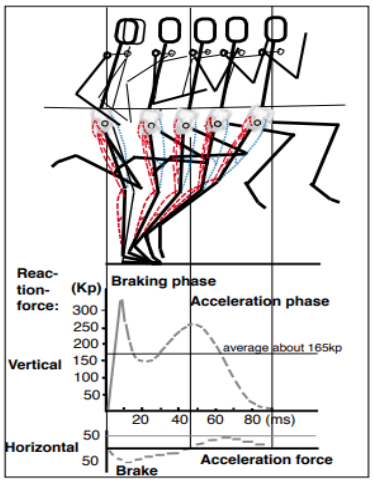
Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.



ÁNGULO ARTICULAR de un ciclo completo de marcha de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo para atletas de élite (líneas negras) y sub-élite (líneas grises)

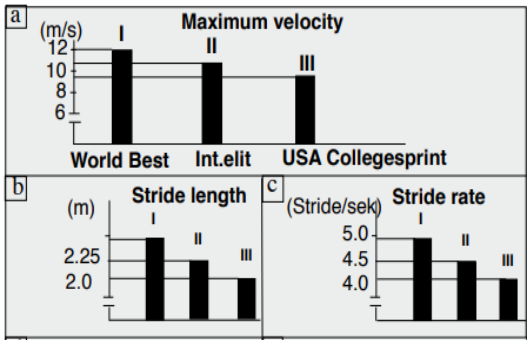
Strength Speed
Technology and training for sprinter speed and long jump
Ralph Mann
Editorial Vervanté (USA). 2011.

Velocidad máxima, fuerza de reacción vertical y horizontal de la pista



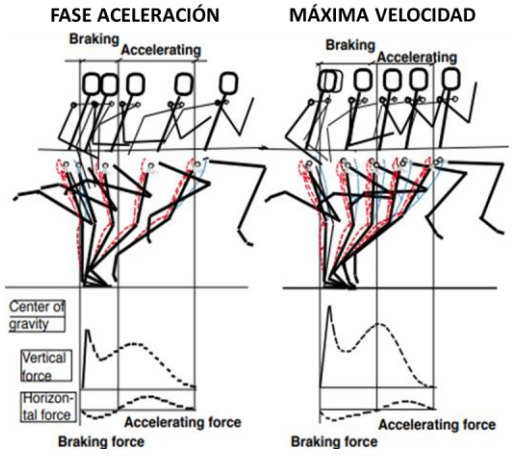
MUESTRA

a. **Velocistas con Récord Mundial**
(Green, Lewis, Burrell y otros [T100: 9,8 s)
b. **Atletas de élite internacionales**
Promedio: 10,3 s/100 m)
c. **Atletas universitarios estadounidenses**



Strength Speed
Technology and training for sprinter speed and long jump
Ralph Mann
Editorial Vervanté (USA). 2011.

Análisis Biomecánico de la Fase de Contacto con el Suelo en la zancada de sprint
Muestra la técnica y la fuerza de reacción vertical y horizontal de la pista durante TC



Durante la fase inicial del apoyo, CM, se produce un frenado. Hablamos de una fase de frenado durante la cual, entre otras cosas, se carga la energía elástica. También se activa el reflejo de estiramiento, que, junto con la energía elástica, inician el impulso.

Durante la fase posterior, el impulso se acelera y, mientras la energía de aceleración horizontal sea mayor que la fuerza de frenado, se produce la aceleración.

Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.

La comparación de ángulos articulares entre velocistas élite y sub-élite en los tres eventos clave del apoyo (touchdown, mid-stance y toe-off) muestra que los atletas élite mantienen el tronco ligeramente más erguido en el despegue, alcanzan una mayor extensión de cadera en la fase final del apoyo, y presentan una rodilla más extendida y un tobillo más dorsiflexionado en el apoyo medio.



Estas diferencias reflejan una mayor rigidez articular y un aprovechamiento más eficiente del ciclo elástico, lo que favorece la transmisión de fuerzas y la optimización de la propulsión durante la carrera a máxima velocidad

Pierna de Apoyo

		Touchdown			Mid-stance			Toe-off		
		Elite	Sub-elite	Correlation	Elite	Sub-elite	Correlation	Elite	Sub-elite	Correlation
Stance leg	Trunk (T)	14 (4)	12 (4)	0.339	13 (4)	12 (3)	0.302	11 (3)	7 (3)	0.491
	Hip (H)	147 (6)	145 (8)	0.215	160 (5)	157 (4)	0.179	198 (6)	193 (8)	0.349
	Knee (K)	151 (4)	148 (4)	0.147	141 (5)*	135 (3)	0.437	142 (6)	145 (7)	0.421
	Ankle (A)	101 (4)	100 (3)	0.085	84 (4)*^	79 (2)	0.555	116 (6)	118 (5)	0.299

Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.

La comparación de ángulos articulares entre velocistas élite y sub-élite en los tres eventos clave del apoyo (touchdown, mid-stance y toe-off) muestra en la pierna libre, los velocistas élite se diferencian principalmente por presentar una mayor extensión de cadera y un muslo más adelantado en el touchdown, lo que se asocia a una zancada más rápida y eficiente.

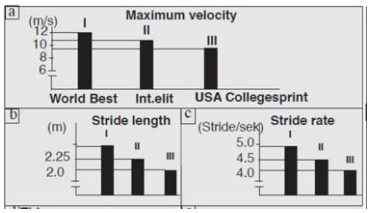


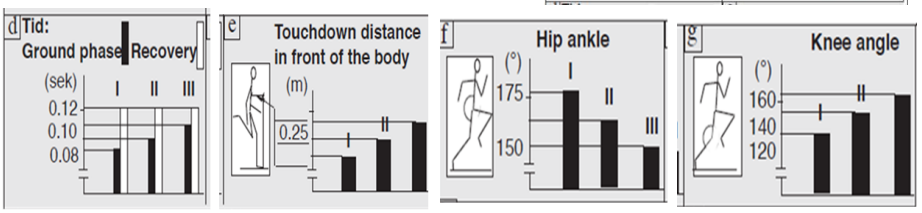
Los datos muestran que, en los atletas élite, estas posiciones de la Pierna Libre en touchdown se correlacionan fuertemente con la velocidad máxima alcanzada, mientras que en las articulaciones rodilla y tobillo no se observan diferencias significativas respecto a los atletas sub-élite.

Pierna de Libre

		Touchdown			Mid-stance			Toe-off		
		Elite	Sub-elite	Correlation	Elite	Sub-elite	Correlation	Elite	Sub-elite	Correlation
Swing leg	Hip	163 (6)*^	135 (3)	0.689	141 (5)^	133 (7)	0.572	107 (6)*^	102 (5)	0.512
	Knee	44 (5)	41 (7)	0.165	36 (5)	32 (6)	0.152	73 (7)	65 (7)	0.292
	Ankle	123 (7)	123 (12)	0.013	116 (8)	120 (12)	0.193	96 (5)	98 (6)	0.380
	Thigh angle (Th)	14 (7)*^	27 (8)	0.597						

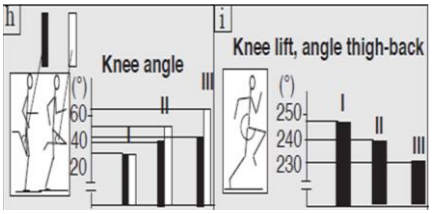
Strength Speed
Technology and training for sprinter speed and long jump
Ralph Mann
Editorial Vervanté (USA). 2011.

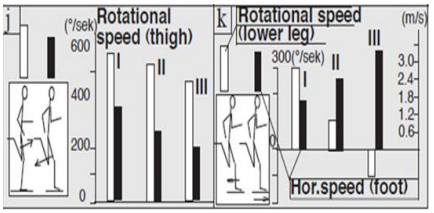




- **TC & T-Recuperación (d):** mejores velocistas tienen menos TC, mientras que tiempo de recuperación es igual para todos los niveles.
- **Distancia al contacto entre el pie y el cuerpo (e):** mejores toman contacto más cerca del cuerpo.
- **Ángulo entre el tronco y el muslo en el despegue (f):** mejores abandonan el despegue con el muslo casi alineado con el torso.
- **Ángulo de rodilla en el despegue (g):** mejores tienen una extensión parcial de rodilla, por lo que presentan un ángulo de rodilla pequeño.

Strength Speed
Technology and training for sprinter speed and long jump
Ralph Mann
Editorial Vervanté (USA). 2011.





- **Ángulo, muslo y parte inferior de la pierna en la elevación de rodilla (h):** para mejores velocistas. Menos. Gracias a una palanca más corta, estos tendrán una elevación de rodilla más rápida durante la fase de suelo.
- **Elevación de rodilla al despegar (i):** El ángulo entre el torso (espalda) y el muslo, al levantar la rodilla, es mayor en los mejores velocistas.
- **Velocidad de rotación (muslo) (j) y Parte inferior de la pierna (k):** Mayor velocidad de rotación en mejores.
- **Velocidad horizontal del pie (k):** Velocidad del pie ≈0 en el contacto con el suelo en los mejores velocistas.

Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.

Velocidad Máxima de Cadera fue ligeramente mayor en Grupo Sub-élite (873°/s vs. 805°/s)
Sin embargo, al promediar la zancada completa, la muestra élite presentó una velocidad promedio más alta, aunque no significativamente diferente
No se observaron diferencias significativas en velocidad máxima de flexión de rodilla
Atletas sub-élite presentaron Velocidad Máxima de Extensión de Rodilla casi el doble que élites
Velocidad Máxima de Extensión de rodilla mostró fuerte correlación la velocidad máxima
Al promediar la fase de apoyo completa, élite presentó velocidad angular promedio más alta (-122°/s), con un valor negativo que indica que la velocidad promedio era una velocidad de flexión
No se observaron diferencias significativas entre las velocidades máxima y promedio del tobillo

Velocidades Angulares Máximas y Medias de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo durante la fase de apoyo

STANCE (°/s)	Max		Average	
	Elite	Sub-elite	Elite	Sub-elite
Hip flexion velocity	-232 (98)	-236 (135)	571 (59)	558 (56)
Hip extension velocity	805 (88)	873 (84)		
Knee flexion velocity	-540 (111)	-499 (204)	-122 (68)^	-29 (64)
Knee extension velocity	251 (151)*^	450 (152)		
Ankle dorsiflexion velocity	-733 (83)	-744 (93)	174 (53)	175 (58)
Ankle plantarflexion velocity	1182 (67)	1244 (143)		

Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.

Velocidad media de la cadera fue de -158°/s para élite y de -167°/s (ns) para sub-élite
El valor es bajo debido al promedio de las velocidades de flexión (negativa) y extensión (positiva)
Velocidad angular promedio de la rodilla es baja, pero las velocidades máximas de extensión y flexión superaron los 1000°/s en ambos grupos (diferencias significativas)
La única diferencia significativa observada fue la velocidad máxima de flexión plantar del tobillo, (mayor en los atletas de élite (857°/s) y mostró fuerte correlación con la velocidad horizontal)
La diferencia significativa más pequeña para las velocidades angulares, fue de 8°/s, y la mayoría de las diferencias entre las muestras superan estos valores

Velocidades Angulares Máximas y Medias de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo durante la fase de transición del apoyo

SWING (°/s)	Max		Average	
	Elite	Sub-elite	Elite	Sub-elite
Hip flexion velocity	-733 (97)	-770 (71)	-158 (31)	-167 (30)
Hip extension velocity	567 (76)	526 (83)		
Knee flexion velocity	-1086 (100)	-1149 (133)	21 (32)	1 (25)
Knee extension velocity	1195 (133)	1133 (74)		
Ankle dorsiflexion velocity	-571 (179)	-528 (107)	-44 (19)	-44 (17)
Ankle plantarflexion velocity	857 (110)*^	697 (131)		

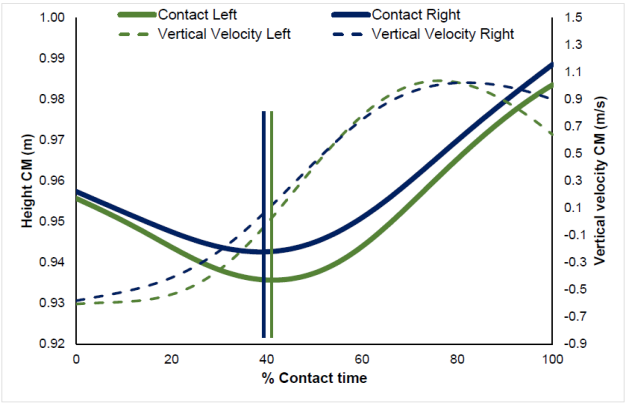
BIOMECHANICAL REPORT FOR THE 100 M MEN'S
IAAF World Championships London 2017
Athanassios Bissas, Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgios Paradisis & Stéphane Merlino

Desplazamiento vertical del Centro de Masas durante el contacto izquierdo y derecho

Además, la velocidad vertical del CM se representado en un eje secundario

Todos los datos se han normalizado del 0 al 100%, donde el 0% representa el contacto inicial con ambas piernas y el 100% representa el despegue

Líneas verticales indican el punto de transición de fase de frenado a fase de propulsión



TIEMPO DE CONTACTO

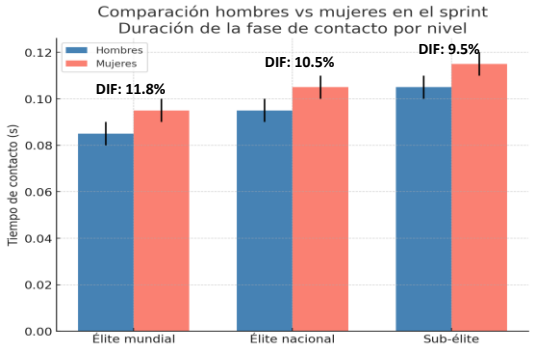
EL PIE EN LA CARRERA: FASE DE APOYO
Antonio Turmo Garuz
APUNTS Medicina de l'sport, 132, 31-38. 2000.

Los valores corresponden a carreras a 5 m/s - 8 m/s, los cuales corresponden aproximadamente a velocidades del 50% y 80% de la Velocidad Máxima en 100 m

MARCHA	CARRERA	SPRINT
746 ms	180 ms	128 ms
746 ms	180 ms	125 ms
729 ms	186 ms	128 ms
771 ms	222 ms	130 ms
602 ms	185 ms	137 ms
686 ms	194 ms	138 ms
764 ms	198 ms	133 ms
777 ms	190 ms	121 ms
735 ms	198 ms	122 ms
625 ms	204 ms	129 ms
657 ms	--	130 ms
721.5 ± 60.8	**195.2** ± 12.5	129.8 ± 5.5

TIEMPO DE CONTACTO

Nivel / Sexo	Marca	Tiempo de Contacto (s)
Hombres Élite Mundial	T100: <10.0 seg	0.080 – 0.090 seg
Hombres Élite Nacional	T100: 10.0–10.5 seg	0.090 – 0.100 seg
Hombres Sub-Élite	T100: 10.5–11.5 seg	0.100 – 0.110 seg
Mujeres Élite Mundial	T100: <11.0 seg	0.090 – 0.100 seg
Mujeres Élite Nacional	T100: 11.0–11.5 seg	0.100 – 0.110 seg
Mujeres Sub-Élite	T100: 11.5–12.5 seg	0.110 – 0.120 seg



Factors Related to Top Running Speed and Economy

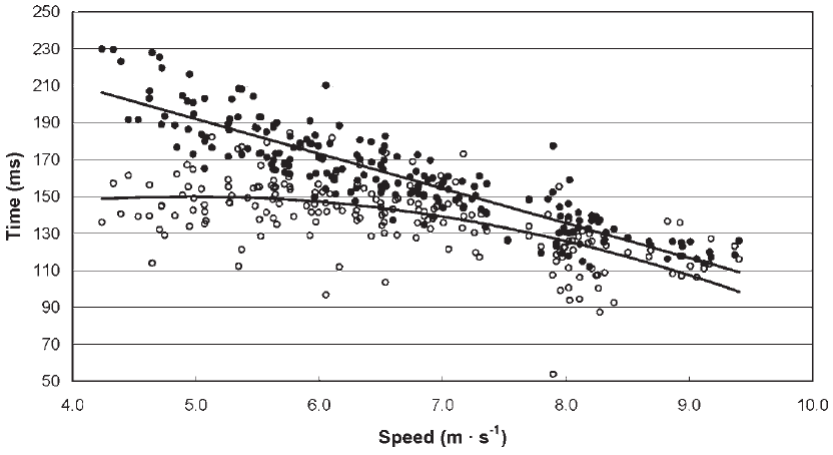
A. Nummela, T. Keränen & L. O. Mikkelsson

International Journal Sports Medicine, 28, 655–661. 2007.

Representa el TC de 25 atletas corriendo a diferentes velocidades

(10 corredores de fondo; 8 corredores de orientación; 7 triatletas)

Edad: 19.8±1.1 años; Estatura: 1.82±0.07 m: PC: 69.4±7.5 kg



ENCICLOPEDIA OF SPORTS SPEED

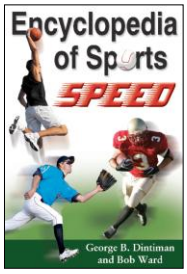
Improving Playing Speed for Sports Competition

George Blough Dintiman & Robert D. Ward

CONTACTO DEL PIE EN EL SUELO

Contact event	Time of foot contact (sec)	Force (lb.)
Awareness threshold	>.0000	
Reaction	.09 to .016	
Reaction time	.090	
Sprinting	0.90	1,050
Sprinter ground contact	0.90	1,034
Sprint Master	.128	700
Sled (full load)	.175	488
Sprint load sled pulling	.175 to .195	590
Bounding	.175`	1,200
Bound	.175	1,182
High jumper .	130	1,000 - 1,300
Long jumper, takeoff	.110	1,371
Hop	.180	585
Hopping	.180	585
Cut 20 degrees	.250	682
Cut 60 degrees	.250	700
Cut 90 degrees	>.250	350
Depth jump, 16 to 100 cm	.200 to .285	945 to 1,327
Depth jump, 16 cm	.210	945
Depth jump, 40 cm	.200	990
Depth jump 100 cm	.300	585
Kicker, plant foot	.285	503
Race walker	.400	
Marathon*	<.400	
Quarterback, back foot throw	.500	364
Quarterback. front foot throw	.500	268

Contact event	Time of foot contact (sec)	Force (lb.)
IMPACT Time		
Golf ball hit by driver	.001	
Baseball hit off tee	.013	
Handball serve .013		
Baseball hit from pitcher	.020	
Soccer ball header	.023	
Softball hit off tee	.035	
Tennis forehand	.050	
Football kick .080		
Striking force (boxer, martial arts)	.088	800 to 2,000

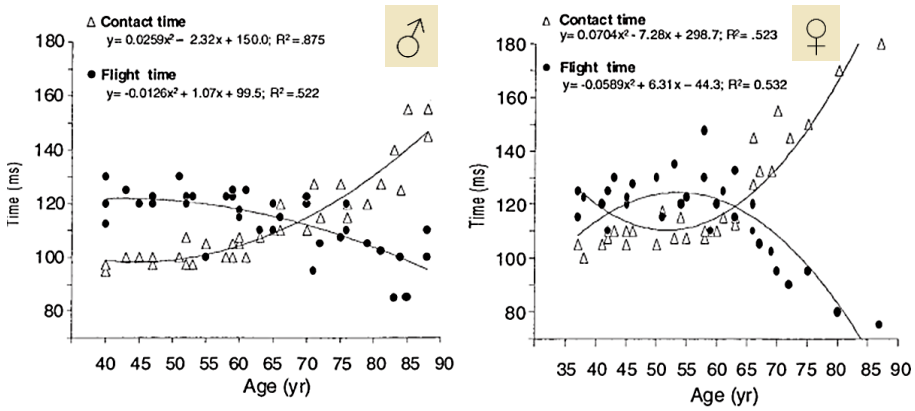


Age-related differences in 100-m sprint performance in male and female master runners

Korhonen, M. T., Mero, A., & Suominen, H.

Medicine & Science in Sports & Exercise, 35(8), 1419-1428. 2003.

Evolución de los Tiempos de Contacto y Tiempo de Vuelo vs. Edad del Corredor (Hombres & Mujeres) Durante 10 m de carrera a Máxima Velocidad de Carrera



Biomechanical insights into differences between the mid-acceleration and maximum velocity phases of sprinting
Yu, J., Sun, Y., Yang, C., Wang, D., Yin, K., Herzog, W., & Liu, Y.
Journal of Strength & Conditioning Research, 30(7), 1906-1916. 2016.

En comparación con la FASE DE VELOCIDAD MÁXIMA, la menor fuerza de frenado horizontal fue la causa principal del aumento de la velocidad de carrera durante la fase de aceleración previa Entre ambas fases existen diferencias estadísticamente significativas en la duración de las zancadas, LZ, Fase de Apoyo y FZ

Variable	Acceleration phase	Maximum velocity phase	Differences	95% CI for differences	Effect size	*p*
Running velocity ($m \cdot s^{-1}$)†	7.85 ± 0.61	9.35 ± 0.58	−1.50 ± 0.48	−1.72 to −1.27	−2.52	<0.001
Stride duration (s)	0.51 ± 0.05	0.48 ± 0.04	0.03 ± 0.03	0.003 to 0.041	0.66	0.026
Stride frequency ($stride \cdot s^{-1}$)	1.99 ± 0.19	2.06 ± 0.15	−0.07 ± 0.16	−0.16 to −0.01	−0.41	0.037
Stance duration (s)†	0.145 ± 0.014	0.128 ± 0.009	0.017 ± 0.012	0.012 to 0.023	1.44	<0.001
Swing duration (s)	0.363 ± 0.046	0.359 ± 0.035	0.004 ± 0.034	−0.012 to 0.021	0.10	0.564
Stride length (m)†	3.98 ± 0.27	4.50 ± 0.32	−0.52 ± 0.20	−0.61 to −0.42	−1.76	<0.001

Usain Bold–Biomechanical model of sprint technique
Milan Čoh
Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport, 17(1), 1-13. 2019.

En velocistas de élite, la duración del Tiempo de Contacto del pie en el suelo, oscila entre 0,075-0,095 segundos

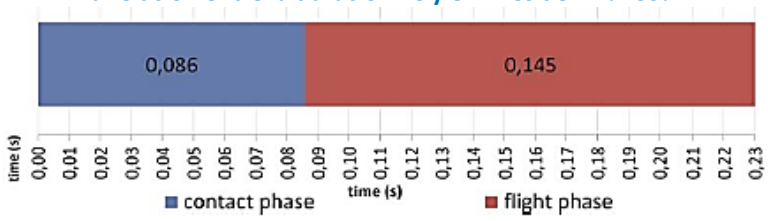
En este tiempo, extremadamente limitado, el velocista debe desarrollar una alta fuerza de reacción contra el suelo (≈3 a 4 veces mayor que su PC

El desarrollo de fuerza es consecuencia de la conexión entre contracción excéntrica y concéntrica (ciclo de estiramiento-acortamiento) que debe ser lo más breve posible

La suma de todos los TC de un sprint de 100 m es de 3,53 segundos y la suma de todos los TV es de 5,96 segundos

Usain Bolt: [t 100 (s) = TC 3,53 s + TV 5,96 s = 9,49 s]

La relación entre la duración TC y el TV es del 41%:59%

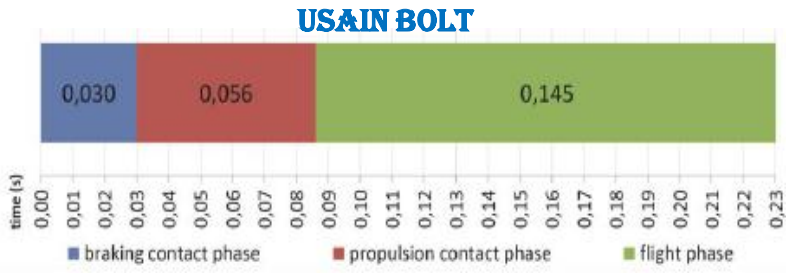


Usain Bold–Biomechanical model of sprint technique
Milan Čoh
Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport, 17(1), 1-13. 2019.

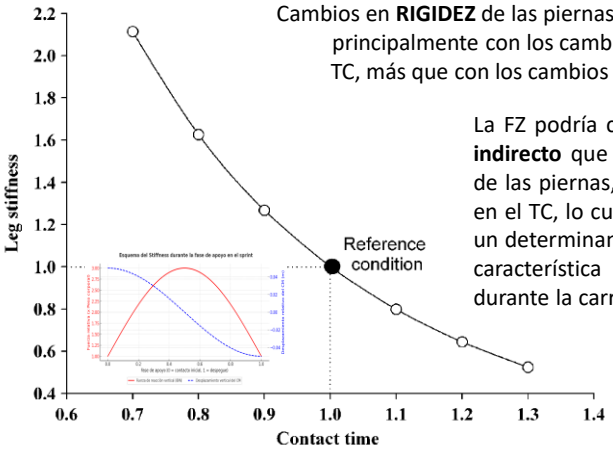
Durante la Fase de Contacto (TC)
la relación de Usain Bolt entre la
Fase de Frenado vs. Fase de Propulsión es: 37.3%/62.7%

Esto constituye un buen indicador de una técnica económica a Velocidad Máxima de Sprint

Fase de Frenado: 0,030" vs. Fase Propulsión: 0,056"



Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running
Morin, J. B., Samozino,P., Zameziati, K. & Belli, A.
Journal of Biomechanics 40, 3341–3348. 2007.



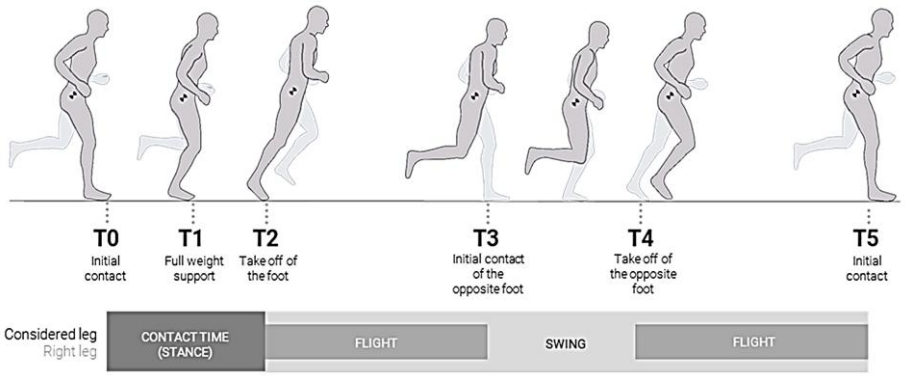
Cambios en **RIGIDEZ** de las piernas se relacionan principalmente con los cambios en el TC, más que con los cambios en la FZ

La FZ podría considerarse un **factor indirecto** que influye en la **RIGIDEZ** de las piernas, a través de su efecto en el TC, lo cual podría considerarse un determinante importante de esta característica de masa-resorte durante la carrera de velocidad.

Cambios teóricos en la **RIGIDEZ** de la pierna en función de aumentos y disminuciones normalizados del 30% en el **TC** (por debajo y por encima de los valores de referencia de la unidad)
El punto negro central representa un valor típico obtenido en condiciones normales

EQUILIBRIOS ENTRE LAS FASES DE LA ZANCADA

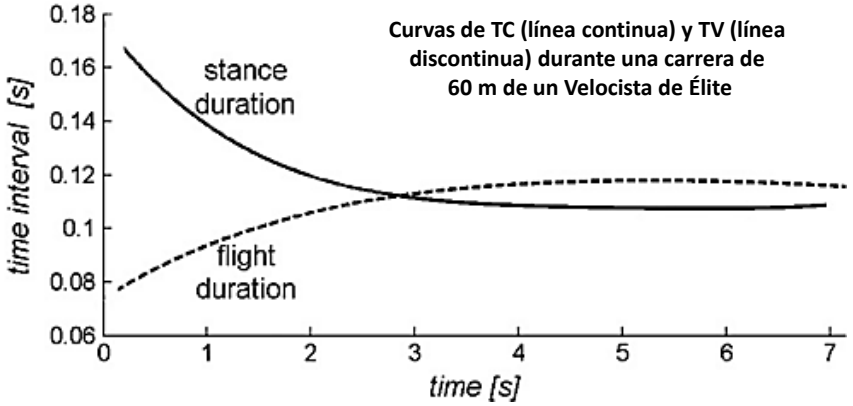
(Fase de Contacto *vs.* Fase de Vuelo)



Estimation of temporal parameters during sprint running using a trunk-mounted inertial measurement unit
Bergamini, E., Picerno, P., Pillet, H., Natta, F., Thoreux, P., & Camomilla, V.
Journal of Biomechanics, 45(6), 1123-1126. 2012.

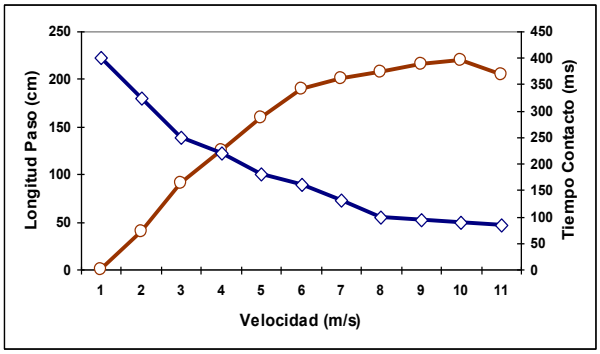
Fases de Contacto (TC) y Fases de Vuelo (FV) de un Velocista de élite que corre 100 m a diferentes intensidades

Se observa un patrón decreciente (TC) y creciente (FV) de ambos parámetros



Curvas de TC (línea continua) y TV (línea discontinua) durante una carrera de 60 m de un Velocista de Élite

TIEMPO DE CONTACTO	
ELITE	0.070-0.080 seg.
SUBELITE	0.090-0.110 seg.
TIEMPO DE VUELO	
ELITE	0.120-0.140 seg.
SUBELITE	0.105-0.140 seg.

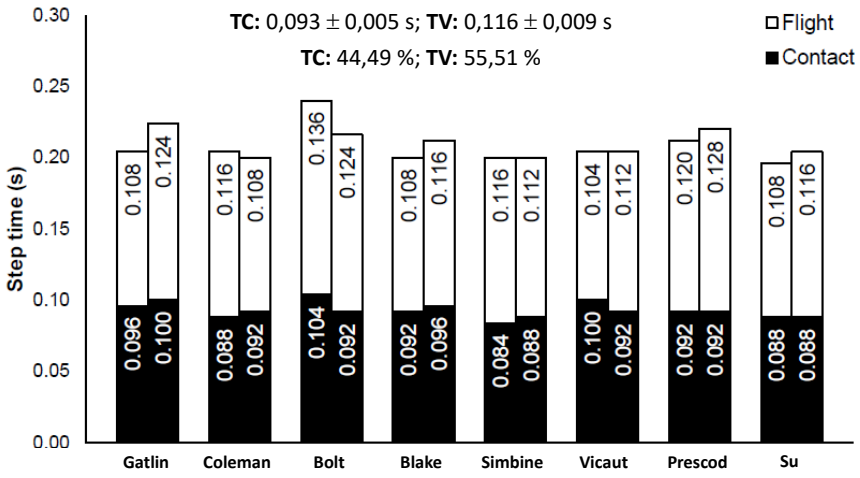


MM_{100}= <10.8
Ratio TC/TV = <1

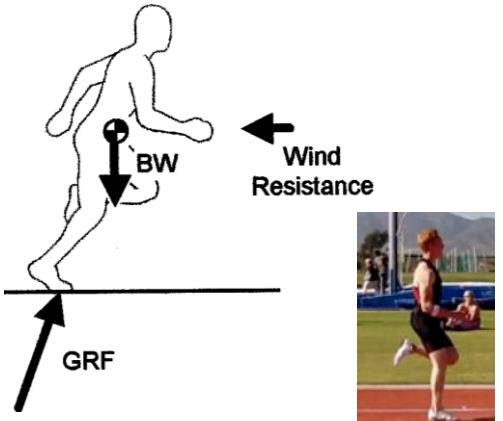
MM_{100}= 10.8-11.0
Ratio TC/TV = 1

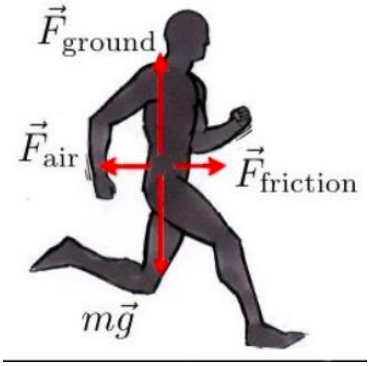
MM_{100}= >11.0
Ratio TC/TV = >1

BIOMECHANICAL REPORT FOR THE 100 M MEN'S
IAAF World Championships London 2017
Athanassios Bissas, Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgios Paradisis & Stéphane Merlino



FUERZAS DURANTE LOS APOYOS EN LA CARRERA DE VELOCIDAD





La producción de FUERZA aumenta con la Velocidad de Carrera

- **Hasta 4.6 veces el Peso Corporal (PC)**
- **Nota: 5.5 veces el PC para corredor a velocidad de 9.5 m/s**

Segmentalle Krafterzeugung und Geschwindigkeit des Koerperschwerpunkts in den Kontaktphasen beim sprint
Mero, A., Luhtanen, P., & Komi, V.
Leistungssport, *16*(4), 35-39. 1986.

Fuerza en Fases de Amortiguación & Impulso

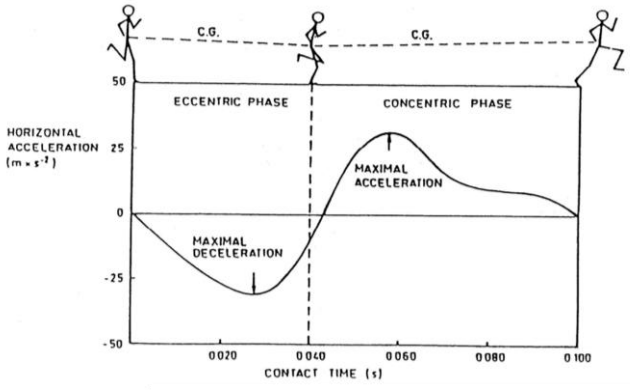
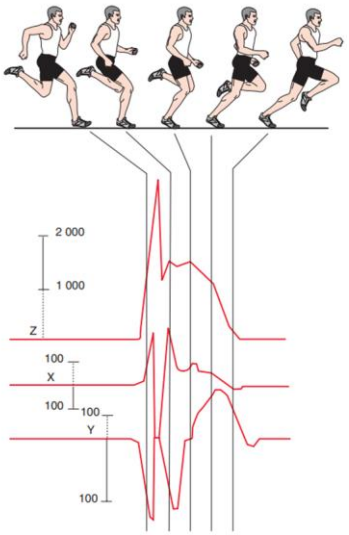


Figura: muestra que, durante el contacto del pie en el suelo, primero hay una desaceleración (Frenado Excéntrico) y luego una aceleración (Impulso Concéntrico)

El rendimiento y el comportamiento de la Velocidad Horizontal dependen de minimizar el frenado y maximizar la propulsión en un tiempo de apoyo muy corto (≈0,1 s)

Étude biomécanique de la course à pied
Leboeuf F., de Leluardière F.A., Lacouture P., Duboy J., Leplanquais F., & Junqua A.
Podologie, 27-020-a-20. 2006.



Componentes de la Fuerza de Reacción del Suelo durante el Apoyo del Pie en el Suelo

En una carrera de velocidad, cada vez que el pie contacta el suelo se generan fuerzas de reacción (GRF : *Ground Reaction Forces*). Estas fuerzas son la respuesta del suelo a la acción del atleta

Se descomponen en 3 componentes principales:

1. **Componente vertical (Fy):** Se produce para soportar el PC y para generar la aceleración vertical necesaria que permita despegar rápidamente el pie y entrar en la fase de vuelo. Puede alcanzar de 2 a 5 veces el PC en 0,08–0,12 s.
2. **Componente antero-posterior (Fx):** Tiene 2 fases: ***Fase de frenado*** (negativa) & ***Fase de propulsión*** (positiva): El objetivo es minimizar la fase de frenado y maximizar la propulsión en un tiempo de apoyo muy corto.
3. **Componente medio-lateral (Fz):** Controla la estabilidad lateral del cuerpo. Es mucho menor que las anteriores, pero importante para evitar desviaciones y mantener una trayectoria recta. Suelen ser fuerzas relativamente pequeñas comparadas con las verticales y horizontales.

FUERZAS DE REACCIÓN MEDIAS

(6 CORREDORES MASCULINOS)
CORRIENDO A MÁXIMA VELOCIDAD
(V: 9.96 m/s - ≈11.4 – 11.5 /$_{100\ m}$

PAARÁMETRO	VALORES	
Tiempo de Contacto	94 ms	
Tiempo de Vuelo	120 ms	
FASE	Amortiguación	Impulso
Duración	39 (ms)	55 (ms)
Fuerza Horizontal	445 (N)	312 (N)
Fuerza Vertical	1707 (N)	797 (N)
Fuerza Resultante	1776 (N)	857 (N)
Dirección Resultante	75 (º)	68 (º)
Potencia Horizontal	59 (w/kg)	42 (w/kg)

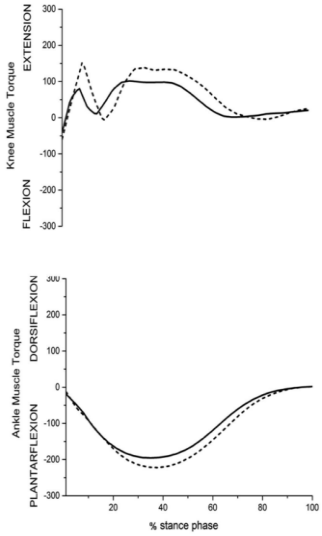
Biomechanical insights into differences between the mid-acceleration and maximum velocity phases of sprinting

Yu, J., Sun, Y., Yang, C., Wang, D., Yin, K., Herzog, W., & Liu, Y.
Journal of Strength & Conditioning Research, 30(7), 1906-1916. 2016.

Variables	Acceleration phase	Maximum velocity phase	Differences	95% CI for differences	Effect size	*p*
Braking duration† (%stance phase)	32.2 ± 8.4	43.1 ± 3.2	−10.9 ± 8.2	−14.7 to −7.1	−1.71	<0.001
Propulsive duration† (%stance phase)	67.8 ± 8.4	56.9 ± 3.2	−10.9 ± 8.2	7.1 to 14.7	1.71	<0.001
Peak horizontal braking force† (BW)	−0.67 ± 0.25	−1.30 ± 0.20	0.63 ± 0.25	0.52 to 0.75	2.78	<0.001
Peak horizontal propulsive force (BW)	0.90 ± 0.11	0.88 ± 0.13	0.02 ± 0.07	−0.001 to 0.065	0.17	0.063
Timing of peak horizontal braking force (%stance phase)	9.9 ± 4.8	10.0 ± 1.8	−0.1 ± 4.6	−2.3 to 1.9	−0.03	0.847
Timing of peak horizontal propulsive force (%stance phase)	72.5 ± 3.5	72.7 ± 3.5	−0.2 ± 3.9	−2.0 to 1.6	−0.06	0.822
Horizontal braking impulse† (BW·S)	−0.009 ± 0.005	−0.019 ± 0.004	0.01 ± 0.01	0.008 to 0.013	2.21	<0.001
Horizontal propulsive impulse† (BW·S)	0.042 ± 0.004	0.030 ± 0.004	0.012 ± 0.004	0.011 to 0.014	3.00	<0.001
Net horizontal impulse† (BW·S)	0.034 ± 0.006	0.011 ± 0.005	0.023 ± 0.007	0.020 to 0.027	4.16	<0.001
Peak vertical force† (BW)	3.33 ± 0.46	3.98 ± 0.49	−0.65 ± 0.48	−0.87 to −0.43	−1.37	<0.001
Timing of peak vertical force† (%stance phase)	37.6 ± 10.9	31.2 ± 1.8	6.4 ± 6.1	2.9 to 9.8	0.82	0.001
Vertical force impulse (BW·S)	0.246 ± 0.031	0.237 ± 0.004	0.009 ± 0.033	−0.005 to 0.025	0.41	0.194

Biomechanical insights into differences between the mid-acceleration and maximum velocity phases of sprinting

Yu, J., Sun, Y., Yang, C., Wang, D., Yin, K., Herzog, W., & Liu, Y.
Journal of Strength & Conditioning Research, 30(7), 1906-1916. 2016.



Comparación de curvas torque-tiempo para la acción muscular en 3 articulaciones de extremidades inferiores durante Fase de Apoyo entre las Fases de Aceleración y Velocidad Máxima

ARTICULACIÓN DE RODILLA: se produjo un torque extensor de rodilla, excepto por un torque flexor corto de rodilla al comienzo de la fase de apoyo. Se observaron 2 picos, aproximadamente al 9% y 34% de fase de apoyo de la fase de velocidad máxima.

Los picos correspondientes para la fase de aceleración se produjeron al 8% y al 28%.

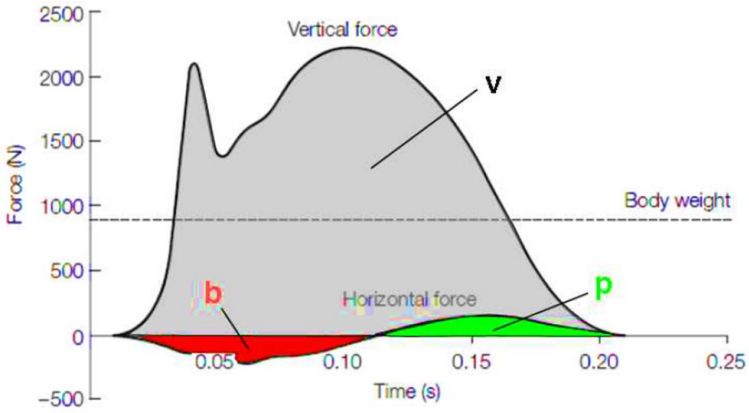
Los picos fueron significativamente mayores durante fase velocidad máxima que durante fase de aceleración.

ARTICULACIÓN DEL TOBILLO: el torque muscular se ubicó en dirección plantar-flexora durante todo el apoyo.

Los torques máximos se produjeron al 38% y al 35% de fase de apoyo en las fases de velocidad máxima y aceleración, y fueron significativamente mayores durante la fase de velocidad máxima que durante la fase de aceleración.

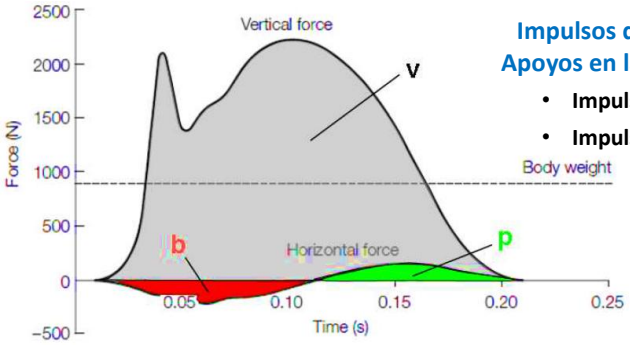
Registro de Fuerzas de Reacción del Suelo durante la Fase de Apoyo en la Locomoción Humana

Evolución temporal de las Fuerzas de Reacción del Suelo (GRF, Ground Reaction Forces) durante la Fase de Contacto del Pie con el Suelo, representadas en función del Tiempo (eje X, en segundos) y la Magnitud de la Fuerza (eje Y, en newtons).



Fuerza Vertical (sombreado gris, v); Fuerza Horizontal (sombreado en rojo y verde)

Biomechanics of sprint running: a methodological contribution
Elena Bergamini
Tesis Doctoral. Universidad de Bolonia.



Impulsos de Fuerza durante los Apoyos en la carrera de Velocidad

- **Impulso Propulsivo (verde)**
- **Impulso de Frenado (rojo)**

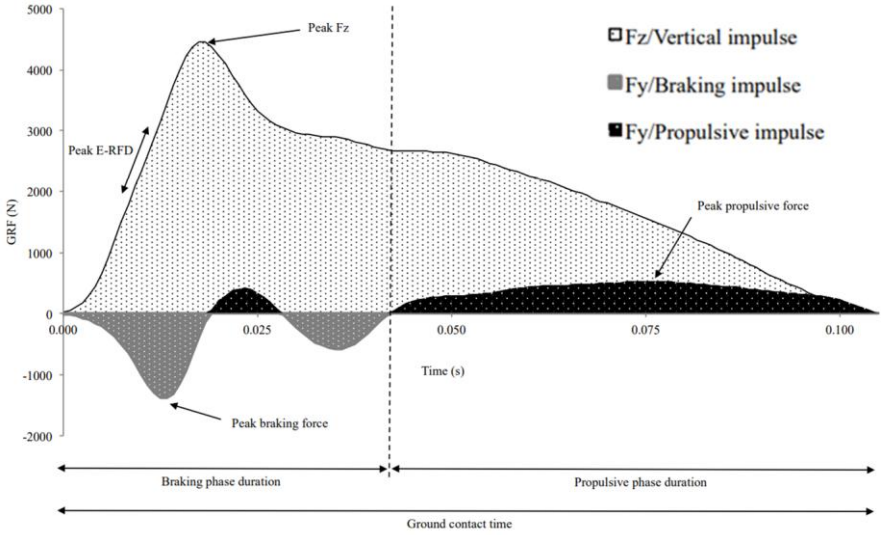


A velocidad constante, velocidad horizontal del CM disminuye tras el contacto inicial con el suelo. Posteriormente (fase de impulso), velocidad CM aumenta

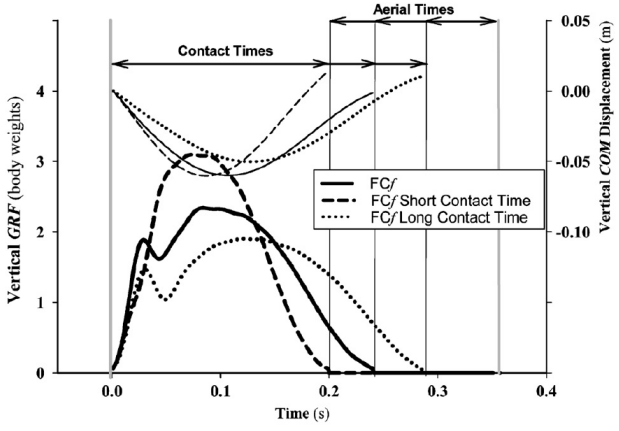
Cavenagh y Lafortune (1980) observaron una disminución de 0.18 m/s en la velocidad durante la fase de frenado (4.47 m/s), seguida de aumento de 0.27 ms durante la fase de propulsión. La velocidad de despegue fue mayor que en aterrizaje.

Por efecto la resistencia del aire y la falta de punto de apoyo, durante la fase de vuelo, la velocidad horizontal CM disminuye.

Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.



Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running
J.B. Morin, P. Samozino, K. Zameziati & A. Belli
Journal of Biomechanics 40, 3341–3348. 2007.

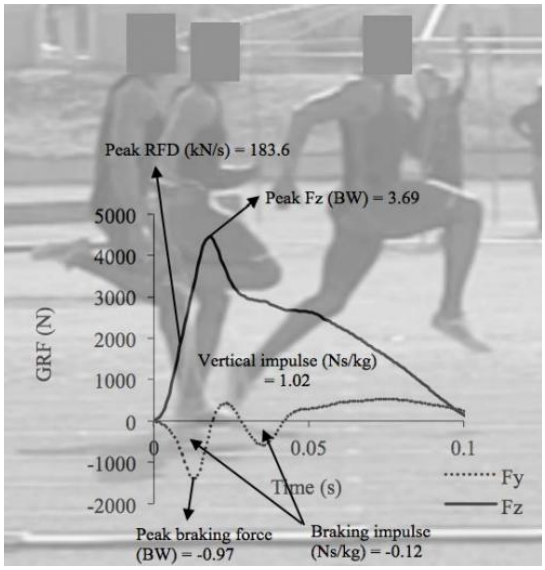


Curvas típicas de la fuerza de reacción vertical del suelo (abajo) y del desplazamiento vertical del centro de masa (arriba) en función del tiempo durante ensayos normales (línea), con tiempo de contacto reducido (guiones) y con tiempo de contacto aumentado (puntos).

Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes

Deborah Louise Sides

Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.

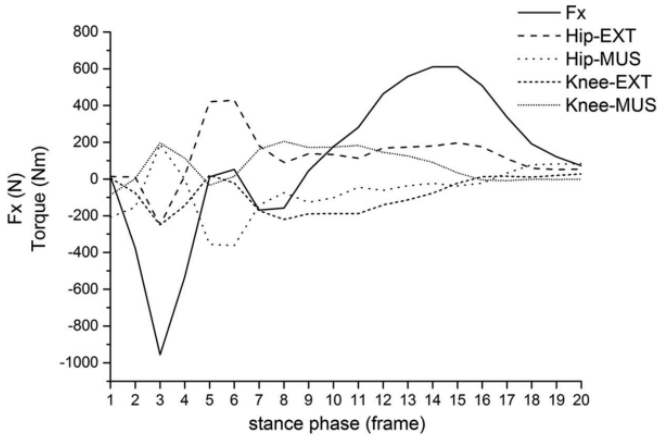


Biomechanical insights into differences between the mid-acceleration and maximum velocity phases of sprinting

Yu, J., Sun, Y., Yang, C., Wang, D., Yin, K., Herzog, W., & Liu, Y.

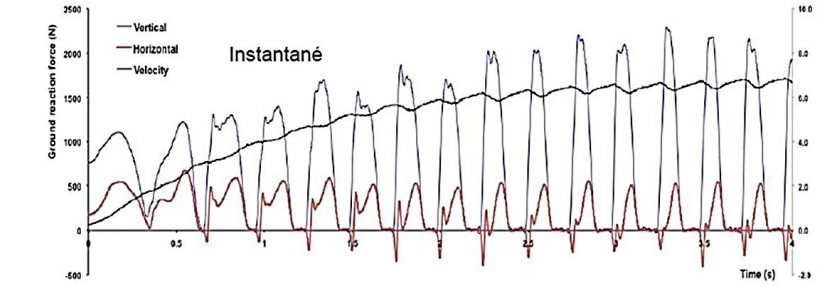
Journal of Strength & Conditioning Research, 30(7), 1906-1916. 2016.

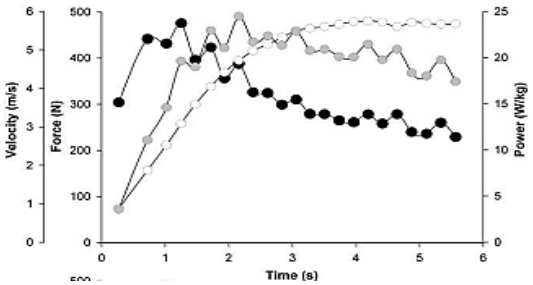
Fuerza de Reacción Horizontal sobre Suelo (Fx), MUS y EXT en articulaciones de la rodilla y la cadera durante la fase de apoyo (EXT: torque externo; MUS: torque muscular)



Direct measurement of power during one single sprint on treadmill

Morin, J. B., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., & Belli, A.
Journal of Biomechanics, 43(10), 1970-1975. 2010.



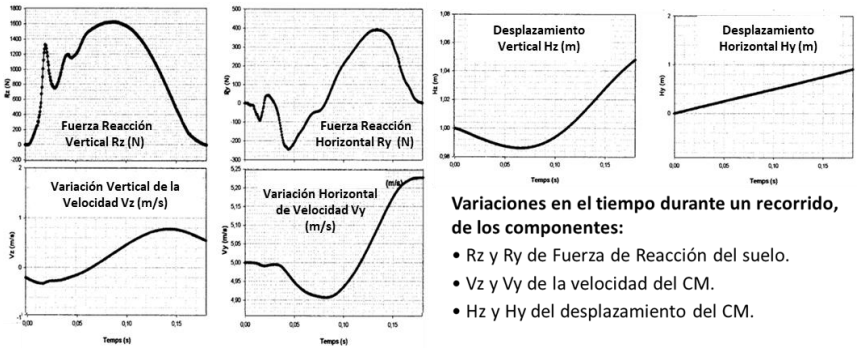


Curvas típicas de potencia de propulsión (gris), velocidad (blanco) y fuerza (puntos negros) promediadas para cada paso durante un sprint de 6"

ÉTUDE BIOMÉCANIQUE DE LA COURSE À PIED

Leboeuf, F., de Leluardière, F. A., Lacouture, P., Duboy, J., Leplanquais, F., & Junqua, A.
Podologie, 27-020-a-20. 2006.

Relación entre las curvas de Fuerza, Velocidad y Desplazamiento Vertical y Horizontal del CM durante las fases de apoyo y despegue de un ciclo de carrera



Variaciones en el tiempo durante un recorrido, de los componentes:

- Rz y Ry de Fuerza de Reacción del suelo.
- Vz y Vy de la velocidad del CM.
- Hz y Hy del desplazamiento del CM.

- **Curva Fuerza Vertical refleja el desplazamiento vertical del CM (descenso y ascenso).**
- **Curva Fuerza Horizontal (frenado & propulsión) refleja variación de Velocidad Horizontal CM (caída mínima en apoyo + recuperación en despegue).**

En velocistas de élite, la clave está en Minimizar el Tiempo y Magnitud de Frenado

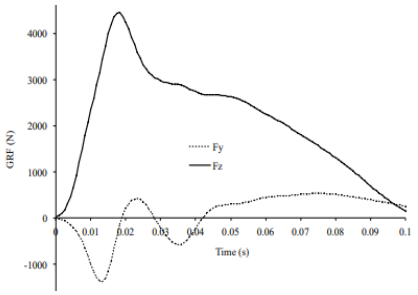
Maximizar la propulsión horizontal en un apoyo brevísimo (~100 ms)

Mantener un desplazamiento vertical, evitando "saltar" demasiado

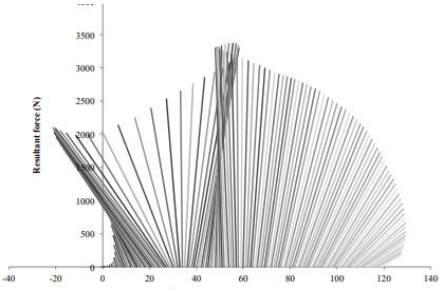
Kinematics and Kinetics of Maximal Velocity Sprinting and specificity of training in Elite athletes
Deborah Louise Sides
Tesis Doctoral. University of Salford. School of Health Sciences. 2014.

Durante el apoyo, la fuerza resultante aumenta y tiende a una dirección vertical hasta aproximadamente 50 ms de contacto con el suelo, cuando se experimenta un segundo período de fuerza negativa (como lo ilustra la Fy negativa en el gráfico anterior)

Posteriormente, la fuerza resultante comienza a disminuir, pero se orienta hacia adelante, en la misma dirección que el sprint



Fuerza Vertical (Fz) experimentó un rápido aumento hasta un máximo de 4449 N en 0,02 s, seguido de una rápida disminución hasta 3000 N, y luego una disminución más gradual hasta el punto de TO en 0,103 s.



Fuerzas resultantes que actúan sobre el pie, donde la longitud de la línea representa la magnitud de la fuerza y el ángulo de la línea representa la dirección de su aplicación.

Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal
Mero, A., & Komi, P. V.
Medicine and Science in Sports and Exercise, 19(3), 266-274. 1987.

Sprint Supramáximo no modifica significativamente los TC y TV, pero sí aumenta la Fuerza y Potencia Horizontales, especialmente mediante una mayor orientación de la fuerza en la fase de propulsión y un incremento de la carga en la Fase de Frenado

Variables cinéticas y temporales en el Sprint Máximo y el Supramáximo

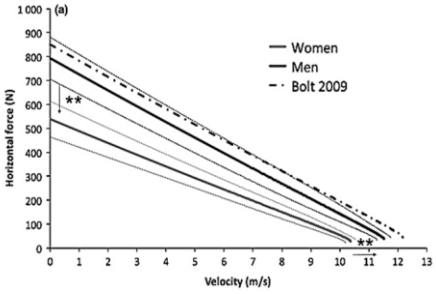
Variable	Maximal sprint running	Supramaximal sprint running	p <
Running velocity (msec)	9.96	10.82	0.001
Contact time (msec)	94	92	ns
Flight time (msec)	120	125	ns
Braking phase (msec)	39	45	0.05
horizontal force (N)	445	559	0.05
vertical force (N)	1707	2044	0.01
resultant force (N)	1766	2122	0.001
direction of resultant force from horizontal (°)	75	75	ns
horizontal power (W/kg)	59	81	0.001
Propulsion phase (msec)	55	47	0.05
horizontal force (N)	312	334	0.05
vertical force (N)	797	621	0.05
resultant force (N)	857	709	0.01
direction of resultant force from horizontal (°)	68	61	0.05
horizontal power (W/kg)	42	48	0.01

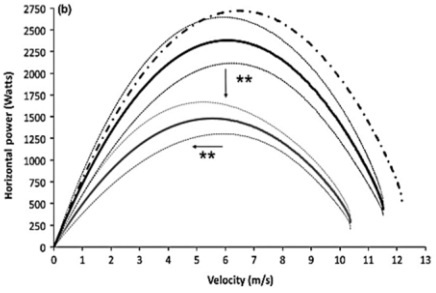
How 100-m event analyses improve our understanding of world-class men's and women's sprint performance

Slawinski, J., Termoz, N., Rabita, G., Guilhem, G., Dorel, S., Morin, J. B., & Samozino, P. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(1), 45-54. 2017.

- **Las propiedades mecánicas, absolutas y relativas de los atletas.**
- **F0, Pmáx y V0, fueron significativamente mayores en los hombres**
- **El rendimiento solo se correlacionó con el V0 en hombres y mujeres (H: r=0,86; P≤0,0001 vs. M: r=0,83; P≤0,0001).**
- **Expresadas en relación con PC, F0 y Pmáx no se correlacionaron con el rendimiento en ♂ y ♀ (0,24 ≤ r ≤ 0,02 & 0,09 ≤ P ≤ 0,9).**

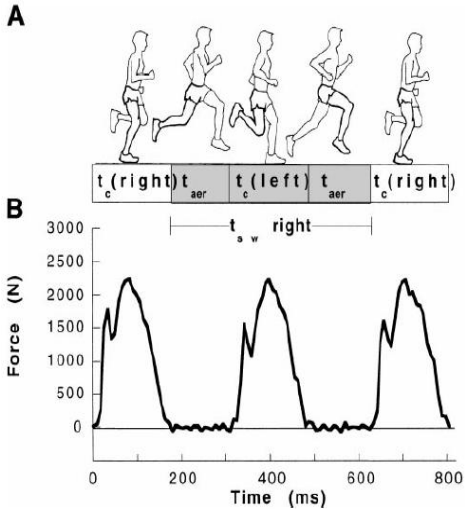
	Women Mean ± SD	Men Mean ± SD	% Difference
Entire race			
F_{mean} (N)	77.4 ± 8.6	103.6 ± 12.7	−25.3**
F_{mean} (N/kg)	1.3 ± 0.1	1.3 ± 0.1	−0.9
P_{mean} (W)	514 ± 56.0	869 ± 101.0	−40.9**
P_{mean} (W/kg)	8.6 ± 0.7	11.0 ± 0.7	−21.8**
V_{mean} (m/s)	9.30 ± 0.19	10.5 ± 0.24	−11.5*
Acceleration phase			
F_0 (N)	546 ± 74	800 ± 88.8	−31.7**
F_0 (N/kg)	9.0 ± 1.6	10.1 ± 0.9	−10.9**
P_{max} (W)	1494 ± 186	2392 ± 271	−37.7**
P_{max} (W/kg)	24.5 ± 4.2	30.3 ± 2.5	−19.1**



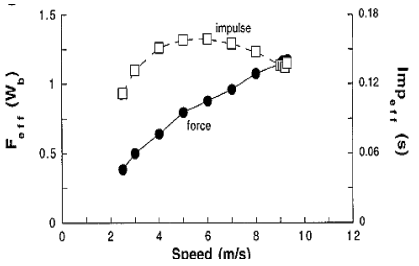


Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements

Peter G. Weyand, Deborah B. Sternlight, Mattew J. Bellizzi & Seth Wright Journal Applied Physiology, 89, 1991–1999. 2000.



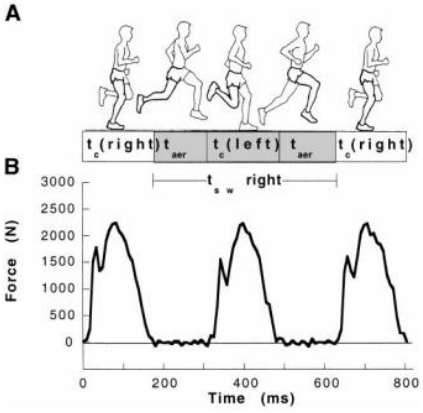
Los corredores no consiguen máximas velocidades mediante un aumento constante de la Frecuencia de Zancada (FZ), sino aplicando mayores fuerzas de empuje durante los apoyos del pie en el suelo (Tiempo de Contacto)



Las fuerzas de apoyo efectivas durante TC aumentaron en proporción directa a la velocidad de carrera. Los impulsos efectivos aumentaron de velocidades más lentas a intermedias para luego disminuir a velocidades más elevadas.

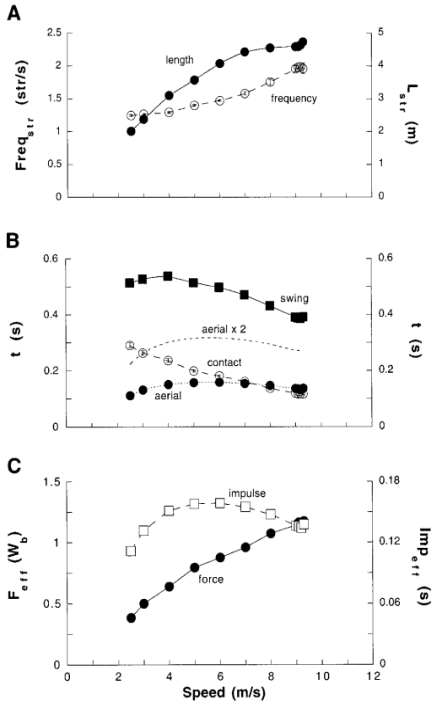
Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements

Weyand, P.G., Sternlight, D.B., Bellizzi, M.J. & Wright, S. Journal of Applied Physiology, 89(5), 1991-1999. 2000.



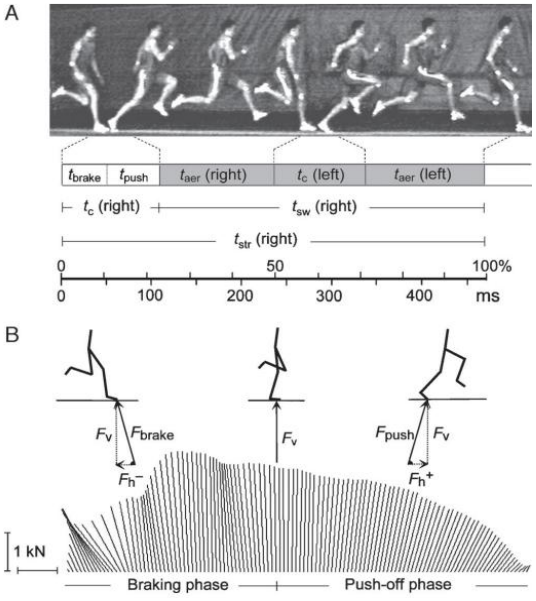
Fases de una zancada (A) y datos de la fuerza de reacción en cinta (B) proporcionados por la plataforma de fuerza

Los datos de fuerza se utilizaron para determinar: Tiempos de Contacto (tc), Vuelo (taer), Balanceo (tsw) y Total de Zancada (tstr)



Biomechanical and skeletal muscle determinants of maximum running speed with aging

Korhonen, M. T., Mero, A. A., Alen, M., Sipilä, S., Häkkinen, K., Liikavainio, T., ... & Suominen, H. Medicine & Science in Sports & Exercise, 41(4), 844-856. 2009.



Descripción de los componentes del ciclo de zancada (A) y diagrama vectorial de fuerza resultante (B) con los cambios en la magnitud y la orientación de la FGR a través del contacto.

- **tc = tiempo de contacto**
- **taer = tiempo en el aire**
- **tsw = tiempo de balanceo**
- **Fbrake = FGR resultante de la fase de frenado**
- **Fpush = FGR resultante de la fase de impulso**
- **Fv = FGR vertical**
- **Fhj = FGR de frenado horizontal**
- **Fh+ = FGR de impulso horizontal**

Leg power and hopping stiffness:
relationship with sprint running performance
Souhaiel M. Chelly & Christian Denis
Medicine Science Sports and Exercise, 33(2), 326–333. 2001.

Aunque la Potencia Muscular es necesaria para Acelerar y mantener la Velocidad Máxima en el sprint, una alta RIGIDEZ y Reactividad en las piernas también son factores clave para correr a alta velocidad

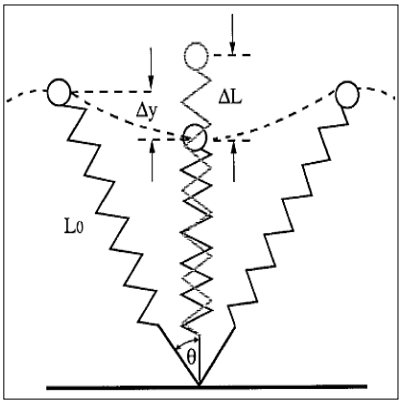
Diagrama del modelo de Masa-Resorte durante la carrera de velocidad

***L0*, *ΔL*, *Δy* y *ϑ* representan:**

- Longitud inicial del resorte mitad de la pierna,
- Compresión máxima del resorte,
- desplazamiento vertical máximo del CM,
- Mitad del ángulo barrido por el resorte durante la fase de apoyo.

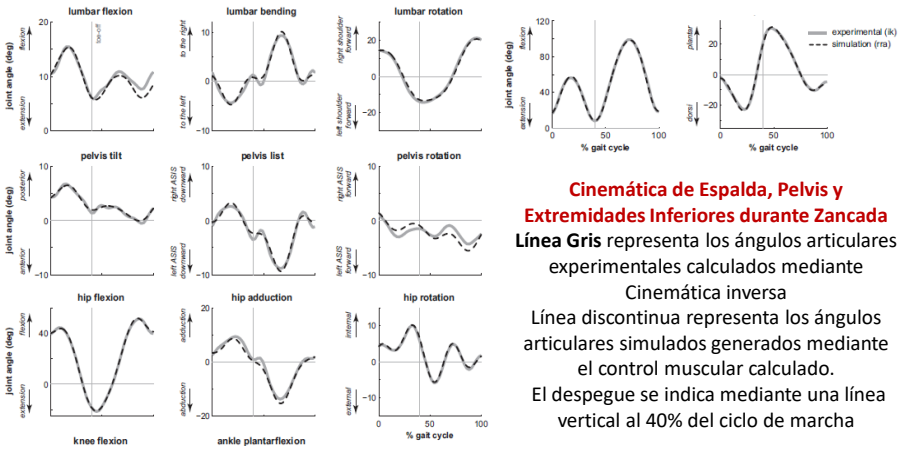
El modelo masa-resorte dibujado con una línea discontinua representa el resorte de pierna sin comprimir

El arco dibujado con una línea discontinua muestra la trayectoria C.M. durante fase de apoyo



Muscle contributions to propulsión and support during running
Samuel R.Hamner, AjaySeth & ScottL.Delp
Journal of Biomechanics, 43, 2709–2716. 2010.

Durante primera parte de la fase de apoyo, cuádriceps fue el que más contribuyó al frenado y apoyo Durante la segunda mitad, los músculos sóleo y gastrocnemio fueron los que más contribuyeron a propulsión y apoyo
Los brazos no contribuyeron sustancialmente a la propulsión al apoyo, generando menos del 1% de la aceleración máxima del centro de masas



Cinemática de Espalda, Pelvis y Extremidades Inferiores durante Zancada
Línea Gris representa los ángulos articulares experimentales calculados mediante Cinemática inversa
Línea discontinua representa los ángulos articulares simulados generados mediante el control muscular calculado.
El despegue se indica mediante una línea vertical al 40% del ciclo de marcha

CALIDAD DE LOS APOYOS VS. APLICACIÓN DE FUERZAS
(PRONACIÓN & SUPINACIÓN EXCESIVA VS. VELOCIDAD)

Tanto la pronación (>15°) como la supinación excesiva (<5°) afectan negativamente al rendimiento en velocidad, pero por mecanismos distintos:

- Siempre se debe buscar la mínima pérdida de energía en apoyo.
  - Un pie neutro o con pronación ligera (7°–10°) suele ser más eficiente.
- **Exceso de pronación** conlleva pérdida de rigidez y disminuye la palanca de despegue.
- **Exceso de supinación** provoca falta de absorción y puede ser fuente de un mayor riesgo de frenado e incluso lesiones.

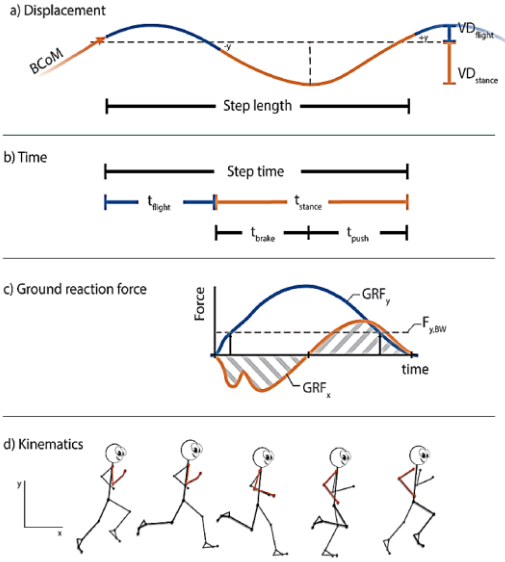
En ambos casos, pronación o supinación excesiva, la economía de carrera se ve siempre comprometida, y eso significa menos velocidad sostenida y más probabilidad de fatiga o lesión

		
Patrón de corredor **supinador** (< 5°)	Patrón de corredor **neutro** (5°-15°)	Patrón de corredor **pronador** (> 15°)

DESPLAZAMIENTO DEL CUERPO DURANTE LA FASE DE APOYO



The biomechanics of running and running styles: a synthesis
Ben T. van Oeveren, Cornelis J. de Ruiter, Peter J. Beek & Jaap H. van Dieën
Sports Biomechanics, 23(4), 516–554. 2024.



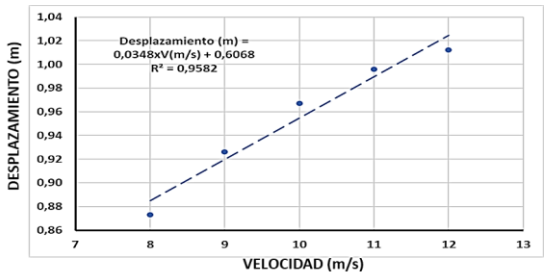
Trayectoria de CM resulta de la Fuerza de Reacción en el Suelo (GRF) que generan momentos articulares de extremidades & tronco

Parámetros Espaciotemporales, Cinética de extremidades y tronco, y Fuerzas de Reacción del suelo están interrelacionados mecánicamente.

La asimetría entre aterrizaje y despegue se puede evaluar dividiendo la **Fase de Apoyo** en una **Fase de Frenado** y una **Fase de Propulsión**, utilizando el cambio de signo de la GRF horizontal **(GRFx).**

a) Trayectoria del CM (*BCoM*)
b) Fases de la Zancada
c) Fuerza Reacción en suelo (*GRF*)
d) Momentos articulares en extremidades y tronco

DESPLAZAMIENTOS DEL CENTRO DE MASAS DURANTE LA FASE DE APOYO



Velocidad (m/s)	TC (s)	Δv frenado (m/s)	Δv neta (m/s)	V min (m/s)	V salida (m/s)	Desplazamiento TC (m)
8.0	0.110	-0.200	0.120	7.800	8.120	0.873
9.0	0.104	-0.202	0.090	8.798	9.090	0.926
10.0	0.098	-0.200	0.060	9.800	10.060	0.967
11.0	0.091	-0.192	0.030	10.808	11.030	0.996
12.0	0.085	-0.180	0.000	11.820	12.000	1.012

Δv frenado: Caída Máxima de Velocidad en TC (negativa)
Δv neta: Cambio Neto en TC
(positivo en Fase Aceleración; ≈0 a Velocidad Máxima)

DESPLAZAMIENTO DEL CENTRO DE MASAS DURANTE LA FASE DE APOYO

- **Trayectoria:** Verticalmente, CM describe una curva en "U" poco profunda.
  - Punto más bajo se genera a mitad del apoyo y vuelve a elevarse hacia el despegue.
- Desplazamiento Horizontal casi lineal, con ligero frenazo a inicio de TC y se acelera al final del apoyo.
- **Oscilación Horizontal del CM**: 0,85–1,02 m/paso según Velocidad y Fase de Carrera.
- A mayor velocidad, TC cae (~0,11 → ~0,085 s de 8 a 12 m/s) y la oscilación de velocidad en el apoyo es menor (menos "frenado/propulsión" relativo).
- **Oscilación Vertical del CM**: es pequeña (≈2–5 cm en velocidad máxima).
  - Suele ser mayor en aceleración inicial (cuerpo más inclinado y contactos más largos) y menor en velocidad máxima (mayor rigidez y contactos más cortos).
- **Desplazamiento Lateral del CM:** mínimo (≈1–2 cm), alternando hacia el lado de la pierna de apoyo, con función principalmente de estabilidad.
- **Evolución durante la prueba**:
  - ***Tacos y Fase Inicial de Aceleración:*** postura baja, contactos más largos, mayor oscilación vertical relativa.
  - ***Segunda Fase de Aceleración (30–60 m)***: se reduce TC, mientras aumenta FZ y rigidez; oscilación vertical se atenúa.
  - ***Máxima Velocidad y Final de Prueba:*** contactos muy breves (≈0,08–0,10 s), zancadas largas, oscilación vertical mínima y trayectoria del CM muy "plana".

FASES DE FRENADO E IMPULSO DURANTE LA FASE DE APOYO

En sprint, el apoyo suele dividirse en 2 Fases: Frenado e Impulso

Frenado: ≈40% vs. Impulso ≈60%

"*Punto de Transición*" se sitúa, ≈ 30–57 % del Apoyo

•Con Aumento de la Velocidad: TC disminuye y la fracción de frenado tiende a reducirse ligeramente (mejor rigidez/colocación).

- Relación Frenado/Impulso: ≈40/60 alrededor de Velocidad Máxima.

•Máxima Velocidad:

TC disminuye y la fracción de frenado tiende a reducirse ligeramente, manteniéndose una relación ≈40%/60%.

•Fase aceleración temprana:

El porcentaje (%) de propulsión puede ser mayor (busca ganar velocidad);

•Máxima Velocidad:

El cambio neto de velocidad por apoyo tiende a ≈0 y la división temporal se estabiliza.

DISTANCIA DEL PUNTO DE APOYO A LA PROYECCIÓN DEL C.M.





Según numerosos estudios, el punto de apoyo se sitúa, aproximadamente, a 33.0 ± 0.05 cm (30-45 cm) de la proyección vertical del Centro de Masas

Los atletas más pesados tienden a hacer contacto más adelante de su Centro de Masas

VALORES REPORTADOS EN VELOCISTAS ÉLITE (VELOCIDAD MÁXIMA)

PRUEBA/MUESTRA	DISTANCIA	RANGO	NOTAS
100 m (Hombres) Finalistas CM 2017	0.38 m	0.32-0.44 m	Medido en fase de alta velocidad en competición oficia
100 m (Mujeres) Finalistas CM 2017	0.37 m	0.33-0.39 m	Medido en fase de alta velocidad en competición oficia
200 m (Hombres) CM 2017	0.35—0.45 m		Medido en Plataforma de Fuerza
400 m (Hombres) CM 2017	0.45-0.48 m	25-26% Estatura	---
100 m (Hombres) Varios Estudios	≈0.31 m	---	---

BIOMECHANICAL REPORT FOR THE 100 M MEN'S
IAAF World Championships London 2017
Athanassios Bissas, Josh Walker, Catherine Tucker,
Giorgios Paradisis & Stéphane Merlino

Distancia Horizontal desde el Punto de Contacto con el Suelo hasta el CM en el Momento del Aterrizaje (DCM TD) y de despegue (DCM TO)

	DCM TD (m / % body height)		DCM TO (m / % body height)	
	Left	Right	Left	Right
GATLIN	0.48 / 26	0.40 / 22	0.65 / 35	0.63 / 34
COLEMAN	0.38 / 21	0.38 / 22	0.54 / 31	0.60 / 34
BOLT	0.48 / 25	0.32 / 16	0.67 / 35	0.68 / 35
BLAKE	0.33 / 18	0.33 / 18	0.67 / 37	0.63 / 35
SIMBINE	0.28 / 16	0.37 / 21	0.62 / 35	0.59 / 34
VICAUT	0.39 / 21	0.42 / 23	0.65 / 35	0.57 / 31
PRESCOD	0.33 / 18	0.43 / 23	0.65 / 35	0.60 / 33
SU	0.36 / 21	0.33 / 19	0.59 / 34	0.57 / 33

TIEMPO DE CONTACTO A DIFERENTES INTENSIDADES DE MARCHA

EL PIE EN LA CARRERA: FASE DE APOYO
Antonio Turmo Garuz
APUNTS Medicina de l'sport, 132, 31-38. 2000.

Comparación de la **FASE DE FRENADO (AMORTIGUACIÓN)** a diferentes Velocidades: Marcha, Carrera y Sprint

MAR			CAR			SPR		
TA	FrAP0	%	TA	FrAP0	%	TA	FrAP0	%
746	233	31,2	180	80	44,4	125	44	35,2
746	230	30,8	168	71	42,3	128	47	36,7
764	272	35,6	222	88	39,6	130	44	33,8
729	165	22,6	185	88	47,6	138	49	35,5
771	214	27,8	190	83	43,7	133	49	36,8
777	215	27,7	194	86	44,3	121	38	31,4
735	207	28,2	198	85	42,9	122	45	36,9
602	160	26,6	198	91	46,0	129	39	30,2
686	235	34,3	204	89	43,6	130	40	30,8
625	190	30,4				137	46	33,6
657	200	30,4				134	45	33,6
712,5	**211**	**29,6**	**193,2**	**84,6**	**43,8**	**129,7**	**44,2**	**34,1**
60,8	32,3	3,6	15,3	6,1	2,2	5,6	3,8	2,4

Marcha (MAR)

Tiempo de Apoyo (TA): 712,5 ms ± 60,8. El tiempo de contacto con el suelo es el más largo de las tres modalidades, lo que concuerda con la mecánica de la marcha.

Fuerza Anteroposterior (FrAP0): 211 N ± 32,3.

% Fase de Apoyo: 29,6 % ± 3,6. Fuerza Máxima ocurre hacia el 1er tercio del apoyo.

Carrera (CAR)

Tiempo de Apoyo (TA): 193,2 ms ± 15,3. Contacto más breve que en la marcha.

Fuerza Anteroposterior (FrAP0): 84,6 N ± 6,1. Valores menores en magnitud absoluta respecto a la marcha, pero en un tiempo mucho más corto.

% Fase de Apoyo: 43,8 % ± 2,2. El máximo ocurre más hacia la mitad del apoyo.

Sprint (SPR)

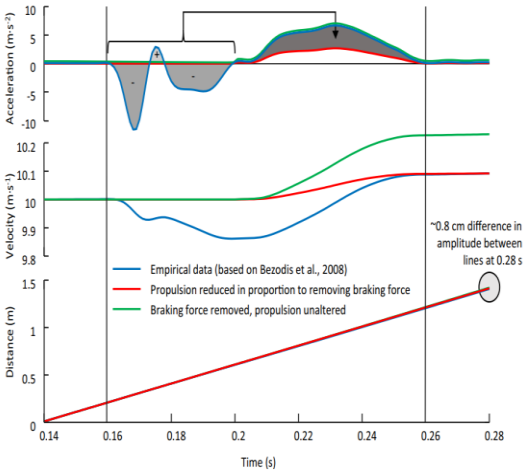
Tiempo de Apoyo (TA): 129,7 ms ± 5,6. Es la modalidad con menor TC.

Fuerza Anteroposterior (FrAP0): 44,2 N ± 3,8. Aún menores que en carrera, pero aplicadas en un lapso brevísimo de tiempo.

% fase de Apoyo: 34,1 % ± 2,4 → la fuerza máxima aparece antes de la mitad del apoyo.

Sprint running:
from fundamental mechanics to practice - a review
Haugen, T., McGhie, D., & Ettema, G.
European journal of applied physiology, 119(6), 1273-1287. 2019.

Análisis del efecto del frenado y la propulsión durante el contacto con el suelo en el rendimiento del sprint



La secuencia frenado-propulsión está asociada con ciclos estiramiento-acortamiento a nivel muscular

El mecanismo de almacenamiento y liberación de energía elástica que acompaña a este comportamiento probablemente ocurre durante el sprint, especialmente a velocidad máxima.

Sin embargo, la idea de que los CEAs surgen como una estrategia debido a este mecanismo es errónea

El mecanismo almacenamiento- liberación siempre conlleva cierta pérdida de energía, aunque solo sea debido a propiedades viscosas de tendones.

Por lo tanto, si se pudiera evitar el frenado para mantener la energía cinética del cuerpo, sería una mejor estrategia para "*ahorrar*" energía mediante la absorción elástica

Si se produce el frenado, es beneficioso almacenar elásticamente la mayor parte de la energía perdida como energía cinética y reutilizarla en la propulsión.

OSCILACIONES DEL CENTRO DE MASAS DURANTE LOS APOYOS

Durante la Fase de Apoyo en Carreras de Alta Velocidad, el C.M. desciende y asciende ≈3–6 cm, en un ciclo muy rápido (≈0,1 segundo)

Los velocistas de élite destacan por mantener esta oscilación mínima y estable, lo que les permite transformar las fuerzas de frenado en propulsión sin perder eficiencia horizontal

- En corredores de élite a velocidad máxima (10–12 m/s), la oscilación vertical del CM por ciclo de apoyo está en el orden de:~3 a 6 cm de descenso respecto a la fase de vuelo.
- La amplitud total del "rebote" vertical (descenso + ascenso) suele estar en 6–8 cm.
- En corredores menos entrenados, la oscilación puede ser mayor (8–10 cm), porque los apoyos son más largos y con menos rigidez articular.
- En comparación, en carrera de resistencia la oscilación vertical del CM es algo mayor (8–10 cm) porque los tiempos de apoyo son más prolongados.

FACTORES DETERMINANTES

Tiempo de Contacto: cuanto más corto (≈0,08–0,10 s), menor caída del CM.

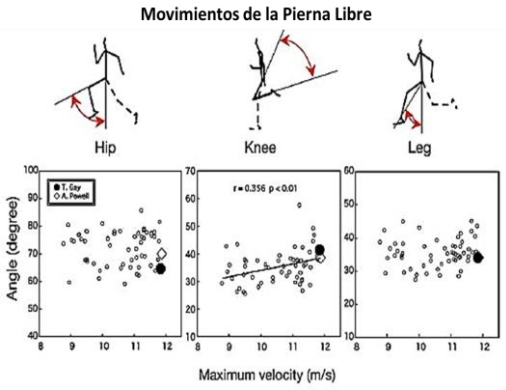
Rigidez Pierna: Las estructuras musculo-tendinosas funcionan como muelles que amortiguan y restituyen energía (explosivo-elástico-refleja), reduciendo oscilaciones.

Técnica Eficiente: velocistas de élite minimizan el movimiento vertical para optimizar la propulsión horizontal.

Fatiga: al final de la carrera, la oscilación aumenta ligeramente porque se pierde rigidez y se prolongan los apoyos.

Mid-phase movements of Tyson Gay and Asafa Powell in the 100 metres at the 2007 World Championships in Athletics
Akira Ito, Koji Fukuda & Kota Kijima
New Studies in Athletics, 23(2), 39-43. 2008.

Las gráficas muestran que, entre los ángulos articulares analizados durante la fase media del sprint, solo el de la rodilla se correlaciona significativamente con la velocidad máxima, destacando su papel determinante en el rendimiento de los velocistas de élite

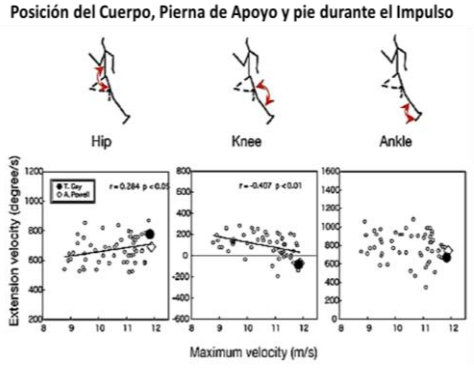


- La rodilla desempeña un papel crítico en la velocidad máxima, probablemente porque un mayor rango de movimiento en esta articulación favorece la eficiencia en la oscilación de la pierna y la FZ.
- Los ángulos de cadera y pierna no se relacionan con la velocidad máxima, lo que indica que pueden variar según el estilo técnico individual sin comprometer rendimiento.
- Tyson Gay y Asafa Powell presentan valores dentro de la tendencia general, confirmando que su éxito se alinea con los patrones técnicos observados en sprinters de élite.

Mid-phase movements of Tyson Gay and Asafa Powell in the 100 metres at the 2007 World Championships in Athletics
Akira Ito, Koji Fukuda & Kota Kijima
New Studies in Athletics, 23(2), 39-43. 2008.

La relación entre la velocidad máxima de carrera y la velocidad angular de extensión en tres articulaciones clave durante la fase de Máxima Velocidad del sprint

La velocidad máxima está asociada a una mayor velocidad de extensión de cadera y una menor velocidad de extensión de rodilla, mientras que la extensión de tobillo no muestra relación significativa con el rendimiento



- **Extensión rápida de cadera es un factor clave en consecución de altas velocidades, dado que contribuye al impulso horizontal.**
- **Una menor velocidad de extensión de rodilla en los más veloces sugiere que la rodilla se mueve de forma más controlada y coordinada, probablemente para optimizar la transmisión de fuerzas y la frecuencia de zancada.**
- **Tobillo, pese a ser fundamental en la propulsión, no muestra relación directa con Vmax, lo que indica que su papel puede depender más del ciclo estiramiento–acortamiento que de la velocidad angular.**

Étude biomécanique de la course à pied
Leboeuf F., de Leluardière F.A., Lacouture P., Duboy J., Leplanquais F., & Junqua A.
Podologie, 27-020-a-20. 2006.

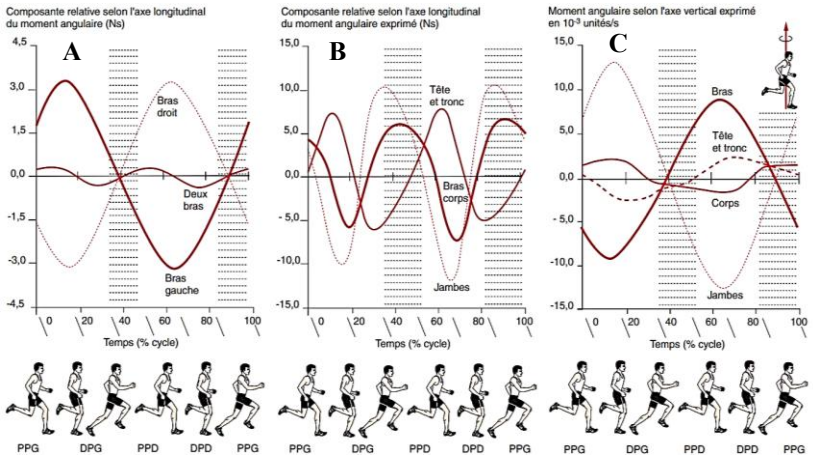
MOMENTO ANGULAR DE DIFERENTES SEGMENTOS

•A: Promedio de las curvas del componente anteroposterior (longitudinal) del momento angular de los brazos para una carrera de 3,8 m/s.

•B: Promedio de las curvas del componente anteroposterior (longitudinal) del momento angular de los segmentos y del cuerpo para una carrera de 3,8 m/s.

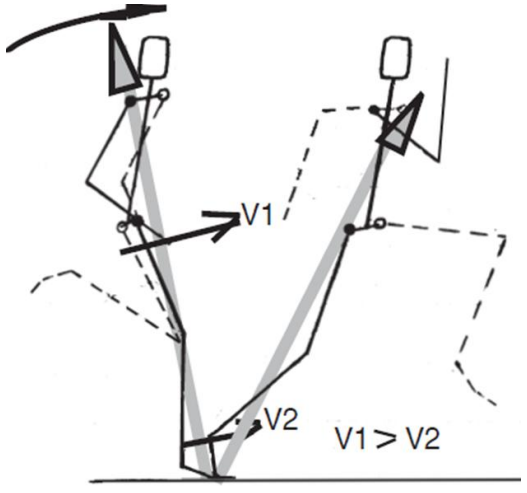
•C: Promedio de las curvas del componente vertical del momento angular de los segmentos y del cuerpo para una carrera de 4,5 m/s (para facilitar comparación entre sujetos, el momento angular absoluto ($kg.m^2.s^{-2}$), se normalizó dividiéndolo entre PC (kg) y Estatura^2 (m).

Dado que los valores son relativamente pequeños, se expresan en 10^{-3} (0,001/s)

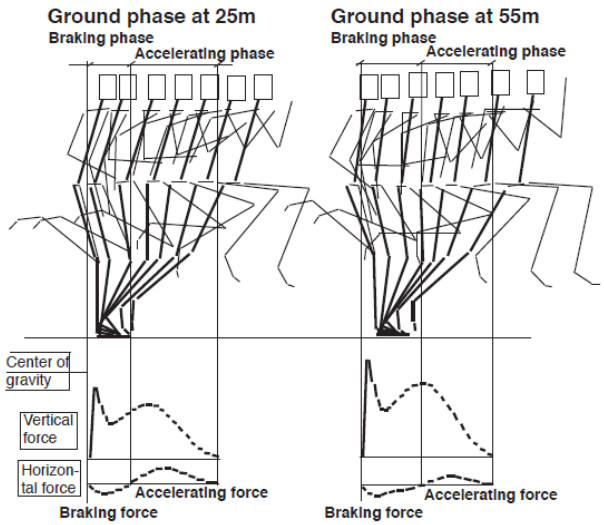


SUBFASES DE LA FASE DE APOYO EN LA CARRERA DE VELOCIDAD

FASES DE FRENADO – TRANSICIÓN - IMPULSO



La figura muestra la técnica de movimiento y la "fuerza de reacción" vertical y horizontal de la pista durante el contacto del pie de apoyo con el suelo



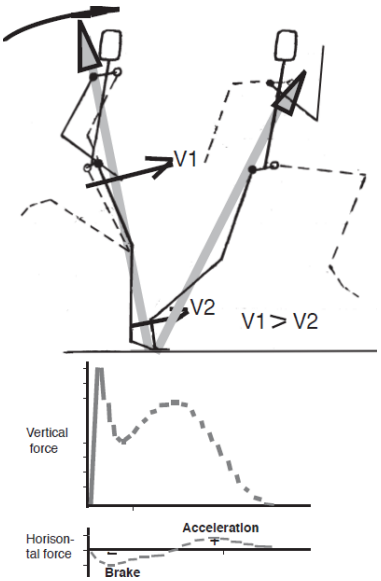
Durante la fase de apoyo (FC), antes de cruzar la línea vertical del CM, hay una corta fase de frenado.

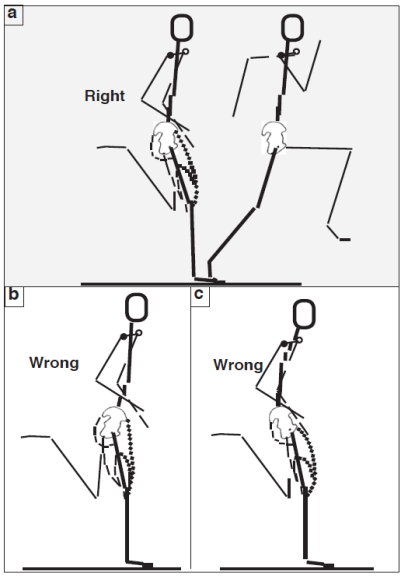
En la fase de frenado, entre otras cosas, se acumula energía de deformación elástica por el estiramiento del músculo.

En esta fase también se activa el reflejo de estiramiento, que junto con la energía elástica inicia la acción de carga del músculo.

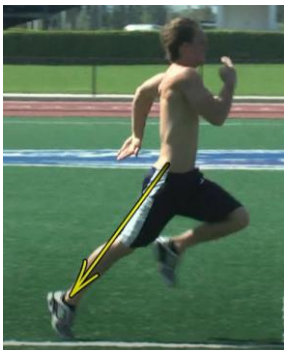
Durante la fase posterior tiene lugar la aceleración horizontal del CM.

Relación entre la posición del pie en el apoyo (V1 versus V2), las fuerzas expresadas durante ese contacto, y cómo ciertos alineamientos corporales (y errores comunes) influyen en el rendimiento

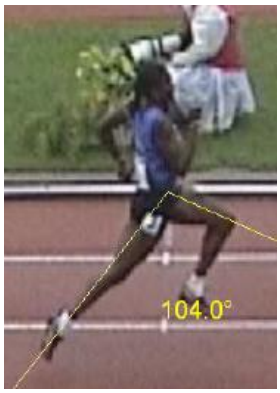




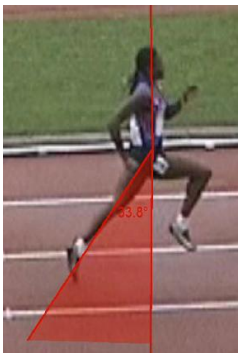
ÁNGULO DE LA PIERNA DE IMPULSO CON LA PROYECCIÓN VERTICAL EN EL MOMENTO DEL DESPEGUE



- H: ≈ 104-105º
- M: ≈ 96-97º



- H: 17,91° +/– 6,73º
- M: 15,00° +/– 9,36º



Biomechanics of Sprint Running: Review
Mero, A., Komi, P.V. & Gregor, R.J.
Sports Medicine, 13(6), 376-392. 1992.

Variable	Men[a] (n = 12)	Men[b] (n = 8)	Men[b] (n = 8)	Women[c] (n = 10)
100m record (sec) [hand time]	10.35	10.80	11.50	11.69
Duration of force production (sec)	0.369	0.361	0.368	0.390
Horizontal force production				
maximal force (N)		1186	898	
average force (N)		650	531	
impulse (N · sec)	263	234	195	156
power (W/kg)		12.7	9.4	
Vertical net force production				
maximal force (N)		958	683	
average force (N)		641	484	
impulse (N · sec)		231	178	213
power (W/kg)		4.1	3.5	
Resultant force at the moment of maximal horizontal force				
force (N)		1555	1175	
direction from horizontal (°)		40	38	
Average lateral force (N)		37	78	
Bodyweight (kg)	73.6	74.7	77.6	54.4
Proportion of bodyweight on the legs in the 'set' position (%)	Under 28	57.4	59.5	30.0
Block velocity[d] (m/sec)	3.60	3.22	2.94	2.87

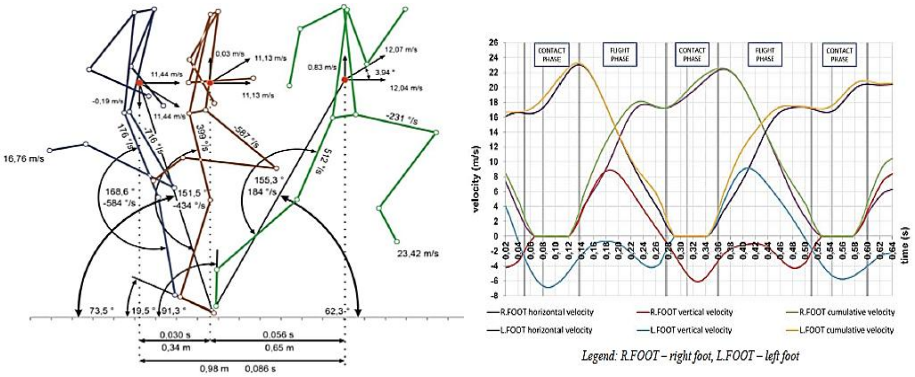
Usain Bold–Biomechanical model of sprint technique
Milan Čoh
Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport, 17(1), 1-13. 2019.

Posición del pie (planta) de Usain Bolt muestra un ángulo de 19.5°

Durante fase vertical del apoyo, el ángulo entre eje longitudinal del pie y suelo es 27.3°

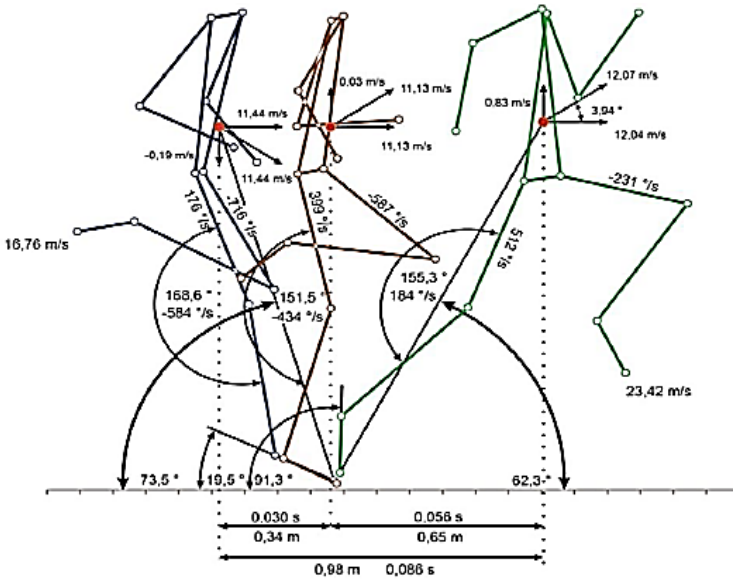
Para una marcha eficiente es necesario asegurar una alta velocidad horizontal del pie libre en la fase de contacto y una alta velocidad en el momento de contacto (agarre)

Velocidad Horizontal del pie (Usain Bolt) es de 16.76 m/s en Fase de Frenado y 23.42 m/s en la Fase de Propulsión

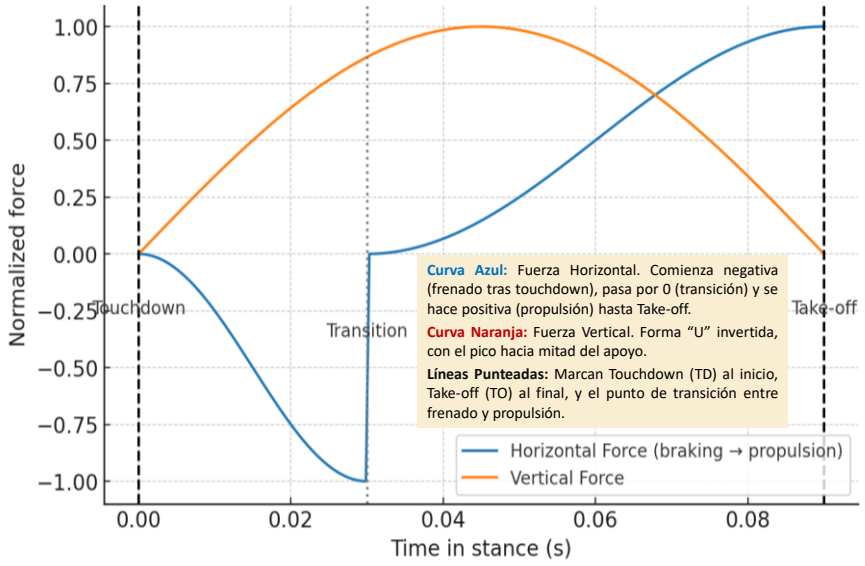


Legend: R.FOOT – right foot, L.FOOT – left foot

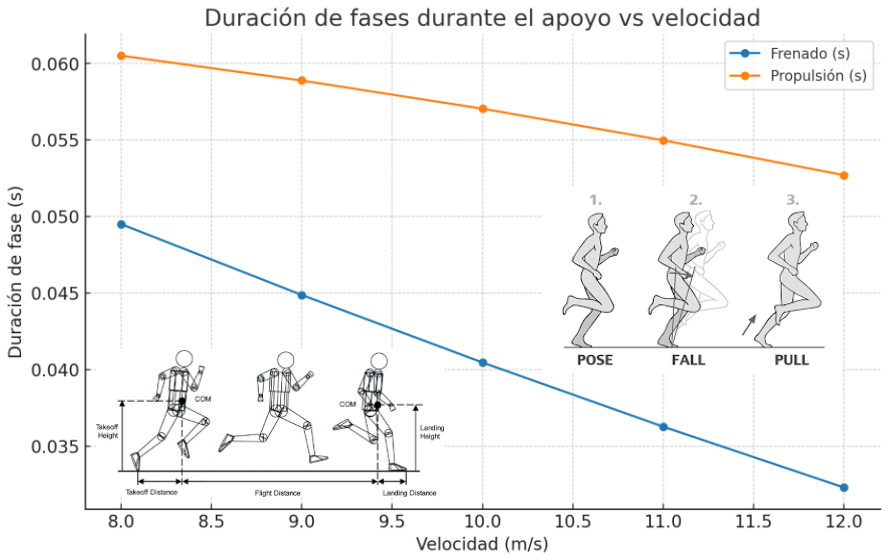
Usain Bold–Biomechanical model of sprint technique
Milan Čoh
Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport, 17(1), 1-13. 2019.



FASES DE FRENADO E IMPULSO
DURANTE LA FASE DE APOYO DE LA CARRERA

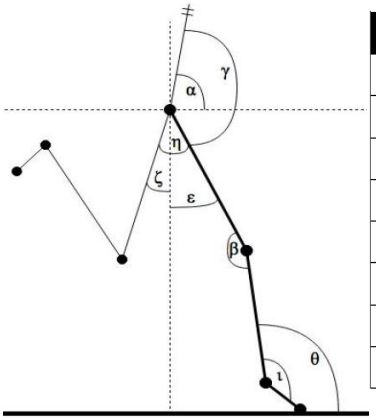


FASES DE FRENADO E IMPULSO
DURANTE LA FASE DE APOYO A DISTINTAS VELOCIDADES



BIOMECHANICAL REPORT FOR THE 100 M MEN'S
IAAF World Championships London 2017
Athanassios Bissas, Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgios Paradisis & Stéphane Merlino

INICIO DELCONTACTO DEL PIE CON EL SUELO

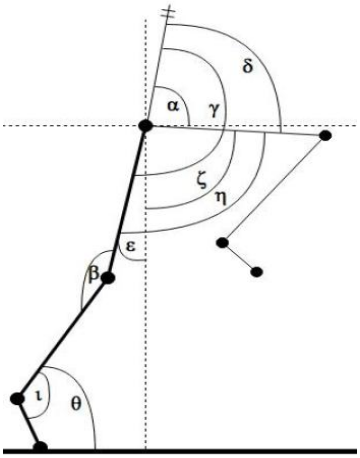


Ángulos clave en el momento de contacto del pie con el suelo de: Gatlin, Coleman & Bolt

	GATLIN		COLEMAN		BOLT	
	Left (°)	Right (°)	Left (°)	Right (°)	Left (°)	Right (°)
α	73.3	73.4	76.5	74.2	76.8	72.7
β	152.7	148.9	152.0	143.4	161.5	157.1
γ	126.7	132.5	144.1	134.7	140.6	142.7
ε	36.9	33.7	27.4	36.3	28.8	22.2
ζ	12.1	6.0	1.5	7.4	7.2	26.8
η	-24.8	-27.7	-25.9	-28.9	-21.6	4.6
θ	103.0	98.1	105.7	95.4	103.7	95.4
ι	120.2	111.5	122.3	115.1	122.5	116.2

BIOMECHANICAL REPORT FOR THE 100 M MEN'S
IAAF World Championships London 2017
Athanassios Bissas, Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgios Paradisis & Stéphane Merlino

FINAL DEL CONTACTO DEL PIE CON EL SUELO



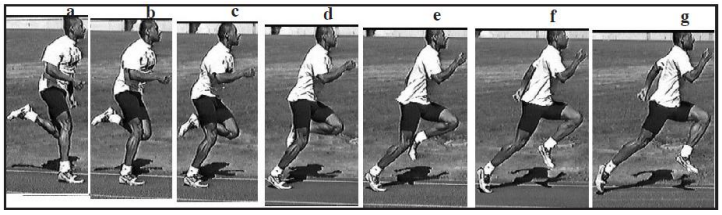
Ángulos clave en el momento de despegue del pie con el suelo: Gatlin, Coleman & Bolt

	GATLIN		COLEMAN		BOLT	
	Left (°)	Right (°)	Left (°)	Right (°)	Left (°)	Right (°)
α	77.9	81.2	83.9	83.3	81.2	79.6
β	160.5	155.0	159.5	155.2	151.9	159.6
γ	193.7	191.8	205.2	196.7	194.1	202.7
δ	105.7	110.9	116.1	120.5	101.1	106.3
ε	-28.7	-26.2	-28.9	-26.9	-23.5	-28.2
ζ	66.4	66.7	56.4	58.6	70.6	68.4
η	95.1	92.9	85.3	85.5	94.1	96.6
θ	41.5	38.6	40.6	38.3	38.4	41.4
ι	146.5	132.0	131.3	140.7	137.3	137.7

Biomechanical Report for the 100 m Men's
World Championship London 2017
Athanassios Bissas, Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgios Paradisis & Stéphane Merlino

Distancia Horizontal que recorre el CM durante el contacto del pie con el suelo

	DCM TD (m / % body height)		DCM TO (m / % body height)	
	Left	Right	Left	Right
GATLIN	0.48 / 26	0.40 / 22	0.65 / 35	0.63 / 34
COLEMAN	0.38 / 21	0.38 / 22	0.54 / 31	0.60 / 34
BOLT	0.48 / 25	0.32 / 16	0.67 / 35	0.68 / 35
BLAKE	0.33 / 18	0.33 / 18	0.67 / 37	0.63 / 35
SIMBINE	0.28 / 16	0.37 / 21	0.62 / 35	0.59 / 34
VICAUT	0.39 / 21	0.42 / 23	0.65 / 35	0.57 / 31
PRESCOD	0.33 / 18	0.43 / 23	0.65 / 35	0.60 / 33
SU	0.36 / 21	0.33 / 19	0.59 / 34	0.57 / 33

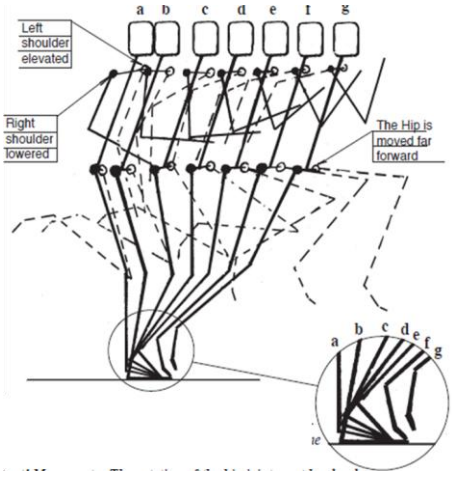


El último contacto con el suelo en en el apoyo (f) se corresponde con una extensión claramente incompleta de las articulaciones de la rodilla y la cadera.

Durante el corto tiempo de contacto del pie con el suelo (a-f) el corredor desarrolla una gran potencia de impulso

La rotación de la cadera debe acelerarse claramente en cada fase de contacto con el suelo (TC), desde el contacto hasta el despegue («despegue»).

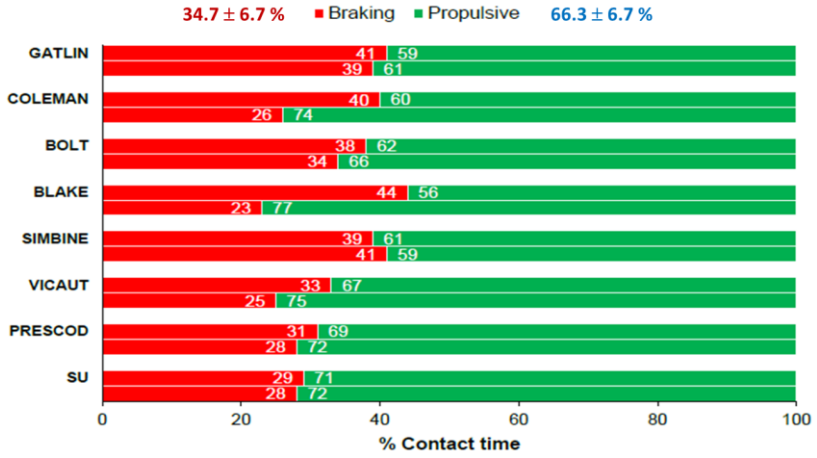
Una rotación suave de la cadera suele ser signo de una carrera tensa y poco potente, con un paso corto y una frecuencia de paso anormal.



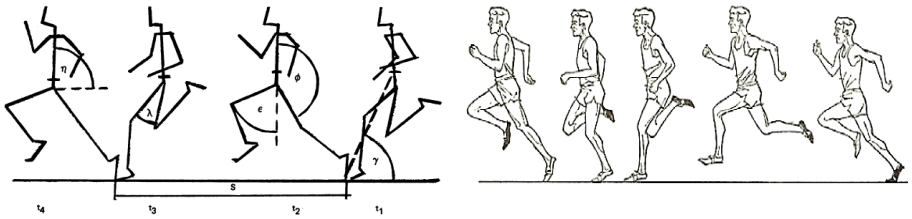
BIOMECHANICAL REPORT FOR THE 100 M MEN'S
IAAF World Championships London 2017
Athanassios Bissas, Josh Walker, Catherine Tucker, Giorgios Paradisis & Stéphane Merlino

Fases de frenado y propulsión de la fase de contacto con el suelo

Muestra los valores de cada atleta para el contacto con el suelo
izquierdo (barra superior) y derecho (barra inferior)
El 0% del TC indica el contacto inicial y el 100% indica el último cuadro antes del despegue



BIOMECHANICAL ANALYSIS OF SPRINTING:
DECATHLETES VERSUS CHAMPIONS
H. Kunz & D. A. Kaufmannd
British Journal Sports Medicine, 15(3), 177-181. 1981.



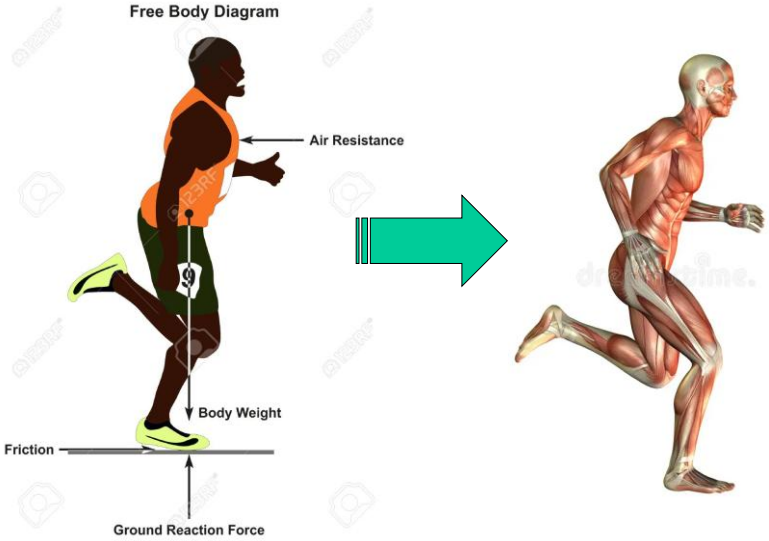
MUESTRA: 16 decatletas suizos - 3 velocistas estadounidenses de élite

Los velocistas de élite se diferenciaban de los decatletas al correr los 100 m lisos por:

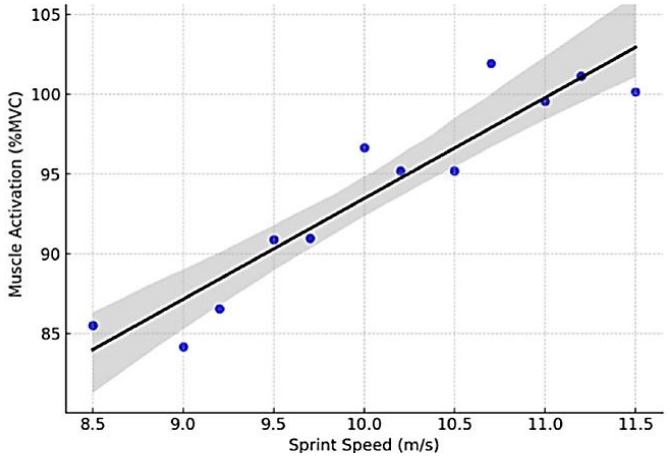
(1) Una combinación óptima de mayor longitud y mayor frecuencia de zancada
(2) Un menor ángulo de contacto del muslo, lo que acorta el tiempo de contacto
(3) Un mayor ángulo de aterrizaje de la zancada
(4) Una mayor aceleración promedio del ángulo del muslo
(5) Un mayor ángulo del tronco, lo que contribuye a un mayor ángulo tronco/muslo

Otros factores como la cultura, el entrenamiento, el físico y las diferencias raciales pueden influir en las diferencias de rendimiento entre los velocistas estadounidenses de clase mundial y los decatletas suizos, estos datos indican que las variables biomecánicas pueden contribuir a las diferencias en el rendimiento en los 100 m lisos

RESPUESTA MUSCULAR
EN LA FASE DE MÁXIMA VELOCIDAD



Muscle Activity and Biomechanics of Sprinting:
A Meta-Analysis Review.
Przemysław Pietraszewski, Adam Maszczyk, Adam Zaja, Artur Gołas
Applied Sciences, 15, 4959. https://doi.org/10.3390/app15094959. 2025.



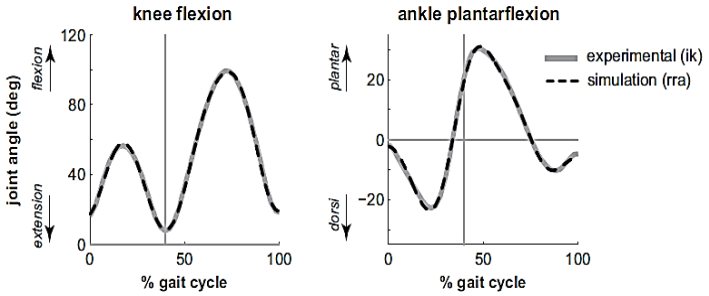
VELOCIDAD DE SPRINT VS. ACTIVACIÓN MUSCULAR
Los puntos azules reflejan la activación muscular observada a diferentes
El área sombreada en gris indica el intervalo de confianza IC95

Muscle contributions to propulsión and support during running

Samuel R.Hamner, AjaySeth & ScottL.Delp

Journal of Biomechanics, 43, 2709–2716. 2010.

Cuádriceps y los Flexores Plantares son los principales músculos contribuyentes a la aceleración del CM durante la fase de apoyo del pie en el suelo en las carreras de velocidad



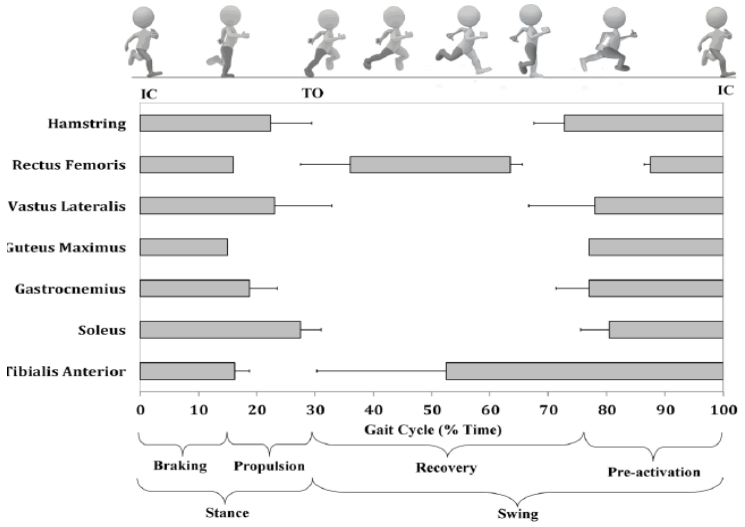
- **1ª parte del apoyo del pie en el suelo: Cuádriceps es el músculo que más contribuye en las fases iniciales (frenado) y de apoyo.**
- **2ª parte: Sóleo & Gastrocnemios fueron los que, en la pierna, más contribuyeron a la propulsión y el apoyo.**

Muscle Activity in Sprinting: A Review

Róisín M. Howard, Richard Conway & Andrew J. Harrison

Sports Biomechanics, 17(1), 1-17. 2018

Actividad electromiográfica (EMG) de los principales grupos musculares durante el ciclo de la zancada en el sprint

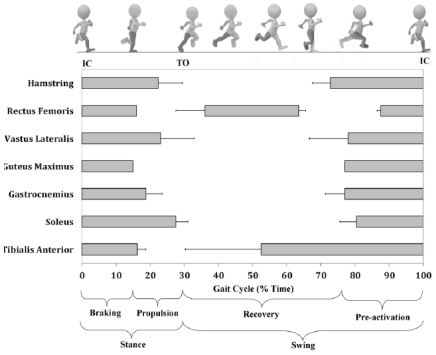


Muscle Activity in Sprinting: A Review
Róisín M. Howard, Richard Conway & Andrew J. Harrison
Sports Biomechanics, 17(1), 1-17. 2018

1

La coordinación de la activación muscular permite optimizar el rendimiento en sprint:

- **Músculos extensores de la cadera y tobillo (glúteo, gastrocnemio, sóleo) son claves en la propulsión.**
- **Isquiotibiales cumplen doble función: absorción de impacto y preparación para siguiente apoyo.**
- **La pre-activation de varios músculos asegura rigidez articular y eficiencia en la transmisión de fuerzas en el momento crítico del contacto.**

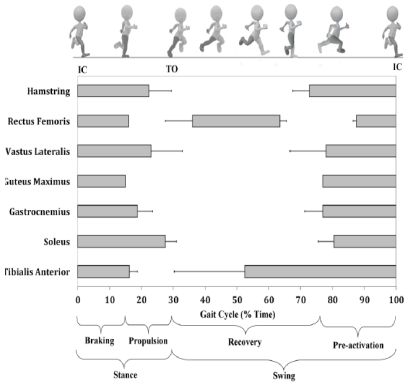


Isquiotibiales: Activos en la fase final del swing (pre-activation) preparando pierna para contacto. También se activan en FC inicial (braking), contribuyendo a estabilizar la cadera y controlar la extensión de rodilla.
Cuádriceps: Se activa principalmente en la fase de frenado y propulsión, absorbiendo impacto y ayudando a generar fuerza extensora.
Recto Femoral: actúa en la recuperación para flexionar la cadera.

Muscle Activity in Sprinting: A Review
Róisín M. Howard, Richard Conway & Andrew J. Harrison
Sports Biomechanics, 17(1), 1-17. 2018

2

La coordinación de la activación muscular permite optimizar el rendimiento en sprint:



Glúteo Mayor: Participa en 1ª parte de apoyo, contribuyendo a extensión de cadera durante la propulsión. Vuelve a activarse preparando siguiente apoyo.

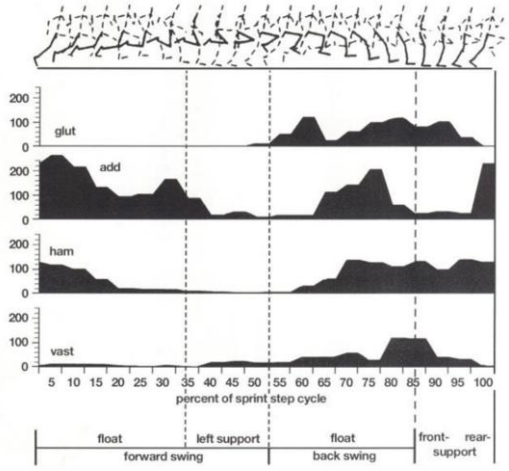
Tríceps Sural (Gemelos & Sóleo): Se activan en la fase de propulsión, generando la extensión plantar que impulsa el cuerpo hacia adelante.

Sóleo: Mantiene su acción algo más prolongada que el gastrocnemio.

Tibial Anterior: Activo al inicio del apoyo (para controlar contacto de talón o mediopié). También se activa durante gran parte del swing, manteniendo el pie en dorsiflexión para un clearance eficiente (altura mínima del pie respecto al suelo durante la fase de oscilación).

Relative activity of hip and knee extensors in sprinting—implications for training
Wiemann, K., & Tidow, G.
New Studies in Athletics, 10(1), 29–49. 1995.

La técnica depende sobre todo de acción de extensores de cadera (glúteo e isquiotibiales) y los extensores de rodilla tienen contribución más limitada



Extensores Cadera: predominan sobre extensores de rodilla. Tanto el GM como isquiotibiales muestran actividad mucho más marcada que el vasto lateral. Esto indica que, en sprint, la extensión de cadera juega un papel más determinante que la extensión de rodilla para generar V.

Isquiotibiales: Activación intensa en fase de balanceo (forward swing) y antes del apoyo, actuando como frenadores para controlar el movimiento de la pierna y proteger la articulación de la rodilla. Se reactivan en fase de apoyo tardío, contribuyendo a extensión de cadera.

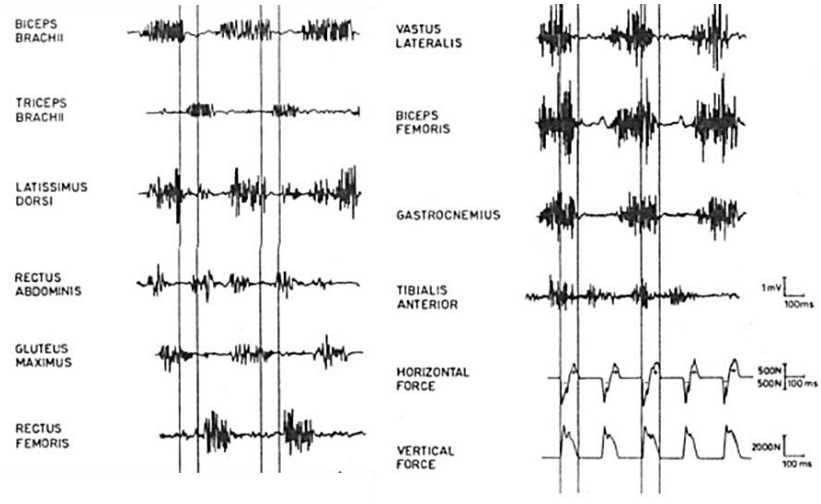
Glúteo Mayor: Presenta un pico de actividad en fase de apoyo, coincidiendo con la propulsión. También se activa en la parte final del swing, en la pre-activación antes del contacto.

Aductores: Muestran patrón de actividad más amplio y constante, actuando como estabilizadores de cadera y pelvis.

Vasto Lateral: Su activación es mucho más reducida y localizada en el inicio del apoyo. Refuerza la idea de que rodilla no es el principal motor de la aceleración en sprint

Biomechanics of sprint running: A review
Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J.
Sports Medicine, 13(6), 376-392. 1992.

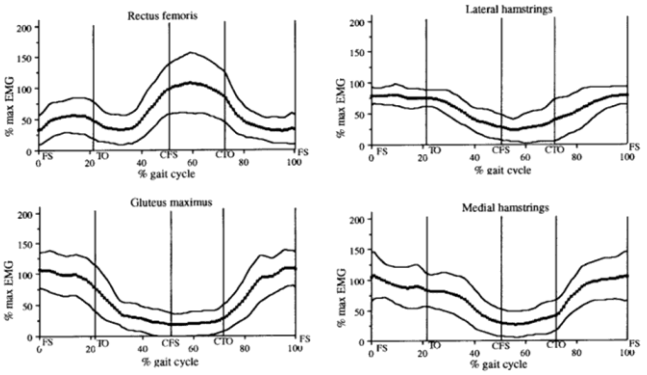
Registro EMG de los principales grupos musculares que Intervienen en la carrera a máxima velocidad



Amplitude and timing of electromyographic activity during sprinting.
Jönhagen, S., Ericson, M. O., Nemeth, G., & Eriksson, E.
Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 6(1), 15-21. 1996.

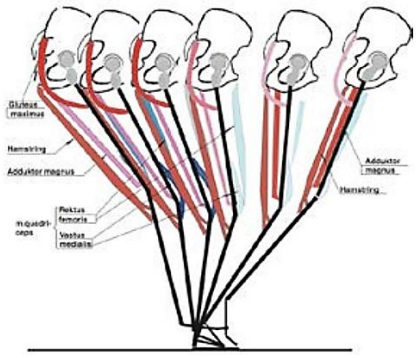
Actividad Electromiográfica (EMG) normalizada al % de máxima activación en 4 músculos clave durante el ciclo de zancada en sprint:
Rectus Femoris; Gluteus Maximus; Isquiotibiales Laterales; Isquiotibiales Mediales

La coordinación temporal de Glúteo, Isquiotibiales y Recto Femoral está estrechamente vinculada con las demandas de estabilización y propulsión, destacando el rol crítico de los Isquiotibiales en la pre-activación y del Recto Femoral en la recuperación de la pierna



STRENGTH SPEED
Technologyand training for sprinterspeed andlongjump. A newtype of specific strength training for speed called Powersprint is presented. Muscle strength - Scientific basic
Jan Melén
Printed Vervanté USA . 2011.

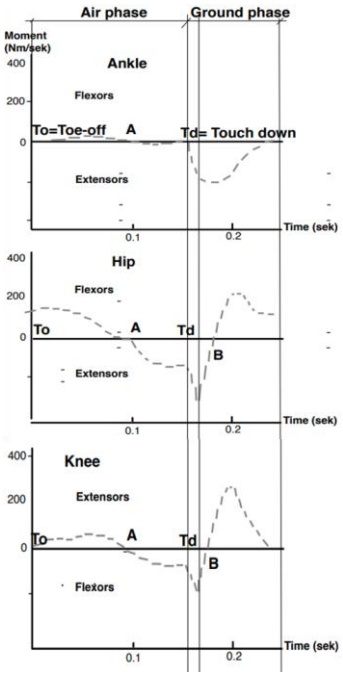
Los músculos posteriores del muslo, isquiotibiales & aductor mayor, funcionan como extensores de la cadera y, al impulsarse en posición erguida, estos músculos también pueden extender la articulación de la rodilla

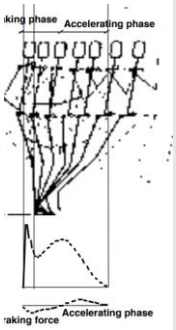


Isquiotibiales (tono más oscuro): se activa durante el contacto con el suelo y durante toda la fase de apoyo. Sus inserciones musculares se aproximan, es decir, el músculo muscular se acorta durante toda la fase de apoyo.

Se caracterizará por:

- **Toda la pierna, que forma una palanca con la cadera como eje de rotación, gira (se atornilla) hacia atrás por la fuerza muscular.**
- **El glúteo y el cuádriceps se activan al inicio y el aductor mayor al final de la fase de apoyo.**

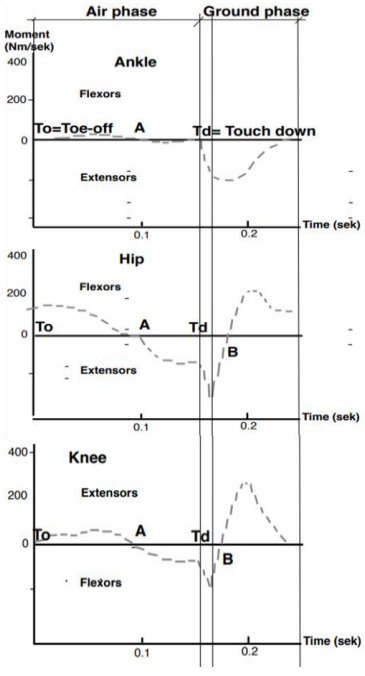




A kinetic analysis of the ground leg during sprint running
Ralph Mann & Paul Sprague
Research Quarterly for Exercise and Sport
51(2), 334-348. 1980.

MUESTRA: 15 velocistas USA Alto Nivel
filmados a Máxima Velocidad en carrera de 40 m

- Músculos extensores de cadera y flexores de rodilla predominaron cuando la pierna se balancea hacia abajo contra el suelo, y durante la primera parte de la fase de suelo.
- Esto sugiere que el velocista intenta reducir el frenado en el impacto del pie mediante estos músculos, impulsando el cuerpo sobre el punto de apoyo.
- Lograr esto requiere un esfuerzo muscular considerable de los isquiotibiales. Aquí también se encuentra el mayor riesgo de lesión.



A kinetic analysis of the ground leg during sprint running
Ralph Mann & Paul Sprague
Research Quarterly for Exercise and Sport
51(2), 334-348. 1980.

MUESTRA: 15 velocistas USA alto nivel
filmados a Máxima Velocidad en carrera de 40 m

- En el centro de la Fase de Aporo (B), los músculos extensores de cadera (glúteo) se transforman en flexores de cadera para rotar el torso hacia adelante).
- Los isquiotibiales dominan el final del despegue para, prevenir la hiperextensión de rodilla.
- Se descubrió que la contribución de los extensores de tobillo (gemelos y sóleo) a la potencia del despegue es ligeramente menor de lo que se creía.
- La fuerza del tobillo también fue importante para suprimir el impacto del pie y evitar un hundimiento excesivo.
- De igual manera, la rodilla (cuádriceps) parece absorber la fuerza

Relative activity of hip and knee extensors in sprinting-implications for training

1

Klaus Wiemann & Gunter Tidow

New Studies in Athletics, 10, 29-29. 1995.

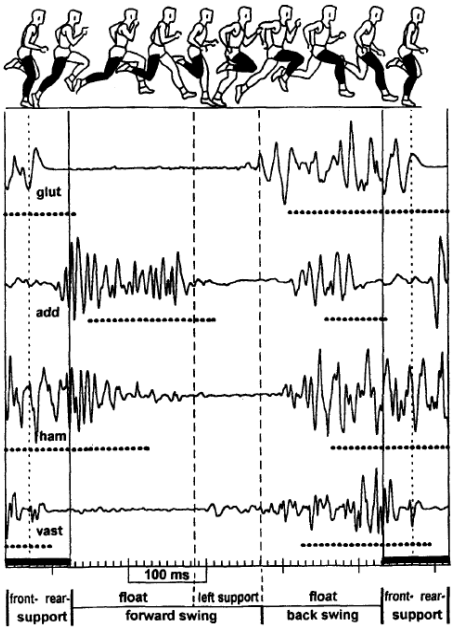
Actividad **Isquiotibiales** es la de mayor duración. Comienza cuando pierna libre entra en la fase de retroceso y continúa durante toda el TC.

En la búsqueda del apoyo, tras la elevación de rodilla, el muslo debe descender dinámicamente favoreciendo una potente extensión de cadera para conseguir una alta velocidad de descenso de la pierna libre.

La fase activa del **Vasto** es mucho más corta. Aunque hay una actividad moderada incluso durante la fase de retroceso, esta actividad se intensifica solo 30 ms antes del contacto con el suelo. después del contacto (30 y 50 ms) la mayor parte de esta actividad desaparece.

El **Vasto Medial** es de especial importancia solo durante la fase excéntrica del apoyo, principalmente para evitar que el centro de gravedad (CG) descienda.

EMG de Glúteo Mayor, Aductor, Isquiotibiales y Vasto Lateral de Pierna Derecha



Relative activity of hip and knee extensors in sprinting-implications for training

2

Klaus Wiemann & Gunter Tidow

New Studies in Athletics, 10, 29-29. 1995.

La actividad del **Gluteo Mayor** se detiene a mitad del TC, aproximadamente al mismo tiempo que termina la actividad del **VM**.

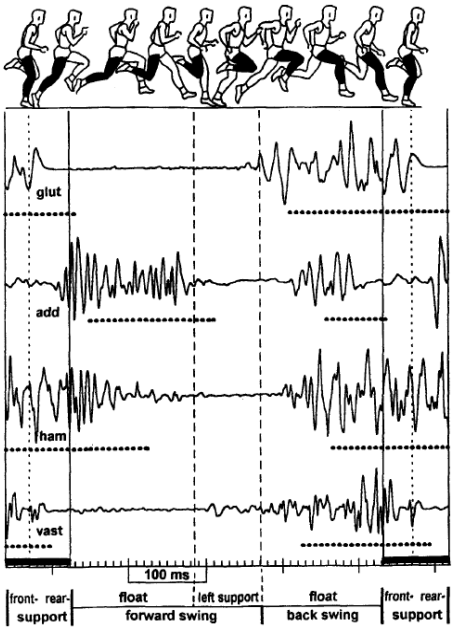
Obviamente, existe una sinergia entre estos músculos durante la extensión de cadera y, al mismo tiempo, una neutralización mutua debido a sus efectos antagónicos.

Una vez que la pierna se apoya en el suelo, el **GM** ya no necesita un antagonista para compensar su efecto abductor.

Esta función ahora la asume la gravedad, que tira de la pelvis hacia abajo en el lado opuesto (lado de la pierna libre), en forma de aducción de la pierna de apoyo.

La tarea que debe asumir el **GM** durante el TC, es decir, la estabilización de la pelvis contra el efecto de la gravedad, hace superflua la función de abducción-neutralización de los músculos abductores.

EMG de Glúteo, Aductor, Isquiotibiales y Vasto de la Pierna Derecha



Lower leg musculoskeletal geometry and sprint performance
Kiros Karamanidis, Kirsten Albracht, Bjoern Braunstein, Maria Moreno Catala, Jan-Peter Goldmann & Gert-Peter Brüggemann
Gait & Posture, 34(1), 138-141. 2011.

1

Características morfológicas y arquitectónicas de la pierna entre velocistas rápidos y lentos, en parámetros del tendón de Aquiles, fascículos musculares (gastrocnemio lateral y medial), ángulos de penación y proporciones geométricas del pie y la pierna

Las diferencias en rendimiento no pueden explicarse por variaciones en la geometría musculoesquelética de la pierna o la morfología del pie. Factores funcionales como la coordinación neuromuscular, rigidez tendinosa y eficiencia en la aplicación de fuerza parecen ser más determinantes que las diferencias estructurales

	Fast sprinters ($N=11$)	Slow sprinters ($N=7$)
Achilles tendon moment arm [cm]	4.2 ± 0.6	$4.2 \pm 0.8^{p:\ 0.88}$
GL fascicle length [cm]	7.6 ± 3.3	$7.6 \pm 1.6^{p:\ 0.98}$
GL pennation angle [deg.]	14.3 ± 2.3	$15.0 \pm 2.3^{p:\ 0.54}$
GM fascicle length [cm]	6.0 ± 0.9	$6.0 \pm 0.9^{p:\ 0.97}$
GM pennation angle [deg.]	22.9 ± 2.7	$22.2 \pm 4.4^{p:\ 0.69}$
GL fascicle length/Achilles tendon moment arm	1.84 ± 0.91	$1.88 \pm 0.60^{p:\ 0.91}$
GM fascicle length/Achilles tendon moment arm	1.43 ± 0.27	$1.49 \pm 0.48^{p:\ 0.73}$
DP distance heel to toe [cm]	26.7 ± 1.6	$27.3 \pm 0.9^{p:\ 0.26}$
DP distance midpoint malleolii to toe [cm]	21.2 ± 1.3	$21.7 \pm 0.9^{p:\ 0.33}$
DP distance 1st MTH to toe [cm]	7.3 ± 0.7	$7.6 \pm 0.2^{p:\ 0.26}$
Maximum foot width [cm]	9.6 ± 0.6	$10.1 \pm 0.5^{p:\ 0.12}$
Distance midpoint malleolii to toe/ Achilles tendon moment arm	5.10 ± 0.79	$5.34 \pm 1.02^{p:\ 0.57}$
Distance fibular head to lat malleolus [cm]	39.9 ± 2.1	$41.2 \pm 1.2^{p:\ 0.09}$

Lower leg musculoskeletal geometry and sprint performance
Kiros Karamanidis, Kirsten Albracht, Bjoern Braunstein, Maria Moreno Catala, Jan-Peter Goldmann & Gert-Peter Brüggemann
Gait & Posture, 34(1), 138-141. 2011.

2

MUESTRA: 18 velocistas

(**Estatura**: 182,5 cm; **PC**: 77,5 kg; **Edad**: 21,4 años)

MM-100 m: 10,14 a 10,76 segundos (10,42±0,21 segundos)

	Fast sprinters ($N=11$)	Slow sprinters ($N=7$)
Achilles tendon moment arm [cm]	4.2 ± 0.6	$4.2 \pm 0.8^{p:\ 0.88}$
GL fascicle length [cm]	7.6 ± 3.3	$7.6 \pm 1.6^{p:\ 0.98}$
GL pennation angle [deg.]	14.3 ± 2.3	$15.0 \pm 2.3^{p:\ 0.54}$
GM fascicle length [cm]	6.0 ± 0.9	$6.0 \pm 0.9^{p:\ 0.97}$
GM pennation angle [deg.]	22.9 ± 2.7	$22.2 \pm 4.4^{p:\ 0.69}$
GL fascicle length/Achilles tendon moment arm	1.84 ± 0.91	$1.88 \pm 0.60^{p:\ 0.91}$
GM fascicle length/Achilles tendon moment arm	1.43 ± 0.27	$1.49 \pm 0.48^{p:\ 0.73}$
DP distance heel to toe [cm]	26.7 ± 1.6	$27.3 \pm 0.9^{p:\ 0.26}$
DP distance midpoint malleolii to toe [cm]	21.2 ± 1.3	$21.7 \pm 0.9^{p:\ 0.33}$
DP distance 1st MTH to toe [cm]	7.3 ± 0.7	$7.6 \pm 0.2^{p:\ 0.26}$
Maximum foot width [cm]	9.6 ± 0.6	$10.1 \pm 0.5^{p:\ 0.12}$
Distance midpoint malleolii to toe/ Achilles tendon moment arm	5.10 ± 0.79	$5.34 \pm 1.02^{p:\ 0.57}$
Distance fibular head to lat malleolus [cm]	39.9 ± 2.1	$41.2 \pm 1.2^{p:\ 0.09}$

Lower leg musculoskeletal geometry and sprint performance
Kiros Karamanidis, Kirsten Albracht, Bjoern Braunstein, Maria Moreno Catala, Jan-Peter Goldmann & Gert-Peter Brüggemann
Gait & Posture, 34(1), 138-141. 2011.

El brazo de palanca del **Tendón de Aquiles**, la geometría esquelética del pie y el tobillo, la disposición de fascículos, y la relación entre la longitud del fascículo y el brazo de palanca del **Tendón de Aquiles**, no mostraron una correlación significativa (p>0,05) con el rendimiento en sprint, ni hubo diferencias en los parámetros musculoesqueléticos analizados entre el grupo de velocistas rápidos y velocistas más lentos

	Personal best (N=18)	V_{max} at 10 m (N=12)	V_{max} at 25 m (N=12)	V_{max} at 40 m (N=12)
Achilles tendon moment arm	$0.12^{p:\ 0.63}$	$0.04^{p:\ 0.91}$	$0.06^{p:\ 0.86}$	$0.12^{p:\ 0.71}$
GL fascicle length	$0.07^{p:\ 0.78}$	$0.21^{p:\ 0.54}$	$0.31^{p:\ 0.33}$	$0.19^{p:\ 0.55}$
GL pennation angle	$0.06^{p:\ 0.81}$	$-0.19^{p:\ 0.59}$	$0.02^{p:\ 0.95}$	$0.19^{p:\ 0.56}$
GM fascicle length	$0.13^{p:\ 0.62}$	$0.24^{p:\ 0.48}$	$-0.12^{p:\ 0.70}$	$-0.11^{p:\ 0.73}$
GM pennation angle	$-0.06^{p:\ 0.82}$	$-0.13^{p:\ 0.71}$	$0.42^{p:\ 0.18}$	$0.42^{p:\ 0.17}$
GL fascicle length/Achilles tendon moment arm	$0.04^{p:\ 0.88}$	$0.19^{p:\ 0.58}$	$0.26^{p:\ 0.42}$	$0.15^{p:\ 0.65}$
GM fascicle length/Achilles tendon moment arm	$0.05^{p:\ 0.86}$	$0.10^{p:\ 0.78}$	$-0.16^{p:\ 0.62}$	$-0.14^{p:\ 0.67}$
DP distance heel to toe	$0.36^{p:\ 0.15}$	$-0.01^{p:\ 0.99}$	$-0.15^{p:\ 0.63}$	$0.18^{p:\ 0.58}$
DP distance midpoint malleolii to toe	$0.39^{p:\ 0.10}$	$-0.20^{p:\ 0.60}$	$-0.32^{p:\ 0.30}$	$-0.03^{p:\ 0.94}$
DP distance 1st MTH to toe	$0.36^{p:\ 0.15}$	$0.28^{p:\ 0.40}$	$0.27^{p:\ 0.40}$	$0.53^{p:\ 0.08}$
Maximum foot width	$0.32^{p:\ 0.19}$	$0.60^{p:\ 0.53}$	$0.26^{p:\ 0.41}$	$0.25^{p:\ 0.43}$
Distance midpoint malleolii to toe/Achilles tendon moment arm	$0.02^{p:\ 0.94}$	$-0.17^{p:\ 0.62}$	$-0.23^{p:\ 0.47}$	$-0.18^{p:\ 0.58}$
Distance fibular head to lat malleolus	$0.47^{p:\ 0.04}$	$0.20^{p:\ 0.57}$	$-0.16^{p:\ 0.61}$	$0.18^{p:\ 0.58}$

GL: musculus gastrocnemius lateralis; GM: musculus gastrocnemius medialis; 1st MTH: first metatarsal head; DP: distal to proximal. DP distance heel to toe: distance between the most posterior and most anterior boundary of the foot i.e., maximal distance where the point of force application can be moved under the foot in the sagittal

FASE DE IMPULSO



La fase de impulso comienza, durante el apoyo del pie en el suelo, justo después del descenso vertical máximo del C.M. (cuando se supera la fase de amortiguación o frenado) y termina en el despegue del pie.

- Dura unos 40–50 ms en velocistas de élite.
- Representa alrededor de la mitad del tiempo total del tiempo de apoyo del pie en el suelo
- Resto corresponde a fase de frenado/amortiguación).

FASE DE IMPULSO

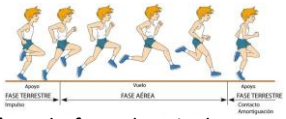
CARACTERÍSTICAS BIOMECÁNICAS

1. DIRECCIÓN DE LA FUERZA

- Orientación es principalmente horizontal (hacia atrás-suelo = hacia delante-atleta).
- También hay un componente vertical necesario para "sostener" el vuelo y equilibrar la gravedad.

2. ÁNGULOS ARTICULARES

- ***Cadera***: extensión potente, aporta gran parte de la propulsión.
- ***Rodilla***: pasa de flexión a extensión rápida.
- ***Tobillo***: rol clave como "resorte elástico"; la rigidez y la acción del tríceps sural permiten una liberación explosiva.



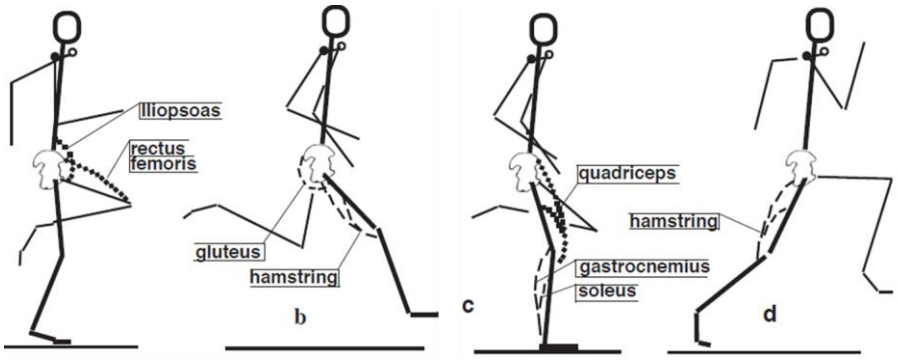
3. VELOCIDAD DEL CENTRO DE MASAS (CM)

- Durante la impulsión, el CM se acelera.
- Se recupera la pérdida de velocidad sufrida en la fase de frenado e incluso se gana más (si la técnica es eficiente).

4. ACCIÓN DE BRAZOS Y PIERNA LIBRE

- Aumentan el momento angular y contribuyen a estabilizar el tronco y facilitar la transferencia de fuerza.

GRUPOS MUSCULARES DOMINANTES DURANTE LAS DIFERENTES FASES DE LA ZANCADA DEL VELOCISTA



Durante la primera parte de la fase de apoyo suelo (c), se desarrolla el torque máximo en las articulaciones de tobillo y la cadera.

Principales requisitos técnicos para alcanzar una alta velocidad punta:

1. Reducción del frenado en la primera parte de la fase de suelo.
2. Enfatizar el papel de la musculatura extensora de la cadera para reducir la pérdida de velocidad en la fase de apoyo

Relative shortening velocity in locomotor muscles:
turkey ankle extensors operate at low V/Vmax
Gabaldon AM, Nelson FE & Roberts TJ
Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 294, R200-R10. 2008.

Durante una zancada, los músculos requieren un alto nivel de coordinación intramuscular e intermuscular para realizar movimientos máximos con diferentes formas de contracción (p.ej., al final del balanceo hacia adelante, los isquiotibiales realizan un trabajo excéntrico considerable para desacelerar el balanceo de la pierna adelantada), lo que permite almacenar energía elástica, utilizada en la acción concéntrica posterior durante el balanceo hacia atrás

Aún no se conoce con precisión el patrón exacto de producción de fuerza (interacción músculo-tendinosa) durante la fase crítica de contacto con el suelo

La velocidad máxima en humanos depende de la magnitud de las fuerzas que se pueden desarrollar durante la fase de contacto, y la generación de fuerza casi isométrica podría favorecer la producción de fuerza a medida que el músculo se contrae en la región de alta fuerza de su curva de fuerza-velocidad Un buen equilibrio entre la fuerza excéntrica, concéntrica e isométrica del músculo, así como entre agonistas y antagonistas (p. ej., cuádriceps frente a isquiotibiales), es fundamental para el rendimiento y la prevención de lesiones en atletas de diferentes edades y debe considerarse durante el entrenamiento

Effect of Running Speed on Lower Limb Joint Kinetics
Schache AG., Blanch PD, Dorn TW, Brown NAT, Rosemond D. & Pandy MG.
Medicine Science Sports & Exercise, 43(7), 1260–1271. 2011.

Entre todos los grupos musculares del miembro inferior, los músculos extensores de la articulación de la cadera y los músculos flexores de rodilla (especialmente durante la fase de terminal swing) muestran el mayor aumento de carga biomecánica al incrementar la velocidad de carrera en el sprint máximo

Cadera y Rodilla (Fase Final del Balanceo - *Terminal Swing*):

- Torques, potencias netas y el trabajo realizado aumentaron drásticamente con la velocidad de carrera.
    - Esto indica una mayor exigencia biomecánica para los extensores de cadera y flexores de rodilla**.**

Rodilla durante el Apoyo (*Stance*):

- El trabajo realizado por la rodilla no mostró cambios significativos con la velocidad.

Tobillo durante la Fase de Apoyo:

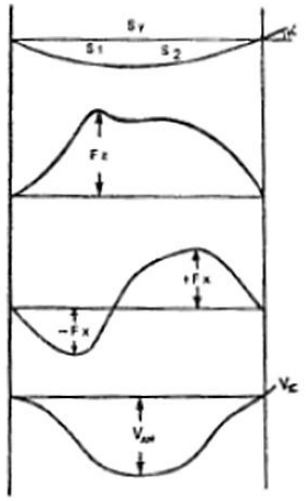
- El trabajo en el tobillo aumentó al pasar de 3.50 a 5.02 m/s, pero se estabilizó (plateau) en velocidades más altas.



VELOCIDAD (СПРИНТЕРСКИЙ БЕГ)
Edvin S. Oz:olin
Biblioteca de Atletas (2010)

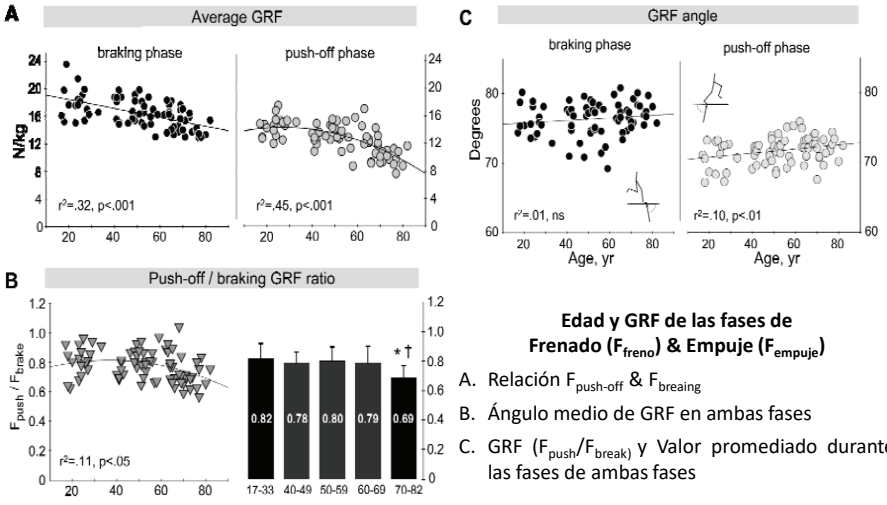
Principales características cinemáticas del impulso en carrera de velocidad





***t* – tiempo de apoyo,**
***S1* – desplazamiento del CM en fase de impulso,**
***Su* – desplazamiento vertical,**
***α* – ángulo de despegue después del impulso,**
***Fz* – valor máximo del componente vertical de la reacción,**
***Fx* – valor máximo del componente horizontal de la reacción en el apoyo,**
***VΣ* – velocidad del CM,**
***VAM* – caída máxima en la velocidad del CM**

Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes
Marko T. Korhonen (Tesis)
Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä. Junio 2009.



Edad y GRF de las fases de Frenado (F_{freno}) & Empuje (F_{empuje})

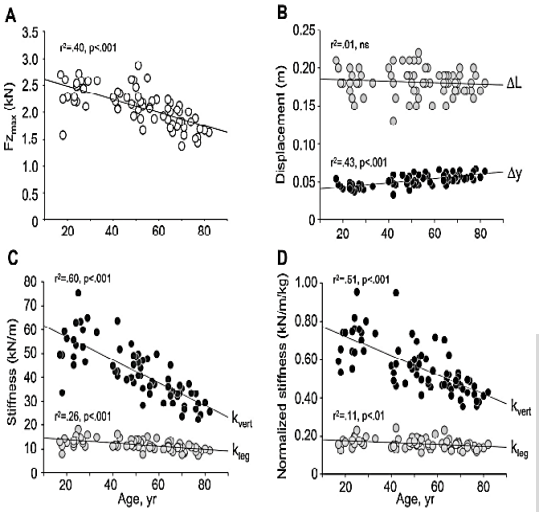
A. Relación $F_{push-off}$ & $F_{breaing}$
B. Ángulo medio de GRF en ambas fases
C. GRF (F_{push}/F_{break}) y Valor promediado durante las fases de ambas fases

Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes

Marko T. Korhonen

Academic Dissertation

Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä. Junio 2009.



Se observó una disminución con edad en:

- Rigidez vertical (kvert = Fzmax/y) y rigidez de la pierna (kleg=Fzmax/L), en valores absolutos Y normalizados con el PC
- La disminución en kvert se debió a la combinación de la disminución en Fzmax y el aumento en y.
- kleg disminuyó con edad porque Fzmax disminuyó, sin ningún cambio en L.
- Se encontraron correlaciones significativas entre la velocidad máxima (rango 9,1-10,3 m/s) y kvert (r = 0,61, p < 0,01) y kleg (r = 0,48, p < 0,05).

A: Relaciones entre edad y GRF vertical máxima (Fzmax)

B: desplazamiento vertical del Centro de Masa (y), desplazamiento del resorte de la pierna (L)

C: rigidez vertical (kvert), rigidez de la pierna (kleg)

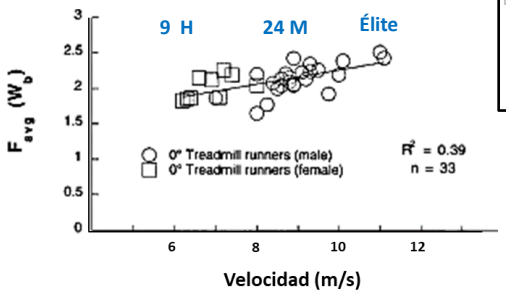
D: kvert y kleg normalizados con el PC

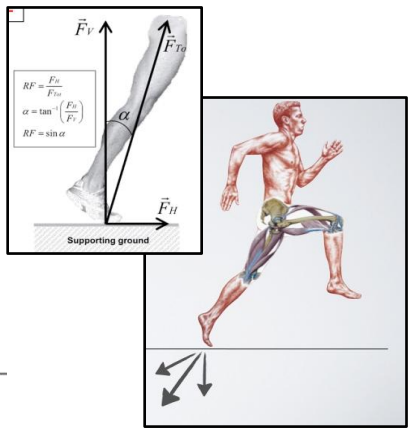
Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements

Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S.

Journal of Applied Physiology, 89(5), 1991-1999. 2000.

Aplicar mayores fuerzas en cada apoyo, en lugar de correr con apoyos más cortos, permiten a los corredores alcanzar velocidades máximas más elevadas

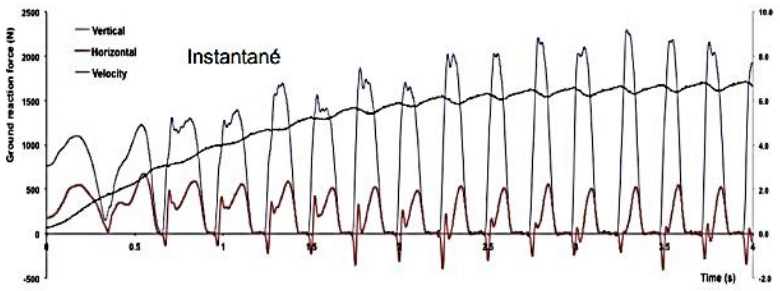


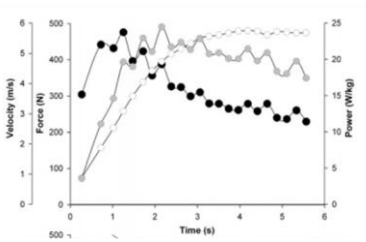


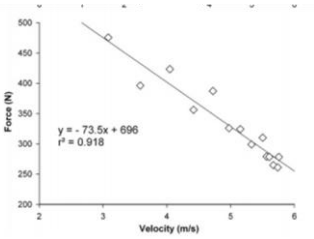
Direct measurement of power during one single sprint on treadmill

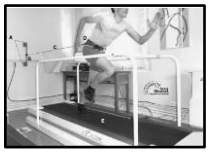
Morin J.B., Samozino P., Bonnefoy R., Edouard P., & Belli A.

Journal of Biomechanics, 43(10), 1970-1975. 2010.





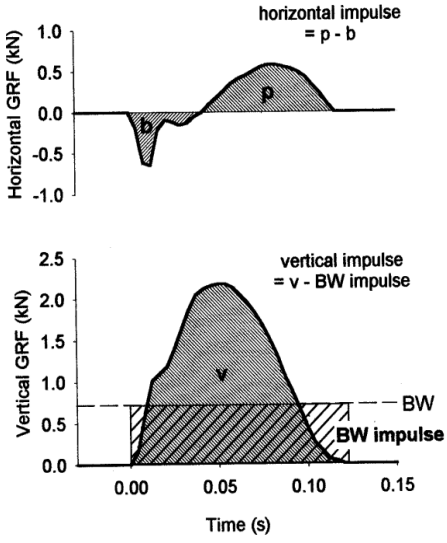




Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration

Hunter, J. P., Marshall, R. N. & McNair, P. J.

Journal of Applied Biomechanics, 21(1), 31-43. 2005.



Impulsos de fuerza de reacción del suelo (GRF) se muestran como áreas bajo las curvas

a) **P** es el impulso propulsivo, **b** es el impulso de frenado. El impulso propulsivo se basó en los datos de fuerza positiva horizontal durante el apoyo y el impulso de frenado se basó en los datos de fuerza negativa horizontal.

El **Impulso Horizontal** se calculó a partir del impulso propulsivo menos el valor del impulso de frenado.

V es el área bajo la curva de GRF vertical y el impulso de peso corporal es el impulso debido al PC. El impulso vertical se calculó como:

v – impulso de PC

b) Cuando impulsos horizontales, de frenado, propulsivo y vertical se expresan en relación al PC, reflejan el cambio en **velocidad del CM** (ignorando resistencia del aire) durante los respectivos períodos y respectivas direcciones.

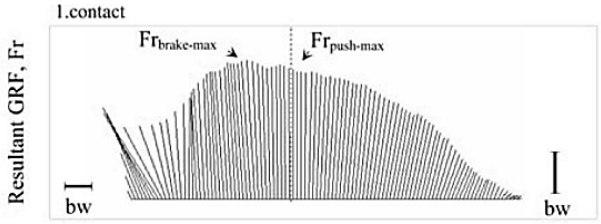
Variability and symmetry of force platform variables in maximum-speed running in young and older athletes

Korhonen, M.T., Suominen, H., Viitasalo, J.T., Liikavainio, T., Alen, M. & Mero, A.A.
Journal of Applied Biomechanics, 26(3), 357-366. 2010.

Fuerza Horizontal (frenado/impulso) es más variable que la vertical

Con la edad, variabilidad aumenta, aunque la simetría inter-pierna se mantiene

El control de aplicación de Fuerza Horizontal es más difícil de estabilizar y sensible al envejecimiento



Eje vertical (Resultant GRF, Fr): fuerza resultante normalizada al peso corporal (bw)

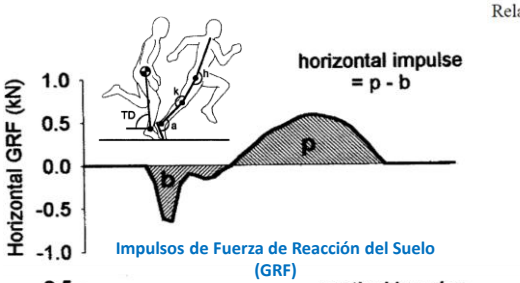
Eje horizontal: tiempo durante un apoyo completo (desde el primer contacto hasta el despegue)

La curva está dividida en dos fases:

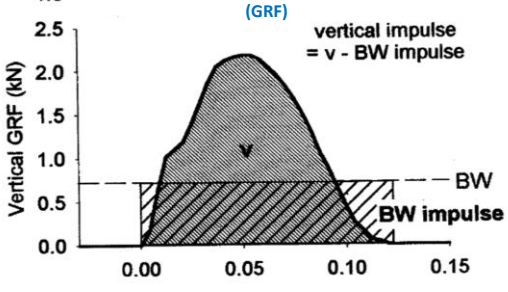
- **Fase de Frenado (braking): desde el contacto inicial hasta el punto en que la fuerza horizontal pasa de negativa a positiva.**
  - **Marcada como Fr_brake-max:** valor máximo de la fuerza resultante en dirección de frenado.
- **Fase de Impulso (propulsive/push):** desde ese punto hasta el despegue.
  - **Marcada como Fr_push-max:** valor máximo de la fuerza resultante en dirección propulsiva.

Relationships Between Ground Reaction Force Impulse and Kinematics of Sprint-Running Acceleration

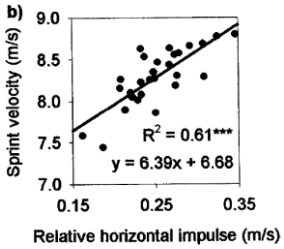
Joseph P. Hunter, Robert N. Marshall & Peter J. McNair
Journal of Applied Biomechanics, 21, 31-43. 2005.

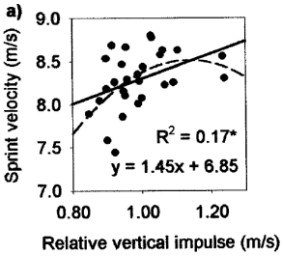


Impulsos de Fuerza de Reacción del Suelo (GRF)



Variables	Mean	*SD*
Sprint velocity (m/s) [a]	8.29	0.34
Relative vertical impulse (m/s)	0.99	0.10
Relative horizontal impulse (m/s)	0.25	0.04
Relative braking impulse (m/s)	–0.10	0.02
Relative propulsive impulse (m/s)	0.35	0.04





Changes in muscle activity patterns and kinetics with increasing running speed

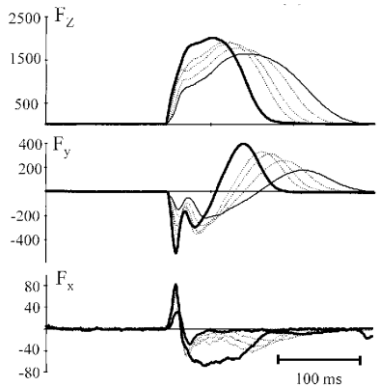
Kyrolainen, H., Komi, P. V., & Belli, A.
Journal of Strength and Conditioning Research, 13(4), 400-406. 1999.

MUESTRA
17 corredores jóvenes corriendo a
13 velocidades diferentes

La actividad EMG del Bíceps Femoral, Gastrocnemio y Glúteo aumenta de manera significativa conforme aumenta la velocidad de carrera

Isquiosurales juegan un rol clave cuando se alcanzan velocidades muy altas (90% Vmax), contribuyendo a frenar la pierna durante el recobro y a estabilizar la zancada

Hay una estrategia muscular clara:
Más fuerza hacia delante, y control del movimiento, para sostener altas velocidades



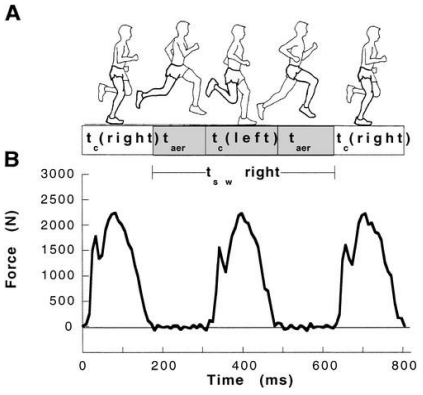
Curvas medias de fuerzas de reacción del suelo verticales (Fz), horizontales (Fy) y mediolaterales (Fx) desde velocidad más lenta (3,25 m/s) (línea continua delgada) (media de 170 contactos) hasta la velocidad máxima

Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements

Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S.
Journal of Applied Physiology, 89(5), 1991-1999. 2000.

Los corredores alcanzan mayores velocidades, *no* moviendo las piernas más rápido, sino aplicando fuerzas de soporte significativamente mayores contra el suelo

- **FUERZA MAYOR EN MÁS RÁPIDOS:** los corredores que alcanzaron 11.1 m/s aplicaron una fuerza 1.26 veces superior que los que corrieron a 6.2 m/s.
- **TIEMPO DE BALANCEO CONSTANTE:** t_sw no se correlacionó con la velocidad máxima (p=0.18). Es decir, reposicionar la pierna no fue más rápido en corredores más veloces.



Fases de una zancada (A) y datos de la fuerza de reacción (B)

Datos de fuerza se utilizaron para determinar TC, TV, T de balanceo (t sw) y total de zancada (t str)

Destacar que el periodo de balanceo se compone de 2 periodos aéreos y 1 periodo de contacto intermedio de la extremidad contralateral

Knee and ankle joint stiffness in sprint running
Kuitunen, S., Komi, P. V., & Kyrolainen, H.
Medicine and Science in Sports and Exercise, 34(1), 166-173. 2002.

Para correr más rápido no basta con mover las piernas más deprisa, también hay que aumentar la rigidez de la articulación de la rodilla mientras el tobillo mantiene un resorte estable

Esto permite aplicar Fuerzas Elevadas en TC muy cortos

- **TOBILLO:** se mantiene "constante", actuando como resorte.
- **RODILLA:** incrementa progresivamente su rigidez con la velocidad, permitiendo sostener fuerzas más altas en apoyos más cortos.

Esto confirma que el rendimiento en sprint depende no solo de la magnitud de fuerza aplicada, sino de la capacidad del sistema músculo–tendón de comportarse como un resorte eficiente a alta velocidad

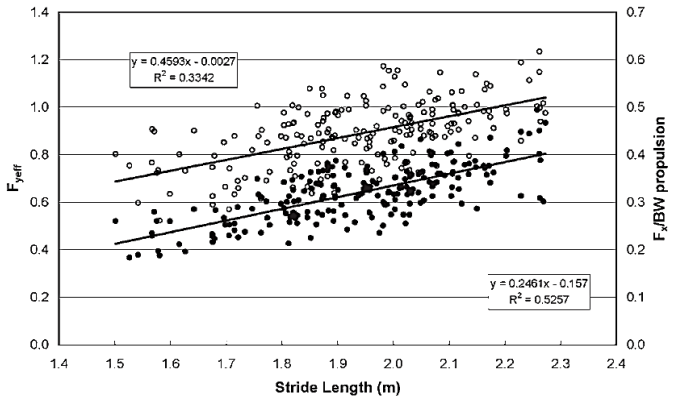
Los resultados indicaron que, al aumentar la velocidad de carrera, la rigidez articular promedio (cambio en el momento articular dividido por el cambio en el ángulo articular) fue constante (7 N/m/deg) en la articulación del tobillo y aumentó de 17 a 24 N/mdeg (P < 0,01) en la articulación de la rodilla

Factors Related to Top Running Speed and Economy
A. Nummela, T. Keränen & L. O. Mikkelsson
International Journal Sports Medicine, 28, 655–661. 2007.

Representa el TC de 25 corredores corriendo a diferentes velocidades
(10 corredores de fondo; 8 corredores de orientación; 7 triatletas)

Edad: 19.8±1.1 años; Estatura: 1.82±0.07 m: PC: 69.4±7.5 kg

Fuerza vertical efectiva (círculos abiertos) y fuerza horizontal específica (puntos) durante una fase de propulsión de la carrera a diferentes velocidades



Joint kinetics in maximum velocity sprint running

Bezodis, I., Salo, A., & Kerwin, D. G.

Proceedings of the XXV International Conference on Biomechanics in Sports, Brazil. 2007.

Máxima velocidad se caracteriza por una doble fuente de propulsión:
cadera y tobillo, mientras que la rodilla desempeña un rol secundario

La rodilla se limita más a absorber impactos y transferir energía que a producirla

Horizontal Velocity (m/s)	Ground contact time (s)	Max Fz (N)	Max Fz (BW)	Max Fy (N)	Braking phase duration (s)	Propulsive force duration (s)
9.80		2955	4.03		0.045	0.059

Variable	Unit	Trial							
		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
Velocity	m/s	10.37	10.14	10.10	10.09	9.07	9.06	9.96	9.61
Step length	m	2.25	2.17	2.31	2.27	2.03	1.94	2.34	2.35
Step frequency	Hz	4.62	4.68	4.35	4.44	4.47	4.68	4.27	4.10
Peak-to-peak CM oscillation	m	0.057	0.047	0.052	0.054	0.062	0.054	0.058	0.057
Maximum vertical force	BW	4.39	4.37	3.93	3.79	4.35	4.09	3.68	3.62
Braking phase duration	s	0.039	0.041	0.043	0.044	0.054	0.049	0.043	0.047
Propulsive phase duration	s	0.058	0.055	0.063	0.061	0.058	0.054	0.062	0.063
Hip positive work after touchdown	W/kg	1.10	1.74	0.93	0.85	0.97	1.15	0.82	1.33
Ankle positive work before take-off	W/kg	1.09	0.69	0.87	1.01	1.02	0.95	1.15	0.64

Lower-limb mechanics during the support phase of maximum-velocity sprint running

Bezodis, I. N., Kerwin, D. G., & Salo, A. I.

Medicine and Science in Sports and Exercise, 40(4), 707-715. 2008.

En las pruebas de velocidad, el tobillo domina la propulsión en máxima velocidad, la cadera complementa, y la rodilla estabiliza

Este patrón confirma la visión de que el éxito en el sprint depende de un tobillo "resorte" altamente eficiente y una cadera muy potente

TOBILLO

- **Fue el principal generador de trabajo positivo en el apoyo.**
- **Mostró alta rigidez y capacidad de almacenar/liberar energía elástica.**
- **Mayor parte de propulsión dependió del complejo tobillo–tríceps sural–tendón de Aquiles.**

CADERA

- **También aportó significativamente, especialmente al inicio y final del apoyo.**
- **Los extensores de cadera contribuyeron a generar impulso positivo junto al tobillo.**

RODILLA

- **Su contribución positiva fue mínima.**
- **Actuó principalmente como amortiguador absorbiendo energía al comienzo del apoyo (trabajo negativo) y facilitando la transmisión entre cadera y tobillo.**

DISTRIBUCIÓN DEL TRABAJO TOTAL EN APOYO

- **Aproximadamente el 50–60% del trabajo positivo provenía del tobillo.**
- **El resto, principalmente de la cadera.**
- **La rodilla aportaba muy poco en comparación**

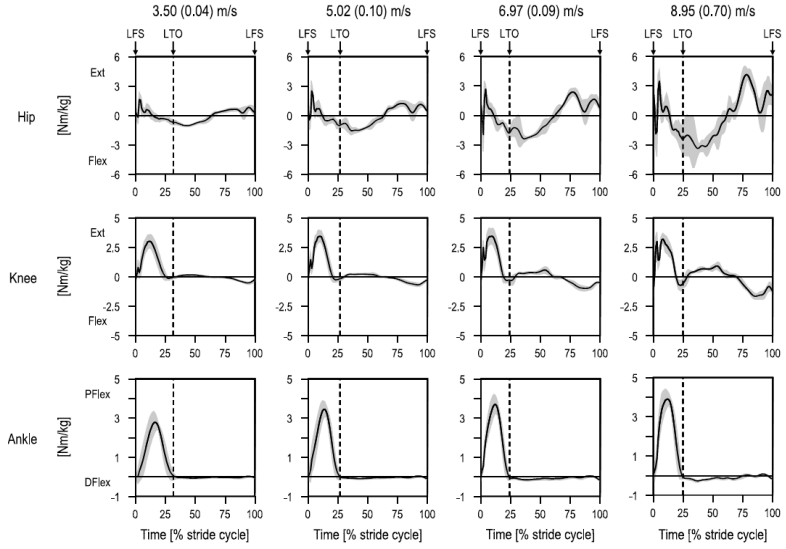
Effect of Running Speed on Lower Limb Joint Kinetics
Schache AG., Blanch PD, Dorn TW, Brown NAT, Rosemond D. & Pandy MG.
Medicine Science Sports & Exercise, 43(7), 1260–1271. 2011.

Correr más rápido se logra sobre todo gracias a una mayor contribución de la cadera y al rol constante del tobillo como resorte, mientras que la rodilla sirve de "*amortiguador*" más que de motor

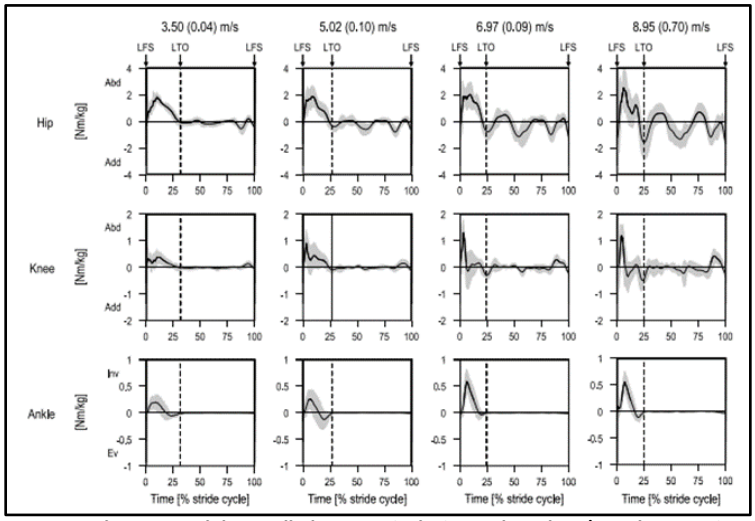
- **Cadera y tobillo son las articulaciones críticas para incrementar la velocidad.**
  - Tobillo mantiene un rol constante de resorte/propulsor.
  - Cadera incrementa progresivamente su contribución conforme la velocidad aumenta.
- **Rodilla no es un gran productor de energía positiva: actúa más como absorbedor de impactos y estabilizador.**
- **Estos hallazgos sugieren que el entrenamiento para mejorar la velocidad debe enfocarse en:**
  - Fuerza y Potencia de extensores de cadera (glúteo mayor, isquiotibiales).
  - Rigidez y potencia reactiva de tobillo (tríceps sural).

Effect of Running Speed on Lower Limb Joint Kinetics
Schache AG., Blanch PD, Dorn TW, Brown NAT, Rosemond D. & Pandy MG.
Medicine Science Sports & Exercise, 43(7), 1260–1271. 2011.

Torques medios normalizados en el plano sagital desarrollados en las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo durante la zancada a diferentes velocidades de carrera

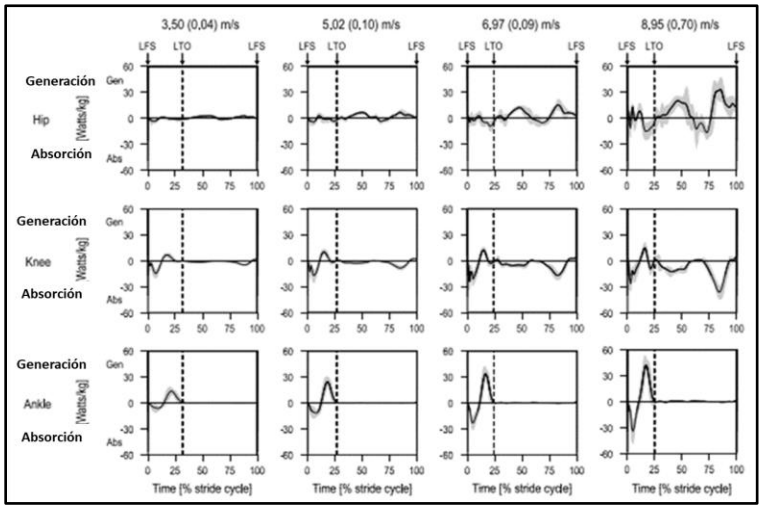


Effect of Running Speed on Lower Limb Joint Kinetics
Schache AG., Blanch PD, Dorn TW, Brown NAT, Rosemond D. & Pandy MG.
Medicine Science Sports & Exercise, 43(7), 1260–1271. 2011.



Torques en Plano Frontal desarrollados en articulaciones de cadera (paneles superiores), rodilla (paneles centrales) y tobillo (paneles inferiores) en ciclo completo de zancada de la extremidad inferior izquierda (desde impacto pie izquierdo hasta el impacto pie izquierdo) para las 4 velocidades de carrera discretas.

Effect of Running Speed on Lower Limb Joint Kinetics
Schache AG., Blanch PD, Dorn TW, Brown NAT, Rosemond D. & Pandy MG.
Medicine Science Sports & Exercise, 43(7), 1260–1271. 2011.



Potencias netas desarrolladas en articulaciones de cadera (paneles superiores), rodilla (paneles centrales) y tobillo (paneles inferiores) del ciclo completo de zancada para la extremidad inferior izquierda (desde el impacto del pie izquierdo hasta el impacto del pie izquierdo) para las velocidades de carrera discretas

Effect of Running Speed on Lower Limb Joint Kinetics
Schache AG., Blanch PD, Dorn TW, Brown NAT, Rosemond D. & Pandy MG.
Medicine Science Sports & Exercise, 43(7), 1260–1271. 2011.

Valores de Torques, Potencias y Trabajo

(valores correspondientes al cambio de velocidad de 3,50 a 8,95 m/s)

Articulación	Fase / Variable	Cambio Absoluto	Factor de incremento
Cadera	Trabajo positivo en *terminal swing*	+1,97 J/kg	~7,35 veces más
Rodilla	Trabajo negativo en *initial swing*	+1,02 J/kg	~6,37 veces más
	Trabajo negativo en *terminal swing*	+1,66 J/kg	~5,05 veces más
Tobillo	Trabajo en fase de apoyo (stance)	+0,53 J/kg desde 3,50 a 5,02 m/s, se estabiliza luego	≈1,36 veces + luego plateau

Mechanical determinants of 100-m sprint running performance
Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P. & Lacour, J. R.
European Journal of Applied Physiology, 112(11), 3921-3930. 2012.

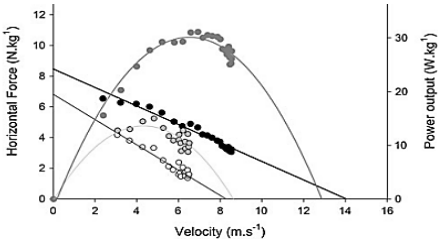
MUESTRA
13 velocistas masculinos
(nivel nacional–internacional)
MM100 m: 10.6–11.7 s)

Aportan un Cambio de Paradigma:

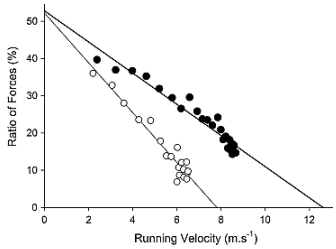
Lo que distingue a los sprinters más rápidos no es solo tener más potencia, sino la capacidad de orientar y mantener la fuerza en dirección horizontal durante la carrera.

Dos variables mecánicas explican gran parte de las diferencias entre velocistas:

- **RF (Ratio of Force):** capacidad de orientar la fuerza hacia delante.
- **DRF (Decremento de RF):** capacidad de mantener esa orientación durante la carrera.

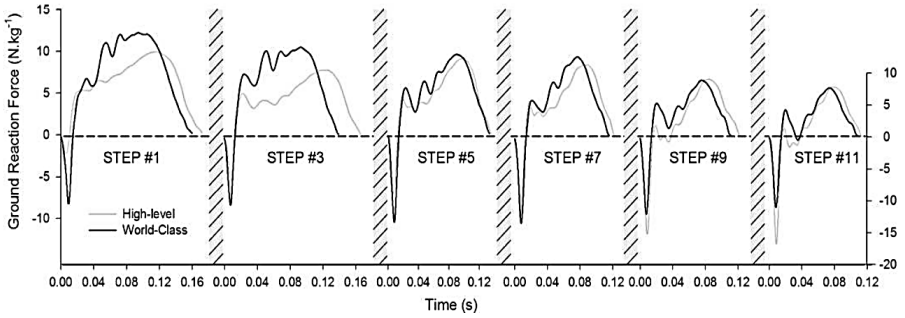


Relaciones de Fuerza-Velocidad y Potencia-Velocidad
Sujetos rápidos (9,92-10,35 s) vs. lentos (15,03 s)
Las regresiones lineales y polinómicas muestran diferencias significativas (r^2=0,878; p<0,001).



Acceleration capability in elite sprinters and ground impulse: push more, brake less?
Morin, J.B., Slawinski, J., Dorel, S., Couturier, A., Samozino, P., Brughelli, M., & Rabita, G.
Journal of Biomechanics, 48(12), 3149-3154. 2015.

Los velocistas más rápidos son aquellos que producen mayores cantidades de impulso neto horizontal por unidad de masa corporal, y aquellos que "***empujaron más***", pero no necesariamente aquellos que también "***frenaron menos***" en la dirección horizontal



Comparación de la fuerza de reacción horizontal durante las fases de apoyo de pasos 1, 3, 5, 7, 9 y 11 de un sprint de 40 m ($V_{élite}$: 9,95 s, líneas negras; Velocista Alto Nivel: 10,60 s, líneas grises)

RESUMEN BIBLIOGRAFÍA

Estudio	Enfoque	Hallazgos clave
Kyrolainen et al. 1999	EMG y Cinética	Isquios y gemelos aumentan actividad con velocidad; rol clave en sprint máximo.
Weyand et al. 2000	Fuerza vs Frecuencia	Velocidad depende de fuerzas de soporte mayores, no de piernas más rápidas.
Kuitunen et al. 2002	Stiffness Articular	Tobillo estable; rodilla aumenta rigidez: sostiene fuerza en apoyos cortos.
Hunter et al. 2005	SL vs SF	Relación inversa; élite combinan ambas gracias a mejor técnica (pie bajo la cadera).
Bezodis et al. 2007	Cinética Máxima Velocidad	Tobillo + cadera = principales generadores; rodilla = absorción.
Bezodis et al. 2008	Apoyo Máxima Velocidad	Tobillo aporta ≈60% del trabajo positivo; rodilla estabiliza.
Korhonen et al. 2010	Variabilidad/Simetría	Fuerzas verticales estables; horizontales más variables, sobre todo en persona mayores.
Schache et al. 2011	Velocidad Creciente	Tobillo domina en baja v; cadera aumenta rol en alta v; rodilla = amortiguador.
Morin et al. 2012	Mecánica 100 m	Rendimiento depende de RF y DRF; orientar fuerza horizontal es clave.
Morin et al. 2015	Perfil F–V	Perfil F–v individual predice sprint; equilibrio entre F_o y V_o optimiza rendimiento.

Relative activity of hip and knee extensors in sprinting-implications for training
Klauss Wiemann & Günter Tidow
New Studies in Athletics, 10, 29-29. 1995.

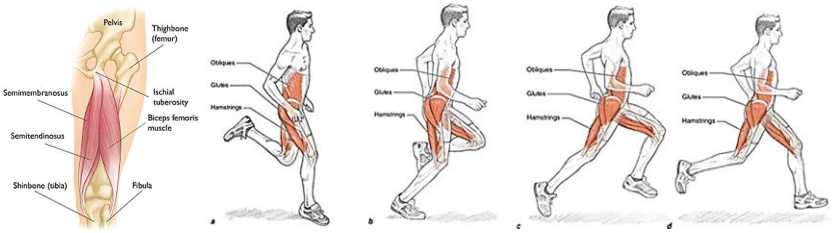
MUSCULOS ISQUIOTIBIALES COMO EXTENSORES DE LA CADERA

(Semitendinoso, Semimembranoso & Porción Larga del Bíceps Femoral)

PARADOJA DE LOMBARD

Como músculo biarticular, los isquiotibiales (cadera & rodilla), no solo tienen una función de extensión de cadera, sino también, de rodilla

Salvo que el ángulo de rodilla sea <145º, los isquiotibiales, durante la fase de apoyo, participan tanto una extensión de cadera como en la extensión de rodilla



Se puede observar que el músculo se extiende, desde el hueso isquiático hasta la parte inferior de la pierna, exactamente en la dirección de tracción de la pierna bajo la pelvis durante la fase de apoyo

VELOCIDAD (СПРИНТЕРСКИЙ БЕГ)
Edvin S. Ozolin
Biblioteca de Atletas (2010)



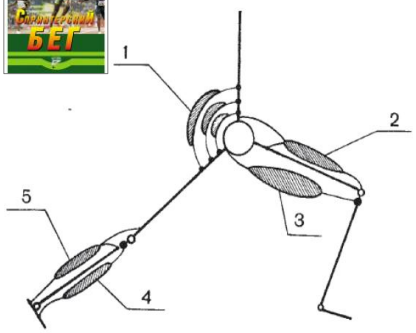


Diagrama simplificado del complejo muscular que participa en la carrera

1. **Grupo Muscular Pélvico** (principalmente Glúteo Mayor, Medio y Menor): endereza el cuerpo, abduce y extiende el muslo.
2. **Grupo Muscular Anterior del Muslo** (principalmente sartorio y cuádriceps): algunos músculos cubren dos articulaciones: cadera y la rodilla. Participan en la flexión de la cadera y la extensión de la parte inferior de la pierna.
3. **Grupo Muscular Posterior del Muslo** (semitendinoso, semimembranoso y bíceps): extiende el muslo y flexiona la parte inferior de la pierna.
4. **Grupo Muscular Anterior de La Pierna** (principalmente tibial anterior, el extensor largo de los dedos y extensor largo del dedo gordo del pie): extiende el pie, elevándolo.
5. **Grupo Posterior de Músculos de Parte Inferior de la Pierna** (tríceps sural: gastrocnemio y sóleo) flexiona la parte inferior de la pierna a la altura de rodilla y pie.

Relative activity of hip and knee extensors in sprinting-implications for training

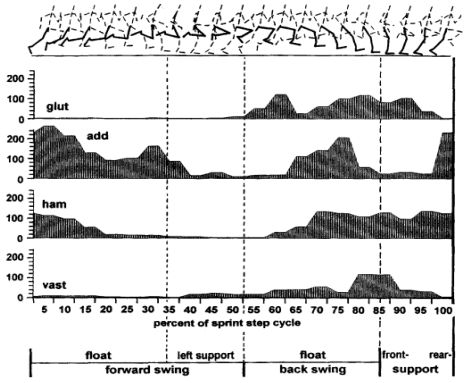
Klaus Wiemann & Gunter Tidow

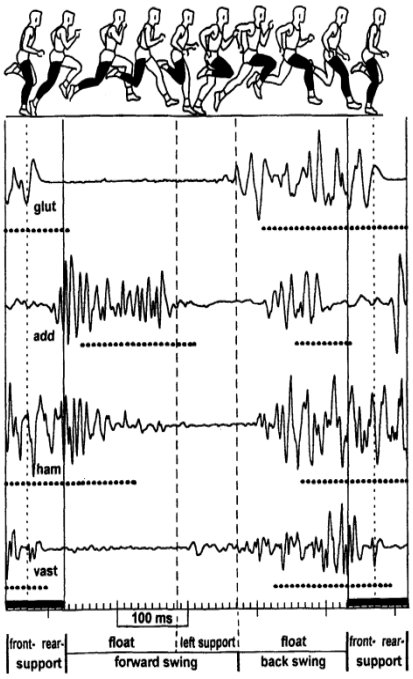
New Studies in Athletics, 10, 29-29. 1995.

La velocidad está directamente relacionada con la velocidad de balanceo de las piernas (comienza desde el punto más alto de elevación de la rodilla hasta el contacto con el pie y continúa durante la fase de apoyo)

Los músculos responsables de la propulsión son: isquiotibiales, glúteo mayor y aductor largo

Los isquiotibiales se destacan como los que más contribuyen a máxima velocidad





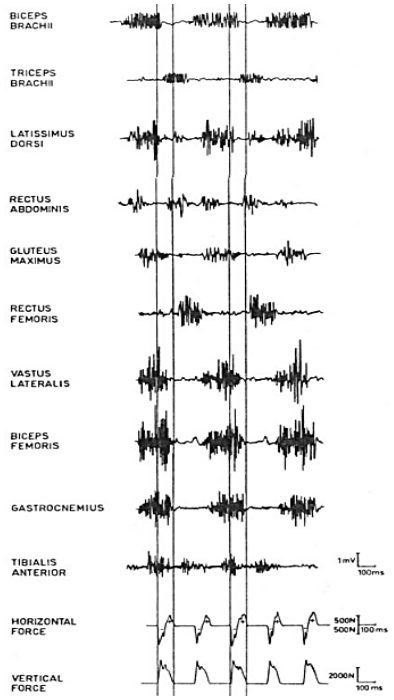
Biomechanics of Sprint Running: A Review

Mero, A., Komi, P.V. & Gregor, R.J.

Sports Medicine, 13(6), 376-392. 1992.

Ejemplo de activación muscular durante una zancada en una carrera de máxima velocidad

- **Sprint**: musculatura de piernas presenta alta actividad antes del contacto. En valores relativos, no se observan diferencias significativas entre velocidades ni sexos.
- **Inicio fase de contacto:** se producen grandes fuerzas de impacto. Es importante que los músculos extensores de las piernas estén altamente activados y rígidos.
- **Preactivación elevada:** es clave para aumentar la rigidez de los músculos y resistir el impacto.
- **Máxima Velocidad**: la actividad máxima de los músculos extensores de la pierna ocurre durante la fase de frenado del contacto. Posteriormente, EMG comienza a disminuir hacia el final de la fase de propulsión.

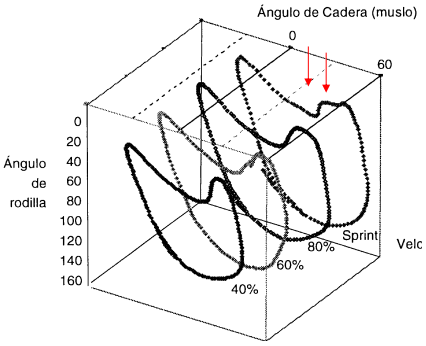


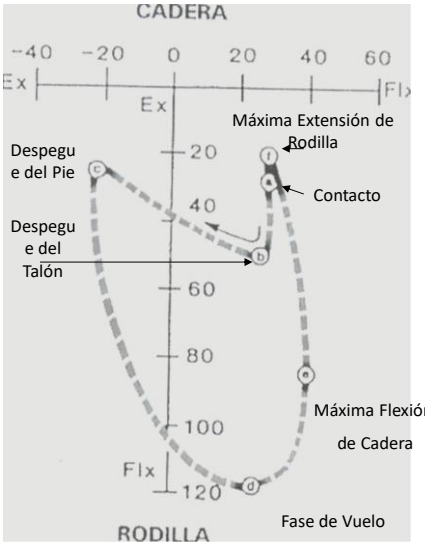
La Carrera de Velocidad. Metodología De Análisis Biomecánico

Amelia Ferro

Madrid (España). Esteban Sanz. 2001.

TRAYECTORIA DE LA RODILLA
FASES DE APOYO Y DE RECOBRO





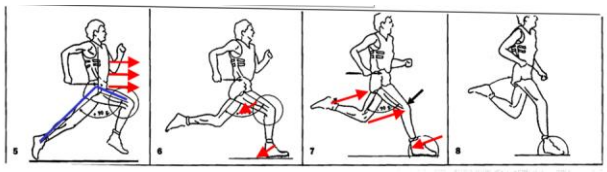
Flexión Cadera: **6 5-70º**

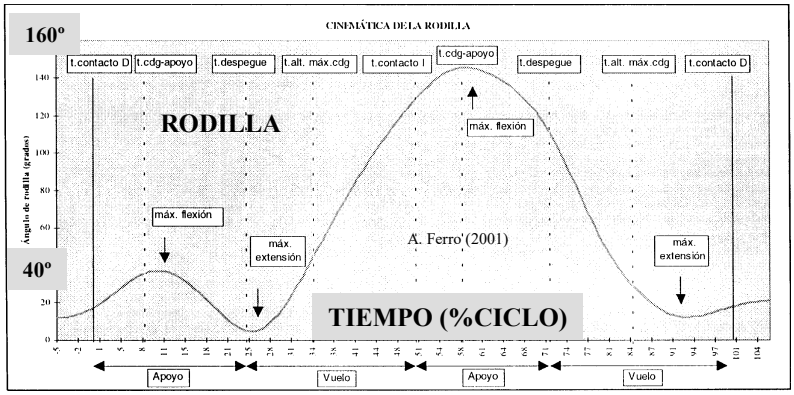
Extensión Cadera: **30-40º**

Amplitud Total: **90-110º**

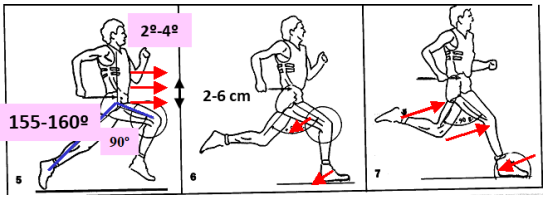
Máxima Flexión de Rodilla

FASES DE IMPULSO Y VUELO





FASES DE IMPULSO Y VUELO



Pierna de Apoyo:

Extensión casi completa de articulación de rodilla, coordinada con la extensión de las articulaciones de tobillo y cadera (90ºentre ambas piernas).

Pierna Libre:

Acción dinámica de flexores de cadera y rodilla (hasta 60º-65º) iniciada por ligera rotación de la cadera. Al final del impulso el recorrido es de 100º-105º.

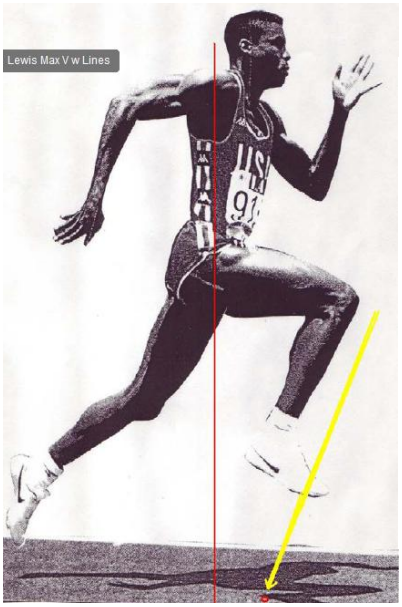
Tronco:

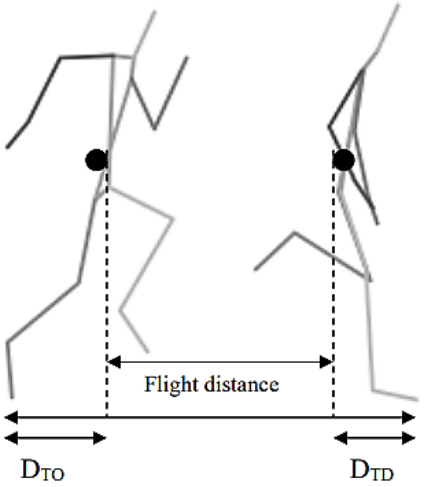
Relajado y casi vertical (2º-4º de inclinación). Elevación CM entre 4-6 cm a 9-10 m/s.

Brazos:

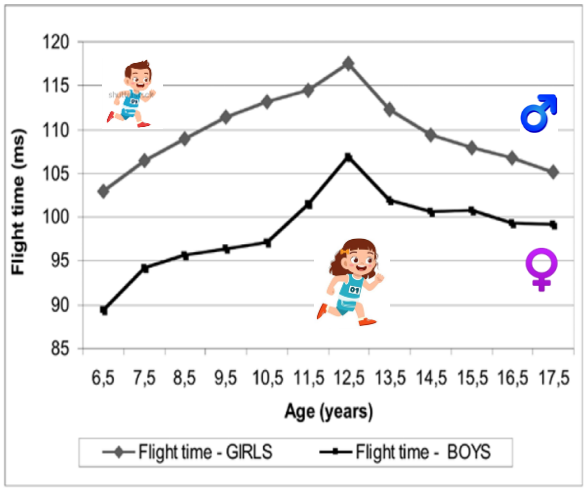
Muestran el tandem más amplio. El atrasado aumenta ligeramente el ángulo de flexión del codo contrarrestando las rotaciones del tronco.

FASE DE VUELO



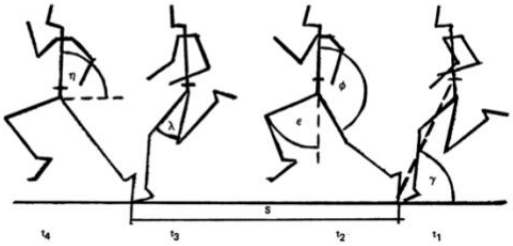


Kinematics of Sprinting in Children and Youths
Marian Vanderka & Tomáš Kampmiller
New Studies in Athletics, 28(1/2), 35-45. 2013.



MUESTRA: 1.288 niños/as (Bratislava – Eslovaquia)
Carreras de 25 m (control 10 metros)

FASE DE VUELO



Durante la carrera a alta velocidad, la fase de vuelo de la zancada, o el tiempo en que ambos pies se despegan del suelo, aumenta proporcionalmente al tiempo total de la zancada, y los velocistas de élite dedican una parte significativa de su zancada al vuelo

LZ aumenta a las Velocidades más altas

Una LZ excesiva puede, con una Fase de Vuelo muy elevada, puede perjudir el Tiempo en las Carreas Corta de Velocidad

El mecanismo principal para aumentar la Velocidad a intensidades máximas es la Frecuencia de Zancada

Kinematics and kinetics of maximal velocity sprinting and specificity of training in elite athletes

Deborah Louise Sides

Tesis Doctoral. University of Salford, School of Health Sciences. 2014.

Todas las variables correlacionan significativamente (p<0,05) con Velocidad Horizontal
(LZ, FZ, Tiempo de Vuelo, Distancia de Apoyo: mostraron correlaciones positivas)

Un aumento en estas variables se asocia con un aumento de la velocidad horizontal
Postura y TV mostraron una correlación negativa, lo que indica que tiempos más cortos se asocian con un aumento de la velocidad horizontal

Distancia de Vuelo y Distancia de Apoyo fueron los predictores más sólidos de la velocidad horizontal, con un 43% y un 42% de la varianza, respectivamente

El Tiempo de Vuelo tuvo la menor correlación con la Velocidad Horizontal

Independent variable	Mean (±SD)	Correlation with horizontal velocity (r)	Coefficient of determination (R^2)
Horizontal velocity (m/s)	10.23 (0.89)		
Step length (m)	2.30 (0.16)	0.600*	0.360
Step frequency (Hz)	4.50 (0.32)	0.501*	0.250
Flight distance (m)	3.62 (0.30)	0.652*	0.425
Stance distance (m)	1.00 (0.07)	0.644*	0.415
Ground contact time (s)	0.099 (0.007)	-0.590*	0.348
Flight time (s)	0.347 (0.28)	-0.410*	0.168



THE MECHANICS OF SPRINTING AND HURDLING

Ralph Mann

Independent Publishing Platform. 2010.

Kinematic variable	'Good'	'Average'	'Poor'
Horizontal velocity (m/s)	12.55	11.90	11.25
Stride length (m)	2.70	2.63	2.56
Stride frequency (Hz)	4.83	4.53	4.43
Ground contact time (s)	0.087	0.094	0.101
Flight time (s)	0.123	0.118	0.128
Time to maximum upper leg flexion (s)	0.033	0.023	0.013
Upper leg angle at toe-off (°)	170	160	165
Upper leg angle at full extension (°)	165	160	155
Upper leg angle at full flexion (°)	260	255	250
Lower leg angle at toe-off (°)	150	155	160
Lower leg angle at full flexion (°)	40	35	30
Lower leg angle at ankle cross position (°)	60	65	55
Foot speed at touchdown (m/s)	8.47	7.59	6.71

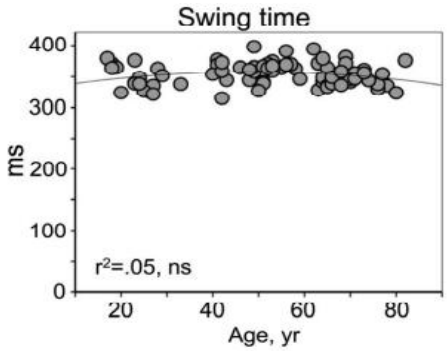
Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes
Marko T. Korhonen. Academic Dissertation.
Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä. Junio 2009.

CAMBIOS DE PARÁMETROS CLAVES CON LA EDAD:

Relaciones entre la Edad vs. TIEMPO DE SWING, Tiempo de Contacto (TC), Tiempo de Empuje (Tpush) y Tiempo de Frenado (Tbrake)

AUMENTA: TC (+5 %), Tbrake (+9 %/década) y Tpush (+2 %/década)

DISMINUYE: Taer (-5 %/década, p < 0,001)



Tiempo de Vuelo "Swing Time" (tsw) no cambia con la edad.
La pequeña caída de la FZ con los años se explica íntegramente por el aumento del TC, no por tsw.
La variabilidad y simetría de los parámetros biomecánicos son similares en jóvenes y corredores veteranos

FASE DE VUELO EN CARRERAS DE VELOCIDAD

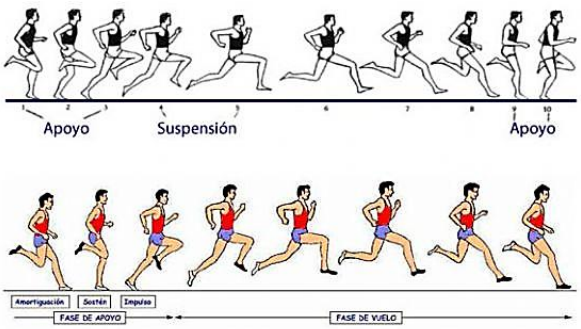
La fase de vuelo es el intervalo de cada zancada en el que ningún pie está en contacto con el suelo

Empieza con el despegue del pie de impulso y termina con el primer contacto del pie contrario en el suelo

En carreras de alta velocidad:

Duración típica: ≈0,11–0,14 s en velocistas de élite

[Siempre más larga que la fase de apoyo TC: ≈0,08–0,10 s)]



FASE DE VUELO

CARACTERÍSTICAS BIOMECÁNICAS

1. Altura del Centro de Masas (CM)

- El CM asciende tras el despegue, alcanzando su punto más alto en pleno vuelo.
- La diferencia con el mínimo en la fase de apoyo suele ser de 5–8 cm.

2. Oscilación de los Segmentos

- La pierna de recobro realiza una rápida flexión de rodilla para reducir el momento de inercia y permitir una frecuencia de zancada muy alta.
- El muslo de la pierna libre avanza rápidamente hacia adelante (acción de "batida").

3. Relación Frecuencia-Longitud

- La duración del vuelo contribuye a la longitud de zancada (≈2,3–2,8 m en élite).
- Un vuelo excesivo provoca mayor oscilación vertical y pérdida de eficiencia.

4.Asimetrías

- En velocistas con dominancia lateral pueden observarse pequeñas diferencias en tiempo de vuelo entre pierna derecha e izquierda, generando ligeras oscilaciones en la velocidad instantánea.

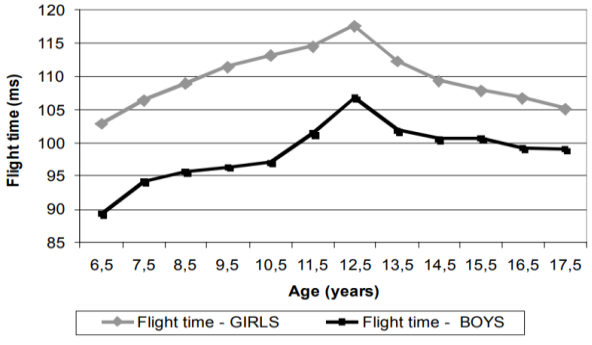
FASE DE VUELO

Kinematic parameters of the running stride in 7-to 18-year-old youth
Kampmiller, T., Vanderka, M., Šelinger, P., Šelingerová, M., & Čierna, D.
Kinesiologia Slovenica, 17(1), 63-75. .2011

Se observó una alta estabilidad ontogenética de algunos indicadores de la zancada a máxima velocidad de carrera(FZ, TC y TV) en la población de jóvenes de 7 a 18 años

Los parámetros estables se deterioraron parcialmente en la prepubescencia y al comienzo de la pubertad, (entre 11 y 15 años)

Esto se relaciona con el rápido crecimiento de Estatura y PC, así como con el deterioro de las condiciones biomecánicas y de coordinación del organismo



MUESTRA

Estudiantes de primaria y secundaria de Bratislava (7 a 18 años)

1299 (♂) – 1288 (♀)

Debían correr 25 Metros

Se evaluó la velocidad en la distancia de 10 M tras 15 M de aceleración



Interaction of Step Length and Step Rate during Sprint Running
Hunter, J. P., Marshall, R. N. & McNair, P. J.
Medicine Science in Sports and Exercise, 36(2), 261–271, 2004.

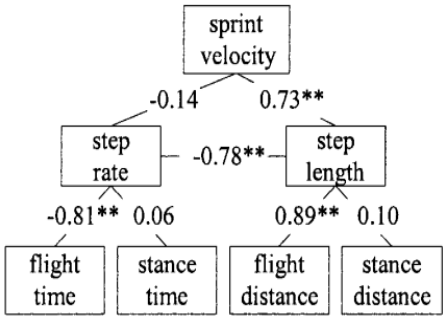
PREDICCIÓN DEL TIEMPO DE VUELO

	Parámetros de Regresión			Correlación Pearson	
	β	r^2	sr^2	TV	Altura
Altura Take Off	0.59**	0.13	0.32**	0.36	
Velocidad Vertical	0.88**	0.52**	0.72**	0.72**	-0.26

La longitud de la pierna, la altura de despegue y la velocidad vertical de despegue son posibles fuentes de una interacción negativa entre la longitud y la frecuencia de paso

Longitudes y frecuencias de paso tan elevadas que alcanzan los velocistas élite solo pueden lograrse con una técnica que implica una velocidad horizontal alta y vertical baja.

Sin embargo, una mayor velocidad vertical de despegue podría ser ventajosa cuando un atleta está fatigado y tiene dificultades para mantener una frecuencia de paso alta.



RECUPERACIÓN PIERNA LIBRE

Pierna Libre realiza un ciclo rápido que complementa la Pierna de Apoyo



Recuperación Temprana (inmediatamente Tras el Despegue):

- Pierna se extiende detrás del cuerpo en el despegue.
- Comienza con flexión rápida de cadera, llevando muslo hacia adelante.
- Rodilla se flexiona rápidamente (aproximadamente 60–70°) para acortar el momento de inercia de la pierna y acelerar el balanceo.

Media Oscilación (pierna se mueve hacia adelante y hacia arriba):

- Muslo alcanza su velocidad máxima de avance en la flexión de cadera.
- Rodilla permanece flexionada (≈38-41º); se lleva debajo del muslo.
- Esta fase asegura que el pie se despegue del suelo y se prepare para la posición adecuada antes del contacto.

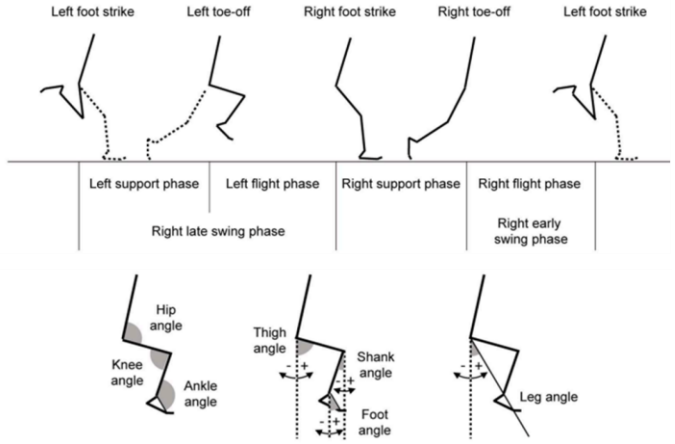
Fin del balanceo (preactivación, preparación para el contacto):

- Muslo se acerca a una elevación alta de rodilla (flexión de cadera de aproximadamente 60–75° a velocidad máxima).
- La rodilla comienza a extenderse rápidamente mientras la cadera continúa flexionándose ligeramente.
- Esto crea una acción de patear: el pie es impulsado hacia abajo y hacia atrás en dirección al suelo, lo que reduce la velocidad relativa en el contacto (minimizando el frenado).

RECUPERACIÓN PIERNA LIBRE

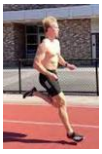
Kinematics of maximal speed sprinting with different running speed, leg length, and step characteristics
Miyashiro, K., Nagahara, R., Yamamoto, K., & Nishijima, T.
Frontiers in Sports and Active Living, 1, 37. 2019.

MUESTRA (n = 79): **Velocistas de diferentes Niveles de Rendimiento (10,30-12,14 s)**



RECUPERACIÓN PIERNA LIBRE

CARACTERÍSTICAS CINEMÁTICAS CLAVE



FLEXIÓN/EXTENSIÓN DE CADERA:

•Ángulo máximo de flexión de cadera (rodilla alta): ≈60–75° por delante de la vertical.

•Extensión rápida de cadera durante el impulsarse contra el suelo.

MOVIMIENTO DE RODILLA:

•Se flexiona rápidamente tras el despegue (flexión de ≈60–70°).

•Se extiende de nuevo antes de contacto con suelo (≈160–170° al contacto con suelo).

VELOCIDADES ANGULARES:

•**Velocidad de flexión de cadera:** Entre las más altas del movimiento humano, alcanzando un máximo de >1000°/s en velocistas de élite.

•**Extensión de rodilla al final del balanceo:** también extremadamente rápida (~1000°/s), crucial para colocar el pie bajo el cuerpo al contacto con el suelo.

TRAYECTORIA DEL PIE:

•El pie, en el balanceo, sigue una trayectoria circular bajo la cadera, manteniéndose compacto al inicio (pierna acortada) y extendiéndose justo antes de contacto con suelo.

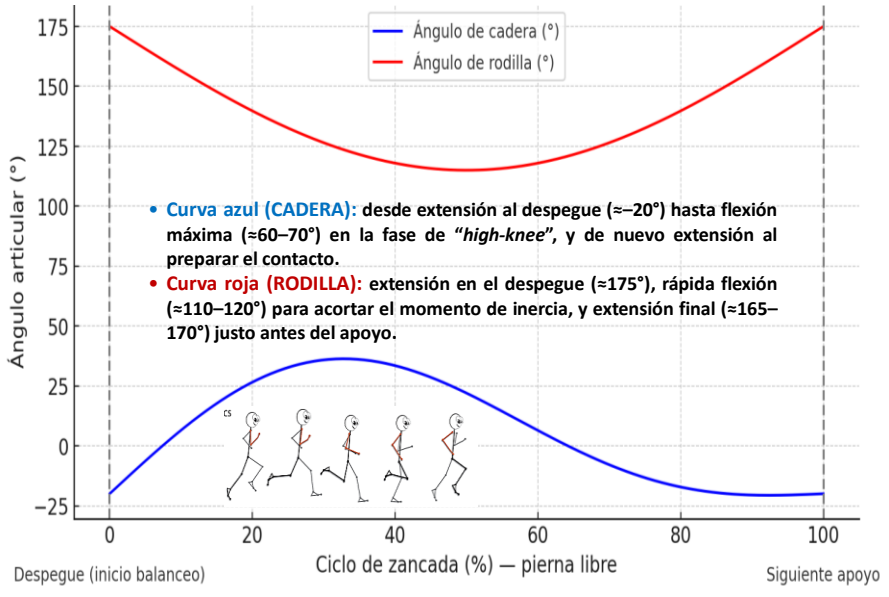
•Al aterrizar, la velocidad del pie hacia atrás casi coincide con la velocidad de la pista, lo que minimiza el impulso de frenado.

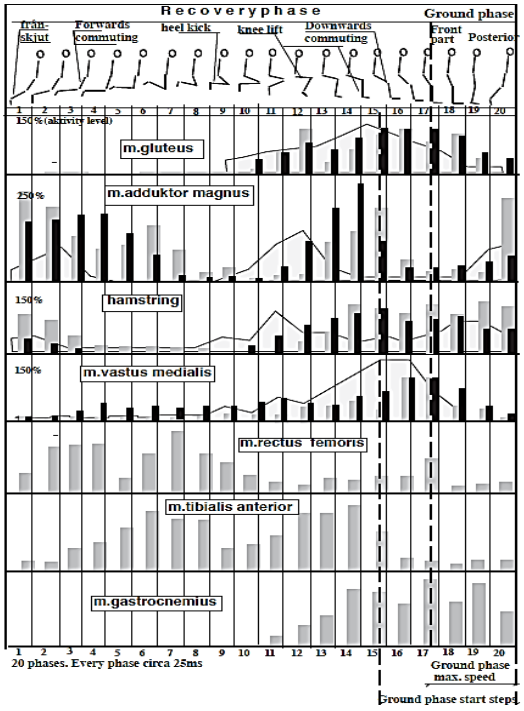
RECUPERACIÓN PIERNA LIBRE

VALORES ARTICULARES DE REFERANCIA (GRADOS)

Fase de la Pierna Libre	Cadera (°)	Rodilla (°)	Tobillo (°)	Velocidades Angulares
Despegue (Inicio Swing)	≈ –10 a –20° (extensión)	≈ 170–175° (casi extendida)	~20° Flexión Plantar (empuje)	Hip extensión >600°/s
Recuperación Temprana (Early Swing)	+10 a +20° (flexión)	≈ 60–70° (flexión máxima)	≈ 10° Dorsiflexión	Knee flexion >1000°/s
High-Knee (Mid Swing)	≈55–65° (flexión)	≈ 110–125° (flexión)	≈ 0–5° Dorsiflexión (neutro)	Hip flexion >1000°/s
Pre-Apoyo (Terminal Swing)	≈50° (flexión)	≈ 35–45° flexión (rodilla extendiéndose)	≈ 10–15° Dorsiflexión (preparada)	Knee extension ≈800–1000°/s; hip still flexing

CINEMÁTICA DE LA PIERNA LIBRE





RECUPERACIÓN PIERNA LIBRE

Die ischiocruralen Muskeln beim Sprint

Klaus Wiemann

Leichtathletik, *25*, 783-786. 1989.

RESPUESTA MUSCULAR

Se realizó EMG para indicar el esfuerzo muscular de velocistas de élite alemanes, incluidos campeones alemanes, que se compara con 25 estudiantes de E.F. sin experiencia en carreras de velocidad

MUESTRA

12 velocistas de élite

MM: 10,57 s.

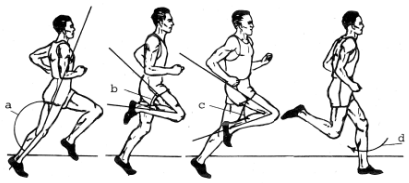
Más 25 estudiantes

ACCIÓN DE CADERA DURANTE EL APOYO

Kinematic analysis of Olympic sprint performance: men's 200 meters

Ralph Mann & John Herman

Journal of Applied Biomechanics, 1(2), 151-162. 1985.



ANGULO AL TAKE OFF

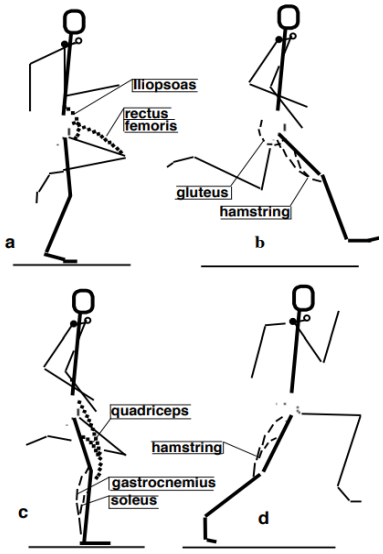
	C. Lewis (USA)	Kirk Batiste (USA)	Thomas Jefferson (USA)
Extensión Cadera	167º	170º	167º
	167º	164º	160º
Extensión Rodilla	157º	156º	158º
	157º	156º	156º

Los velocistas más rápidos extienden más la cadera

– Aumentando el tiempo de aplicación de fuerzas

– Aumentando el impulso

Power in sprinting
Lemaire, E. D., & Robertson, D. G. E.
Track Field Journal, 35, 13-17. 1989.



Flexores de Cadera: trabajan concéntricamente durante el balanceo hacia adelante y luego desarrolló 4100 W.

Potencia de salida fue 3200 W para extensores de cadera (trabajo concéntrico), cuando el pie se balancea hacia abajo hacia el suelo.

La rodilla absorbe (excéntricamente) cuando el pie aterriza con un efecto de 2500 W, seguido de solo 200 W al inicio de la extensión de rodilla.

Flexores de Rodilla (Isquiotibiales): 4800 W en el despegue. Esta actividad muscular es necesaria, para prevenir la hiperextensión de rodilla.

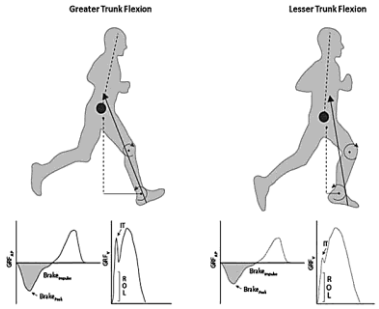
Debería priorizarse el entrenamiento de la musculatura de la cadera que la de la rodilla y del tobillo (Flexión Plantar).

The effect of trunk flexion angle on lower limb mechanics during running
Warrener, A., Tamai, R., & Lieberman, D. E.
Human Movement Science, 78, 102817. 2021.

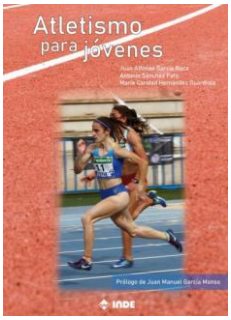
En comparación con una flexión natural del tronco, mayores ángulos de inclinación se traducen en una mayor flexión de la cadera y de la rodilla

Una mayor inclinación también modificó la posición del pie y la extremidad inferior, lo que resultó en un mayor impacto de la FGR en el cuerpo

La combinación de la flexión del tronco, la colocación del pie y la pierna, y las variables de la FGR muestra que una inclinación excesiva del tronco podría ser una causa de una forma de correr perjudicial

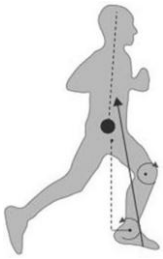


- Ángulos excesivos de flexión del tronco se han considerado durante mucho tiempo indeseables para una buena técnica de carrera.
- La fatiga puede aumentar los ángulos de flexión del tronco, con efectos potencialmente lesivos, y la variación individual en la postura del tronco a menudo no tiene una causa clara.
- Se ha demostrado que la variación en la flexión del tronco influye en la economía y el rendimiento de la carrera, y se ha asociado indirecta y directamente con otros aspectos de la forma de correr que se cree que causan lesiones.



ATLETISMO PARA JÓVENES
Antonio Sánchez-Pato, Juan A. García-Roca & Mª Caridad Hernández-Guardiola
Editorial INDE. Barcelona (España). 2021.

Pequeños cambios en la flexión del tronco pueden alterar sustancialmente la cinemática de las extremidades inferiores y las fuerzas de reacción del suelo (GRF) durante la carrera



Desde una perspectiva práctica, la posición del tronco y el braceo deben entenderse como partes de un mismo sistema coordinativo

Los autores destacan que una postura estable del tronco reduce las pérdidas de energía y facilita que el braceo actúe como "metrónomo" del ritmo de zancada, garantizando la sincronía entre la amplitud de frecuencia y su frecuencia

Esta visión se refuerza con los planteamientos del técnico español **Valentín Rocandio**, quien insiste en que el control del tronco y los brazos debe entrenarse desde edades tempranas mediante ejercicios de coordinación y carrera técnica, dado que pequeñas alteraciones en estas acciones repercuten en toda la mecánica del sprint

ACCIÓN DE BRAZOS

Dynamique de la course de 100m des athletes de haut niveau en situation de competition
Faycal Rebaine
Tesis Doctoral. Universidad de Argel. 2015.

Los SEGMENTOS LIBRES desempeñan dos funciones fundamentales:

Favorecen el equilibrio general del cuerpo: segmentos libres contribuyen a mantener el equilibrio del corredor, asegurando que el impulso se ejerza siempre sobre el CM a pesar de las rotaciones inherentes a la locomoción.

Por ejemplo, durante una rotación pélvica hacia la izquierda, los brazos promueven una contrarrotación de la cintura escapular, restaurando así el equilibrio del cuerpo.

Contribuyen a la propulsión de todo el cuerpo mediante acciones de fortalecimiento. Los brazos representan ≈7% del PC y las extremidades inferiores ≈35%.

Dado que la pelvis está sometida a fuerzas de rotación e inclinación lateral, corresponde a los músculos del *core* contener estas rotaciones e inclinaciones, es decir, permitir la mejor transmisión posible de fuerza, fijando la pelvis y facilitando el avance.

Los principales grupos musculares implicados son: abdominales, lumbares y erectores. Estos últimos, mediante su acción de sujeción, actúan como una verdadera vaina, promoviendo así la correcta posición de la pelvis, así como una óptima alineación segmentaria. Los abdominales oblicuos (externo & interno) rodean el tronco y aseguran el envainado de la pelvis (soportes del tronco).

ACCIÓN DE BRAZOS

Un movimiento coordinado de brazos y piernas resulta en un sprint eficiente

Los brazos trabajan en oposición a las piernas, con el brazo derecho y la pierna izquierda avanzando mientras el brazo izquierdo y la pierna derecha retroceden, y viceversa

El swing debe ser intenso pero relajado. Las manos también deben ir relajadas subiendo hasta la altura de los hombros, sin sobrepasar la barbilla

Durante el swing ascendente, el ángulo del brazo es de aproximadamente ≈90º, coordinándose con la rápida recuperación del swing hacia adelante de la pierna

Durante el swing descendente, una extensión del codo se corresponde con la mayor palanca de la pierna de impulso del lado opuesto para permitir el impulso horizontal

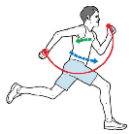
Al final del movimiento, la mano se encuentra junto al muslo. Sin embargo, hacia el final de su retroceso, el brazo se flexiona y acelera de nuevo para alcanzar la etapa rápida final del impulso de pierna. Los codos deben permanecer pegados al cuerpo. Mantener los codos separados del cuerpo impedirá la relajación de los hombros y limitará la eficiencia de la mecánica de carrera

El hombro es el eje de rotación del brazo y el codo actúa para acortar la palanca

Cerrar el ángulo del codo reduce la inercia del brazo y aumenta la velocidad angular para crear una rotación más rápida. El movimiento del brazo sin la articulación del codo resulta en un movimiento de brazo recto, similar a un péndulo, demasiado lento para la coordinación de las piernas

ATLETISMO PARA JÓVENES (Vol. 1)
García-Roca, J. A., Sánchez-Pato, A., & Hernández-Guardiola, M. C.
Editorial INDE. Barcelona (España). 2021.

La eficacia del velocista no depende únicamente de la Fuerza que ejercen las piernas durante los apoyos que realiza el corredor en el suelo, sino también de la interacción dinámica entre tronco y brazos, cuya correcta ejecución optimiza la transmisión de fuerzas y mejora la eficiencia de la zancada



LOS BRAZOS CUMPLEN UNA DOBLE FUNCIÓN:

- **Equilibrar los movimientos alternos de las piernas**
- **Contribuir activamente a la generación de fuerza**

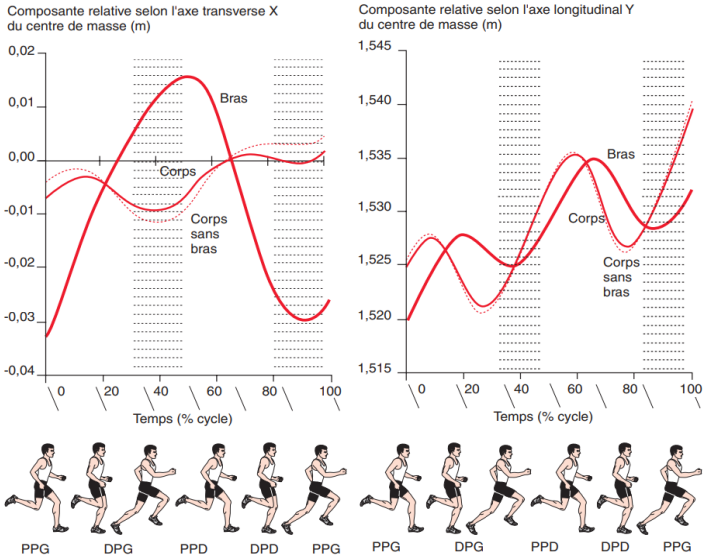
- **Durante la aceleración, los brazos actúan con mayor amplitud y vigor, acompañando el impulso de las piernas y ayudando a proyectar el cuerpo hacia delante.**
- **En la fase de velocidad máxima, su movimiento se vuelve más compacto y rítmico, buscando maximizar la frecuencia de zancada sin generar tensiones innecesarias.**
- **Desde una perspectiva aplicada, la posición del tronco y el braceo deben entenderse como partes de un mismo sistema coordinativo.**

Los autores destacan que una postura estable del tronco reduce las pérdidas de energía y facilita que el braceo actúe como "metrónomo" del ritmo de zancada, garantizando la sincronía entre amplitud y frecuencia

Étude biomécanique de la course à pied

Leboeuf F., de Leluardière F.A., Lacouture P., Duboy J., Leplanquais F., & Junqua A. Podologie, 27-020-a-20. 2006.

IZQUIERDA: Contribución de la masa del brazo al desplazamiento transversal del CM del cuerpo.
DERECHA: Contribución de la masa del brazo al desplazamiento longitudinal del CM del cuerpo.



ACCIÓN DE BRAZOS Y PIERNAS (1)

NORMALMENTE, LOS BRAZOS OSCILAN EN OPOSICIÓN A LAS PIERNAS DURANTE LA ZANCADA



- Se ha sugerido que la función de los brazos es necesaria para compensar la rotación del tronco causada por el movimiento hacia adelante de la pierna contralateral al recuperarse para prepararse para el apoyo.
- Se cree que la oscilación de brazos almacena energía que posteriormente se devuelve al CM en el despegue, aumentando la velocidad de impulso. Los brazos oscilantes también ejercen una acción de "tracción" sobre el CM hacia el despegue.
- La inclinación del tronco hacia adelante, podría dirigir la fuerza ejercida por los brazos sobre el CM hacia adelante, mejorando el rendimiento durante esta fase.

ACCIÓN DE BRAZOS Y PIERNAS (2)

NORMALMENTE, LOS BRAZOS OSCILAN EN OPOSICIÓN A LAS PIERNAS DURANTE LA ZANCADA



- Se ha demostrado que la contribución del balanceo de brazos a la velocidad horizontal del CM al correr a máxima velocidad es pequeña, pero se ha demostrado que los tiempos de sprint aumentan entre un 3% y un 10% cuando se restringen los brazos durante la carrera a máxima velocidad.
- Restringir el movimiento de las piernas mediante la adición de masa a las extremidades impide la velocidad máxima de carrera en una medida mucho mayor que restringir el movimiento de los brazos.
- Aunque el movimiento de las piernas parece ser más importante, los brazos cumplen una función importante: equilibrar la acción de las piernas al correr, y su integración en la técnica de carrera es necesaria para mejorar el rendimiento.

Training and evaluation course for coaches
Tecnificación y perfeccionamiento técnico en carreras de velocidad y relevos
Juan Alfonso García Roca & Juan Manuel García Manso
Universidad Católica Murcia – Comité Olímpico Español (2025)

La posición del tronco constituye un elemento determinante de la técnica de carrera, pues de su alineación depende la eficacia de la propulsión y la economía de movimiento

- En fases iniciales de la carrera (Fase de Aceleración), el tronco debe mantenerse inclinado hacia delante con un ángulo que permita transferir la fuerza resultante de los apoyos de manera óptima en dirección horizontal.
- A medida que se alcanza la Fase de Velocidad Máxima, la progresiva verticalización del tronco garantiza la estabilidad y facilita la coordinación de las acciones de las extremidades, evitando oscilaciones laterales que aumentarían el tiempo de contacto y el gasto energético.
- En cualquier fase de la carrera se deben evitar oscilaciones laterales o antero-posteriores del tronco.

OSCILACIONES EXCESIVAS DEL TRONCO

***Causa*:** falta de control postural, insuficiente fuerza en la zona media, tendencia a compensar desequilibrios en la aplicación de fuerza.

***Corrección*:** ejercicios de técnica con foco en estabilidad (skipping controlado, progresiones de carrera con manos en caderas), fortalecimiento del *core* y retroalimentación con vídeo/kinogramas.

CURSO DE ENTRENADORES DE ATLETISMO
Juan Manuel García Manso
Juan Alfonso García Roca

LAS CARRERAS DE VELOCIDAD EN ATLETISMO

RESISTENCIA A LA VELOCIDAD



FASE DE RESISTENCIA A LA VELOCIDAD

FASE DE RESISTENCIA A LA VELOCIDAD

En las carreras atléticas es un componente clave en las pruebas de velocidad prolongada, como los 200 m, 300 m y 400 m, y también influye parcialmente en el segundo tramo del 100 m

Se refiere a la capacidad del atleta para mantener una alta velocidad el mayor tiempo posible, a pesar de la fatiga y la acidosis metabólica que se genera en los músculos

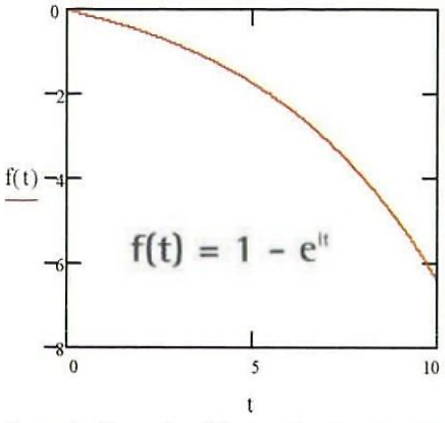
A mathematical model of the 100 m and what it means

Kevin Prendergast

New Studies in Athletics, 16(3), 31-36 2001

FASE DE DESACELERACIÓN

RESISTENCIA A LA VELOCIDAD



La última parte de una carrera de 100 m presenta una ligera caída de la velocidad desaceleración

Existe una función exponencial que modela este comportamiento

Comienza con un ligero descenso en *t = 0*, y el descenso se acelera rápidamente a medida que *t* aumenta

Es la primera parte, es decir, el ligero descenso inicial, la que se utiliza para modelar el final de los 100 m. La función es



The energy used in" sprint" running

Furusawa, K., Hill, A. V., & Parkinson, J. L.

Proceedings of the Royal Society of London.

Series B, Containing Papers of a Biological Character, 102(713), 43-50. 1927.

Artículo pionero en mostrar que la pérdida de velocidad en el sprint es un fenómeno inevitable ligado al agotamiento energético y la fatiga muscular

La reducción se atribuye principalmente a la fatiga muscular y al agotamiento de reservas energéticas inmediatas (ATP-Fosfágeno)

Señalan también que la producción de energía anaeróbica no puede sostener la potencia requerida para mantener la velocidad máxima

Evolución de la Velocidad (yardas/seg)

Yards :	30	50	70	90	110	130	150	170	190	Decrease, per cent. of maximum.
H.A.R.	10·90	11·14	11·46	11·37	11·04	10·78	10·50	10·16	9·85	14
C.M.W.	10·26	10·35	10·30	10·15	9·98	9·52	9·25	9·06	8·77	15
O.	9·8	9·85	9·2	9·6	9·5	9·1	8·7	8·6	8·8	10
C.	9·4	9·7	9·7	9·5	9·5	9·2	9·0	8·7	8·5	12
S.	9·2	9·4	9·5	9·7	8·9	8·5	8·9	8·6	8·4	13
Ch.	9·3	9·5	9·35	9·25	9·15	9·0	8·4	8·2	7·8	18
B.	9·1	9·0	9·1	8·4	9·0	8·8	8·6	8·6	8·7	4½
P.	8·8	8·9	8·9	9·05	8·95	8·8	8·8	8·6	8·5	6
H.	8·7	8·85	8·75	8·65	8·5	8·25	8·0	7·75	7·35	17
F.	7·25	6·8	7·3	6·8	6·6	6·4	6·3	6·1	6·0	18
	9·26	9·35	9·36	9·24	9·11	8·83	8·64	8·44	8·26	12%

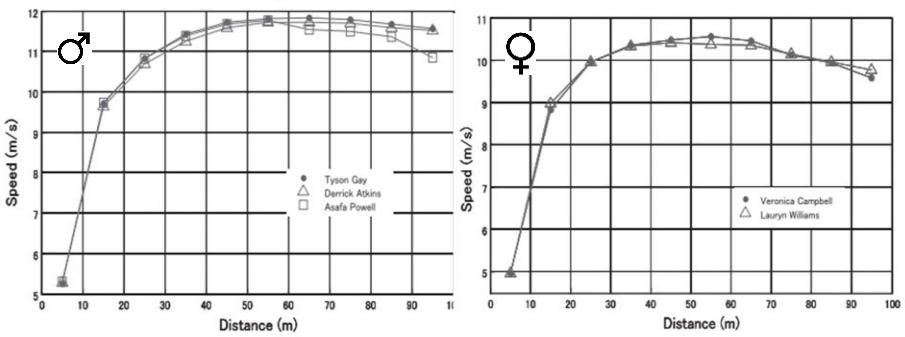
Analysis of speed patterns in 100-m sprints
Matsuo A, Tsuchie H, Yanagiya T, Hirokawa R, Sugita M. & Ae M.
Bulletin of Studies in Athletics of JAAF, 5,97-101. 2009.

11th IAAF Athletics Championships in Osaka 2007

Pérdida de Velocidad fue del rango del 2%-3% (H: 101 – M: 106)

El % de disminución de velocidad fue del 2,2 % en Gay y del 8,1 % en Powell

Con el mismo tiempo, Campbell derrotó a Williams y alcanzó una velocidad máxima de 10,56 m/s en la distancia de 50 a 60 m; sin embargo, a partir de este punto, su velocidad disminuyó



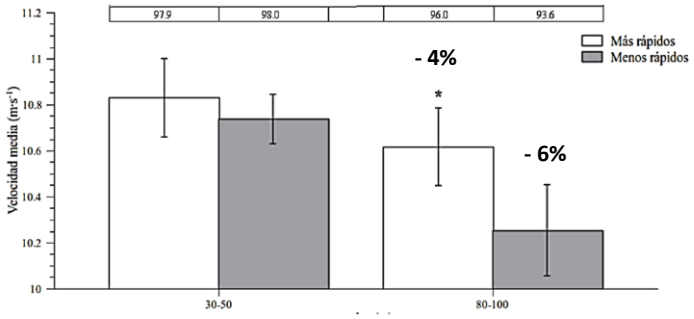
Análisis del rendimiento en competición entre corredores de 100 metros lisos de diferente nivel
Pablo Floría Martín & Amelia Ferro Sánchez
RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte, *7*(26), 408-416. 2011.

MUESTRA:

14 Finalistas Campeonatos España (10.44 ± 0.13 s vs 10.68 ± 0.09 s; p = 0.002)

Se estima que la PÉRDIDA DE VELOCIDAD en el último tamo de una carrera de 100 m es, en velocistas de categoría mundial del 2% a 7%

Velocidades medias (m/s) en los tramos de aceleración y deceleración



Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres
Krzysztof Mackala
New Studies in Athletics, 22(2), 7-16. 2007.

Descriptive statistic (T100: 11.18)	Group A (distance in m) 0-20	20-40	40-60	60-80	90	100
Value of change in velocity (m/s)	7.35	(+) 2.13	(+) 0.16	(-) 0.15	(-) 0.12	(-) 0.04
Share of change in velocity (%)	-	(+) 29	(+) 2.0	(-) 1.5	(-) 1.5	(-) 0.43
Value of change in stride length (cm)	179.6	(+) 39.4	(+) 6.0	(-) 0.7	(+) 0.5	(+) 4.4
Share of change in stride length (%)	-	(+) 21.9	(+) 2.7	(-) 0.3	(+) 0.2	(+) 1.95
Value of change in stride frequency (Hz)	4.035	(+)0.274	(-) 0.016	(-) 0.049	(-) 0.067	(-) 0.11
Share of change in stride frequency (%)	-	(+) 6.8	(-) 0.37	(-) 0.15	(-) 0.6	(-) 2.6

Descriptive statistic (T100: 9.915)	Group B (distance in m) 0-20	20-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-100
Value of change in velocity (m/s)	9.38	(+)3.68	(+)0.49	(-)0.07	(+)0.05	(+)0.17	(-)0.48
Share of change in velocity (%)	-	(+) 18	(+) 4.4	(-) 0.6	(+) 0.4	(+) 1.5	(-) 4.1
Value of change in stride length (cm)	164	(+) 79	(+) 5	(-) 8	(+) 3	(+) 13	(-)2.5
Share of change in stride length (%)	-	(+)48.1	(+) 2	(-) 3.2	(+) 1.2	(+) 5.3	(-)0.98
Value of change in stride frequency (Hz)	4.31	(+)0.25	(+)0.11	(+)0.13	(-) 0.5	(-)0.18	(-)0.15
Share of change in stride frequency (%)	-	(+) 5.8	(+)2.41	(+) 2.8	(-) 1.1	(-) 3.8	(-) 3.3

(+) increase, (-) decrease

Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres
Krzysztof Mackala
New Studies in Athletics, 22(2), 7-16. 2007.

La fase final de la carrera es determinante para el resultado final, porque los atletas que mejor resisten la caída de velocidad (menor pérdida respecto a su pico) suelen ganar, incluso si no tienen la velocidad máxima más alta

GRUPO A (T100: 11.18)

- **Entre 60-80 m, los velocistas del redujeron velocidad máxima con ligeras disminuciones en FZ y LZ.**
- **A 90 m, velocidad disminuye ≈1,3 % (0,12 m/s)**
- **A 100 m caída del 0,43 % (0,04 m/s)**
- **Desaceleración al final se debió a disminución significativa de FZ**
- **LZ aumento en el tramo final**



GRUPO B (8 finalistas IAAF World Championships in Athletics de Tokyo 1991)

- **Caída de velocidad en últimos 20m de carrera**
- **Disminución significativa de velocidad de ≈0,48 m/s (4% respecto tramo 70-80 m)**
- **Esto se debe a disminución significativa en FZ (3,3%) y LZ (1%)**
- **En últimos 10m, la Velocidad fue ligeramente mayor (11,24 m/s)**
- **LZ aumentó ligeramente entre 80-90 m**

Changes in step characteristics between the maximum velocity and deceleration phases of the 100-meter sprint run
Bezodis, I. N., Irwin, G., Kuntze, G., & Kerwin, D. G.
Portuguese Journal of Sport Sciences 11 (Suppl. 2), 455-458. 2011

MUESTRA: 9 atletas experimentados, desde universitarios hasta nacionales (Edad: 20,6 ± 2,8 años; Estatura; 1,80 ± 0,07 m; PC: 77,3 ± 11,3 kg)

En fase de desaceleración en 100 m, se pierde velocidad por disminución en FZ

Los análisis individuales sugieren que los velocistas más rápidos lograron mantener su velocidad combinando una disminución relativamente significativa en la FZ con aumento en la LZ

Athlete	Step Frequency [Hz]			Step Length [m]			Step Velocity [m/s]		
	30-40 m	70-80 m	% Diff.	30-40 m	70-80 m	% Diff.	30-40 m	70-80 m	% Diff.
1	4.86	4.72	-2.8	1.91	1.84	-3.7*	9.28	8.68	-6.4*
2	4.06	3.81	-6.1*	2.44	2.56	4.6*	9.91	9.74	-1.7
3	4.19	4.09	-2.3*	2.18	2.19	0.6	9.13	8.97	-1.7*
4	4.21	4.13	-2.0*	2.13	2.14	0.6	8.96	8.83	-1.4*
5	4.28	4.25	-0.6	2.14	2.13	-0.5	9.16	9.06	-1.1*
6	4.43	4.28	-3.5*	2.25	2.31	3.0*	9.96	9.89	-0.7
7	4.57	4.41	-3.4*	1.98	1.98	0.0	9.04	8.73	-3.4*
8	4.80	4.48	-6.5*	2.01	2.05	2.4*	9.63	9.21	-4.3
9	4.24	4.12	-2.9*	2.29	2.28	-0.6	9.72	9.38	-3.5*
Mean	4.40	4.25	-3.4*	2.15	2.17	0.8	9.42	9.17	-2.7*

Influencia de la Fase de Carrera en la Longitud y Frecuencia del Paso

Changes in Step Characteristics between the Maximum Velocity and Deceleration Phases of the 100 Metre Sprint Run
Bezodis, I.N., Irwin G.I., Kuntze, G. & Kerwin, D.G.
In ISBS-Conference Proceedings Archive. Vilas-Boas, 2011.

En la fase de desaceleración, los atletas pierden velocidad debido a disminución en la FZ

Los velocistas más rápidos lograron mantener su velocidad combinando una disminución relativamente significativa en la FZ con aumento en la LZ

Athlete	Step Frequency [Hz]			Step Length [m]			Step Velocity [m/s]		
	30-40 m	70-80 m	% Diff.	30-40 m	70-80 m	% Diff.	30-40 m	70-80 m	% Diff.
1	4.86	4.72	-2.8	1.91	1.84	-3.7*	9.28	8.68	-6.4*
2	4.06	3.81	-6.1*	2.44	2.56	4.6*	9.91	9.74	-1.7
3	4.19	4.09	-2.3*	2.18	2.19	0.6	9.13	8.97	-1.7*
4	4.21	4.13	-2.0*	2.13	2.14	0.6	8.96	8.83	-1.4*
5	4.28	4.25	-0.6	2.14	2.13	-0.5	9.16	9.06	-1.1*
6	4.43	4.28	-3.5*	2.25	2.31	3.0*	9.96	9.89	-0.7
7	4.57	4.41	-3.4*	1.98	1.98	0.0	9.04	8.73	-3.4*
8	4.80	4.48	-6.5*	2.01	2.05	2.4*	9.63	9.21	-4.3
9	4.24	4.12	-2.9*	2.29	2.28	-0.6	9.72	9.38	-3.5*
Mean	4.40	4.25	-3.4*	2.15	2.17	0.8	9.42	9.17	-2.7*

(= p <0.05)*

Analyzing the Olympic 100-meter sprints
Pierre-Jean Vazel
https://www.hmmrmedia.com/2021/10/tokyo-sprint-analysis/2021.

ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE VELOCIDAD EN ATLETAS ÉLITE

TABLA MUESTRA
Longitud de Paso (LS) y Frecuencia de Paso (FS)
durante el punto de Máxima Velocidad y 2,5" después

	Thompson-H		Kambundji		Del Ponte		Fraser-Pryce		Ta Lou	
	MaxV	SE	MaxV	SE	MaxV	SE	MaxV	SE	MaxV	SE
Speed (m/s)	10.85	10.62	10.45	10.17	10.50	10.20	10.75	10.38	10.55	10.19
% loss	-2.1		-2.7		-2.9		-3.4		-3.4	
SL (m)	2.20	2.23	2.11	2.14	2.18	2.22	2.14	2.17	2.19	2.18
SF (s/s)	4.94	4.76	4.95	4.76	4.82	4.59	5.03	4.79	4.81	4.67

FZ se reduce debido a TC más largos, como resultado de la fatiga neuromuscular y porque una menor fuerza aplicada se compensa con una mayor aplicación de fuerza en el suelo durante el impulso.

El cambio de LZ es individual; generalmente se mantiene o incrementa ligeramente, pero este incremento nunca compensa la pérdida de FZ, como en el caso de Thompson-Herah y Kambundji.

Fraser-Pryce experimentó una pérdida drástica de velocidad en la final de Tokio (10.73"), y es interesante que logró su mejor Mmm (10.60") manteniendo LZ mientras disminuía ligeramente FZ.

The role of propulsive force deterioration in the deceleration phase of elite sprinting
Mark J. Connick
Journal of Science and Medicine in Sport. 28(8), 676-682. 2025.

Sexo	P	Tiempo Vmax (s)	Distancia Vmax (m)	Tiempo (s)	Velocidad Media (m/s)	Vmax. (m/s)	V final (m/s)	Desaceleración (m/s^2)
Hombres	100	6.44 (0.59)	59.0 (6.89)	10.1 (0.14)	9.94 (0.14)	11.15 (0.21)	11.20 (0.30)	**0.086 (0.041)**
	200	6.71 (0.34)	58.9 (3.36)	20.4 (0.42)	9.83 (0.20)	11.0 (0.25)	9.68 (0.35)	**0.095 (0.027)**
	400	6.78 (0.56)	55.5 (4.45)	45.3 (0.49)	8.84 (0.10)	10.1 (0.17)	8.11 (0.22)	**0.051 (0.009)**
Mujeres	100	6.20 (0.32)	50.7 (3.63)	11.1 (0.23)	9.02 (0.19)	10.30 (0.26)	9.99 (0.30)	**0.066 (0.175)**
	200	6.42 (0.30)	50.8 (2.46)	22.7 (0.51)	8.90 (0.20)	9.91 (0.22)	9.99 (0.30)	**0.080 (0.011)**
	400	6.65 (0.52)	48.7 (3.82)	51.3 (0.94)	7.78 (0.14)	8.97 (0.22)	7.30 (0.15)	**0.038 (0.001)**

The role of propulsive force deterioration in the deceleration phase of elite sprinting
Mark J. Connick
Journal of Science and Medicine in Sport. 28(8), 676-682. 2025.

DESACELERACIÓN de los Velocistas Élite está estrechamente ligada a cuánto se deteriora su capacidad propulsiva a lo largo de la carrera

Quienes deterioran menos esa fuerza frenan menos y llegan más rápido

Al pasar de 100 a 200 y a 400 m se observa MENOR PFD (junto con menor Vmax y Vfinish), lo que sugiere en 400 m una estrategia de ritmo para reducir el coste energético anaeróbico y, en 200 m, posibles efectos biomecánicos de la curva.

Sex	Event	V_{max} time (s)	F (N/kg)	τ (s)	PFD rate (N/kg/s)
Men	100 m	6.44 (0.59)	7.99 (0.3)	1.57 (0.1)	0.046 (0.019)
	200 m	6.71 (0.34)[a]	7.50 (0.4)[a]	1.58 (0.1)	0.035 (0.009)[a]
	400 m	6.78 (0.56)[a]	7.58 (0.9)[a]	1.41 (0.2)[a,b]	0.022 (0.003)[a,b]
Women	100 m	6.20 (0.32)	7.25 (0.25)	1.56 (0.08)	0.045 (0.001)
	200 m	6.42 (0.3)[a]	6.98 (0.43)[a]	1.54 (0.10)	0.035 (0.004)[a]
	400 m	6.65 (0.52)[a,b]	6.96 (0.67)[a]	1.36 (0.15)[a,b]	0.019 (0.003)[a,b]

Alterations of spatiotemporal and ground reaction force variables during decelerated sprinting
Nagahara, R., & Girard, O.
Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 31(3), 586-596. 2021.

FASE DE DESACELERACIÓN

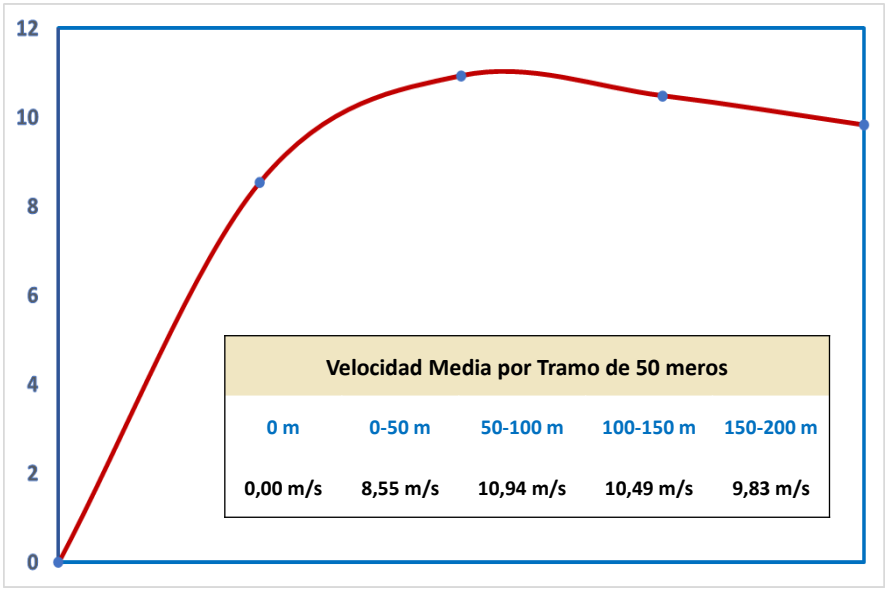
Los sprinters muestran una combinación de menor FZ y LZ junto con pérdida en la magnitud y orientación de las Fuerzas de Reacción en Suelo, lo que se traduce en una caída de la velocidad

FUERZA DE REACCIÓN EN EL SUELO (GRF)

- **Fuerzas Horizontales de Propulsión: que son críticas para mantener la velocidad máxima, disminuyen al final de carrera.**
- **Componente Vertical de Fuerza también se ve reducida, lo que afecta la capacidad de sostener la mecánica de la zancada.**
- **Tiempo de Aplicación de Fuerza se prolonga (mayor TC), pero sin un aumento proporcional en la fuerza generada**
  - **Esto indica ineficiencia mecánica por efecto de la fatiga.**

Capacidad de generar Impulsos Efectivos (fuerza × tiempo) se deteriora progresivamente hasta el final de la carrera

VELOCIDAD MEDIA (m/s) EN 200 METROS
POR TRAMOS DE 50 METROS



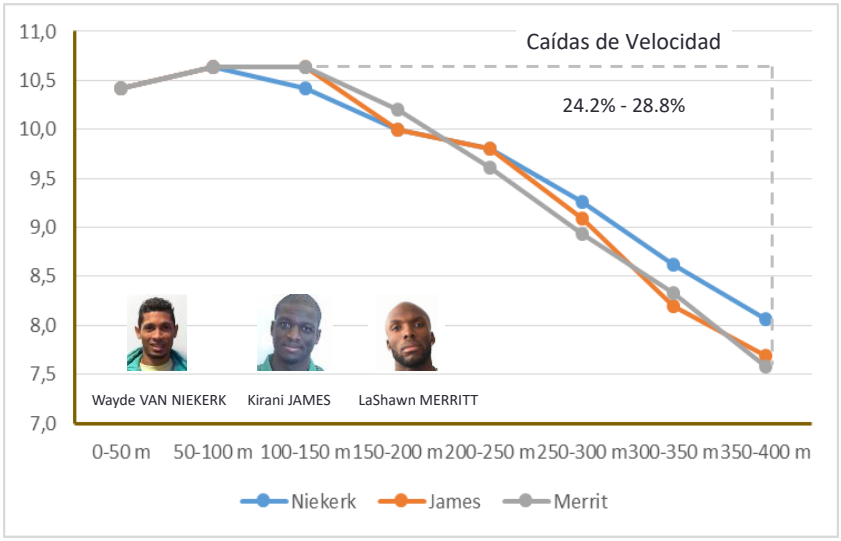
Biomechanical Analysis of the Sprint and Hurdles Events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics
Rolf Graubner & Eberhard Nixdorf
New Studies in Athletics, ½, 19-53. 2011

	Result	0-50m	50-100m	100-150m	150-200m
Bolt	19.19	5.60	4.32	4.52	4.75
Edward	19.81	5.88	4.49	4.63	4.81
Spearmon	19.85	5.89	4.53	4.64	4.79
Crawford	19.89	5.73	4.42	4.65	5.09
Mullings	19.98	5.70	4.50	4.73	5.05
Clark	20.27	5.84	4.60	4.76	5.07
Guliyev	20.28	5.85	4.58	4.78	5.07
Alerte	20.45	5.94	4.66	4.80	5.05

	0-50m	50-100m	100-150m	150-200m
Bolt	8.93	11.57	11.06	10.53
Edward	8.50	11.14	10.80	10.40
Spearmon	8.49	11.04	10.78	10.44
Crawford	8.73	11.31	10.75	9.82
Mullings	8.77	11.11	10.57	9.90
Clark	8.56	10.87	10.50	9.86
Guliyev	8.55	10.92	10.46	9.86
Alerte	8.42	10.73	10.42	9.90

	Number of strides	0-50m		50-100m		100-150m		150-200m	
		SL	SF	SL	SF	SL	SF	SL	SF
Bolt	79.88	2.14	4.17	2.61	4.43	2.66	4.16	2.69	3.91

COMPORTAMIENTO TÁCTICO – 400 m



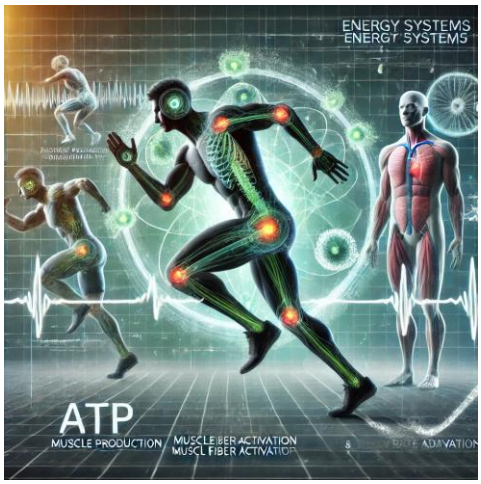
Índice de Resistencia a la Velocidad
J. Blanco
Revista Cubana de Medicina Deportiva 1, 32-34. 1987

IRV se determina haciendo correr al atleta en tapiz rodante comenzando a una velocidad de 15 km/h con incrementos de 2 km/h hasta el agotamiento

Se considera: Velocidad Media, Frecuencia Cardiaca, Consumo de Oxígeno (ml/kg/min), Tiempo de Trabajo y Lactato en Sangre (mmol/l)

$$IRV = \frac{VO2 \; x \; Vmedia \; x \; Tiempo \; de \; Trabajo}{Lactato \; x \; FC}$$

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LOS VELOCISTAS



COSTO ENERGÉTICO PARA DIFERENTES DISTANCIAS DE SPRINT

(N.I. VOLKOV)

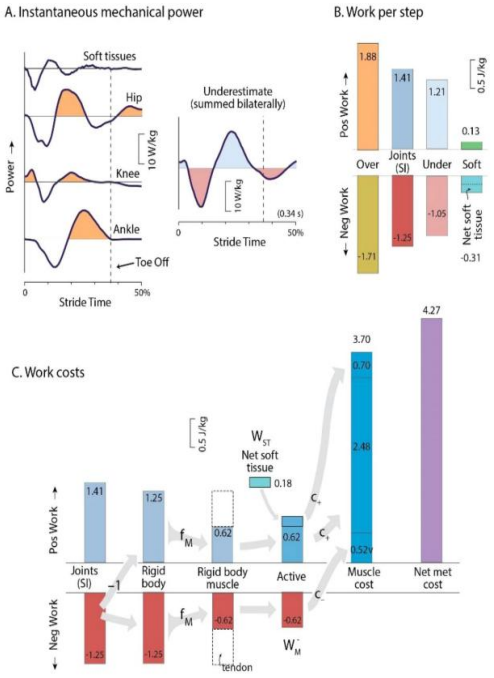
El Gasto Energético en100 m solo supera el de 200 m en un 40%
El mayor Gasto Energético se observa en la aceleración inicial que, en términos de energía, representa más del 50% del costo total

Mantener una alta velocidad de carrera desde el punto de vista energético no es un problema lo suficientemente significativo, ya que, para mantener la inercia del movimiento, es necesario invertir en superar la resistencia del aire, mover el cuerpo en cada fase del vuelo, así como en trabajo interno: acelerar y detener la pierna y los brazos en movimiento, y mantener una postura óptima.

La disminución de la velocidad se explica por la caídade reservas Glucógeno, PCr y ATP y la acumulación de ácido láctico. Un aumento significativo de La^+ conduce a la movilización de mecanismos de protección, cuya actividad se manifiesta en la alteración de la coordinación de movimientos y debilidad muscular

Энергообеспечение	100 м	200 м	400 м
Общие затраты энергии (кал/кг)	256.3	358.3	591.3
Затраты энергии в аэробном процессе (%)	3.7	8.5	19.1
Затраты энергии в алактатно-анаэробном процессе (%)	35.7	31.4	26.1
Затраты энергии в гликолитическом анаэробном процессе (%)	60.0	60.1	54.8

Durante la actividad muscular intensa, los procesos de suministro de energía no actúan como mecanismos de activación secuencial, donde al agotarse una fuente de energía se activa otra, sino como sistemas de funcionamiento acumulativo con valores en constante cambio



Mechanical work accounts for most of the energetic cost in human running
Riddick, R. C., & Kuo, A. D.
Scientific Reports, 12(1), 645. 2022.

Contribuciones del Trabajo Mecánico al Gasto Energético Metabólico

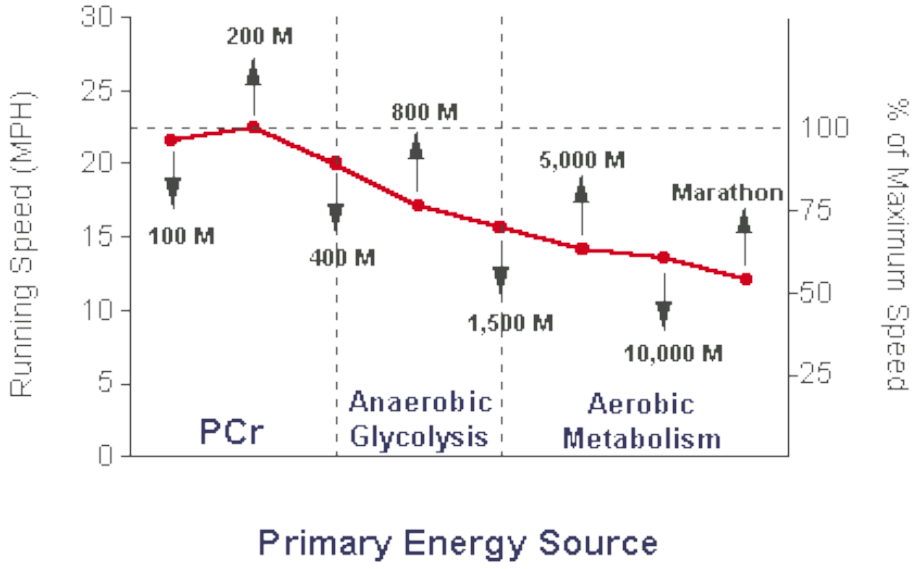
(V: 3,10 m/s, PC: 70,8 kg, L-pierna = 0,89 m)

(A) Potencia mecánica instantánea: articulaciones (tobillo, rodilla y cadera) y derivada de deformaciones de tejidos blandos, a lo largo de media zancada. También muestra suma de potencias articulares a ambos lados del cuerpo.

(B) Medidas del trabajo por paso: El trabajo positivo (negativo) se refiere a intervalos integrados de potencia positiva (negativa).

(C) Costes de trabajo: ilustran las contribuciones a los costes metabólicos. La magnitud del trabajo negativo ipsilateral sumado se considera una estimación del trabajo positivo y negativo realizado sobre segmentos rígidos del cuerpo.

Dependencia Energética *vs.* Velocidad *vs.* Distancia



ENERGÍA CONSUMIDA EN PRUEBAS DE VELOCIDAD (100 -200 – 400 METROS)

Percentuali di lavoro aerobico, di lavoro anaerobico lattacido e di lavoro anaerobico alattacido nelle prove di corsa piana dell'atlettica leggera

Enrico Arcelli (1940-2015)

Atletica Leggera, 204, 37-42. 1976.

Distancia (metros)	Tiempo (seg)	Velocidad (k/h)	Energía Total Consumida (ml/kg)	Solicitación Energética (ml/kg/min)
100 mts	10.0	36.000	**30.3 ml/kg**	181.5 ml/kg/min
	10.6	33.962	**28.7 ml/kg**	162.4 ml/kg/min
200 mts	20.0	36.000	**51.3 ml/kg**	153.9 ml/kg/min
	21.2	33.962	**49.5 ml/kg**	140.0 ml/kg/min
400 mts	45.0	32.000	**89.9 ml/kg**	119.8 ml/kg/min
	48.0	30.000	**87.5 ml/kg**	109.1 ml/kg/min

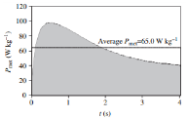
Energía Total (ml/kg) = 175d + 0.037dv² + 0.0046v²

Sprint running: a new energetic approach

Di Prampero, P. E., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J. B., Belli, A., & Antonutto, G.

Journal of Experimental Biology, 208(14), 2809-2816. 2005.

La performance no depende solo de la biomecánica de zancada, sino también de la gestión del costo energético total, el balance entre potencia generada y pérdidas mecánicas, y las contribuciones de los diferentes sistemas metabólicos



Costo energético del sprint

- Se cuantifica el gasto energético asociado a la aceleración y a la resistencia aerodinámica (viento y fricción).
- El sprint se entiende como una interacción entre la producción de potencia muscular y la pérdida de energía por resistencias externas.

- **Contribución de las vías metabólicas**
  - **Anaeróbica aláctica (ATP-PCr):** predominante en la salida y fase de aceleración.
  - **Anaeróbica láctica (glucólisis):** relevante en la fase intermedia y final, contribuyendo a la fatiga.
  - **Aeróbica**: pequeña pero no despreciable, incluso en carreras cortas.

FACTORES BÁSICOS LIMITANTES DE LA RMCD (>8”-30”) - I

- **NIVELES DE FUERZA DE BASE Y FUERZA ESPECIAL**
  - Puesta en acción y resto de la prueba:
    - Ejemplo para la carrera:
      - Bajos niveles fuerza reactiva y/o explosiva
  - Alteraciones en la Bomba Na^+- K^+



- **EFICIENCIA DE GESTOS TÉCNICOS**
  - Carencias coordinativas ⇒ Deficiencias técnicas
  - Carencias rítmicas en los deportes cíclicos
- **CANTIDAD E HIPERTROFIA DE FIBRAS TIPO II (IIx)**

FACTORES ESPECÍFICOS LIMITANTES DE LA RMCD (>8”-30”) - II

- **DEPÓSITOS DE FOSFÁGENOS (ATP Y PCr)**
  - **Ayuda: Ingesta de Creatina**
  - **Calentamiento demasiado alejado o próximo a la actividad**
- **VELOCIDAD DE DEPLECIÓN FOSFÁGENOS:**

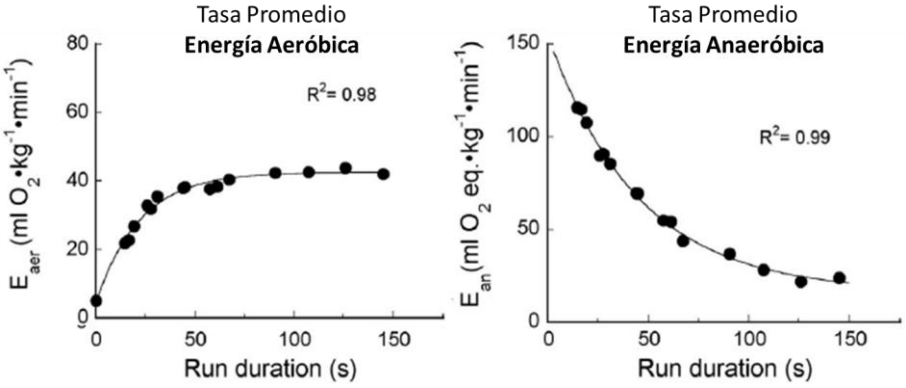
  ATP ↔ ADP – CrP → Cr + Pi → ADP + Pi
  - **Limitada actividad enzimática:**

    Miosina ATPasa; Mioquinasa; Creatinquinasas
- **RECURACIÓN DE FOSFÁGENOS (NUCLEÓTIDOS DE ADENINA)**
  - **Ciclo de las Purinas deficiente**
  - **Bajos niveles de CrP**
    - **Baja eficiencia del mecanismo *shuttle* del CrP (CK-Mi)**
- **EFICIENCIA GLUCOLÍTICA (Glucógeno ⇒ Ácido Pirúvico ⇒ Lactato)**
  - **Baja capacidad enzimática:**
  - **HK, PFK, Piruvatokinasa, $LDH_{4,5}$, etc.**



Energetics of high-speed running:
integrating classical theory and contemporary observations
Peter G. Weyand & Matthew W. Bundle
American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology
288, R956–R965, 2005.

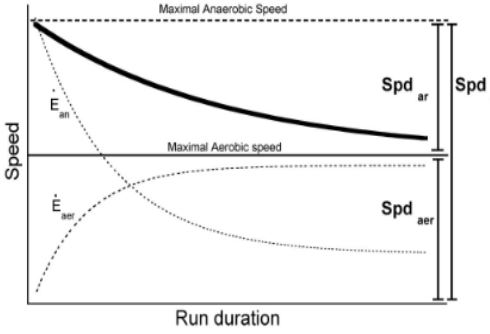
En carreras a máxima velocidad de cualquier duración (5" a 150",
las Potencias Anaeróbica y Potencia Aeróbica fueron prácticamente las mismas
para los Velocistas, Corredores de Media Distancia y de Larga Distancia



Energetics of high-speed running:
integrating classical theory and contemporary observations.
Weyand, P. G., & Bundle, M. W.
American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology
288(4), R956-R965. 2005.

Con aumento de la duración de prueba, las disminuciones en la
Potencia Anaeróbica disponible superan aumentos en Potencia Aeróbica

En consecuencia, tanto la potencia metabólica total disponible como las velocidades máximas de carrera soportadas disminuyen a medida que aumenta la duración de la prueba



Líneas horizontales representan velocidades máximas soportadas por la potencia anaeróbica (Spdan) y aeróbica (Spdaer), mientras que la diferencia entre estas dos velocidades (Spd an Spd aer) es la reserva de velocidad anaeróbica del corredor (Spdar) Las curvas descendentes y ascendentes, representan las tendencias en la potencia metabólica proporcionada por las fuentes de energía anaeróbica (E˙an) y aeróbica (E˙aer)

Quantifying metabolic energy contributions in sprint running: a novel bioenergetic model.
Briand, J., di Prampero, P. E., Osgnach, C., Thibault, G., & Tremblay, J.
European Journal of Applied Physiology, 1-21.2025.

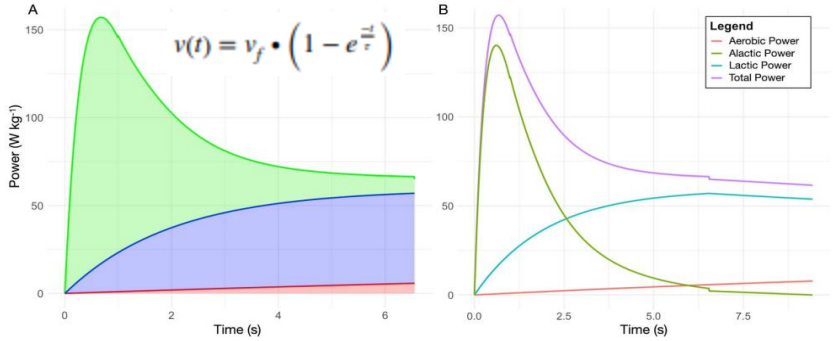
Capacidad anaeróbica aláctica máxima: 376 J/kg (H) & 259 J/kg (M)

Capacidad anaeróbica láctica máxima: 1314 J/kg (H) & 1194 J/k1 (M)

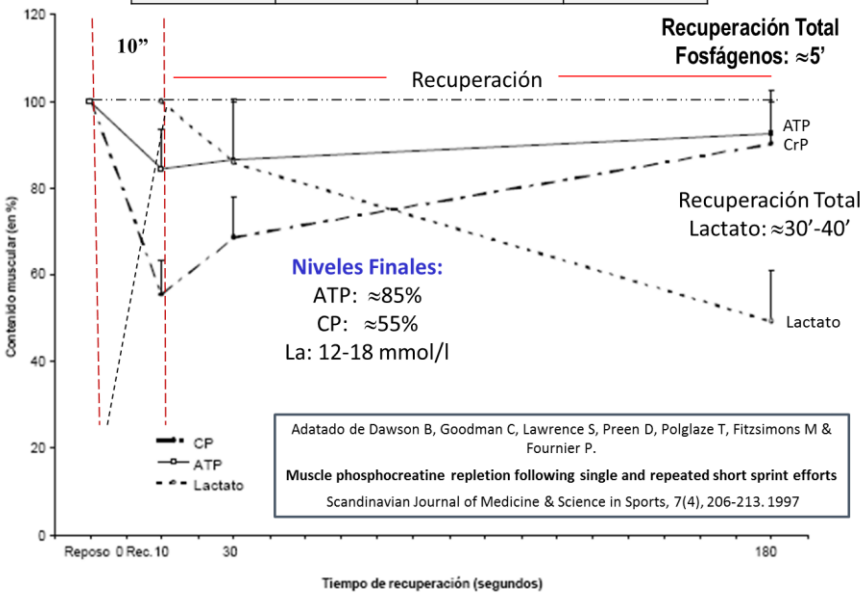
Las simulaciones revelaron errores absolutos medios de 0,31% (H) y 1,63% (M)

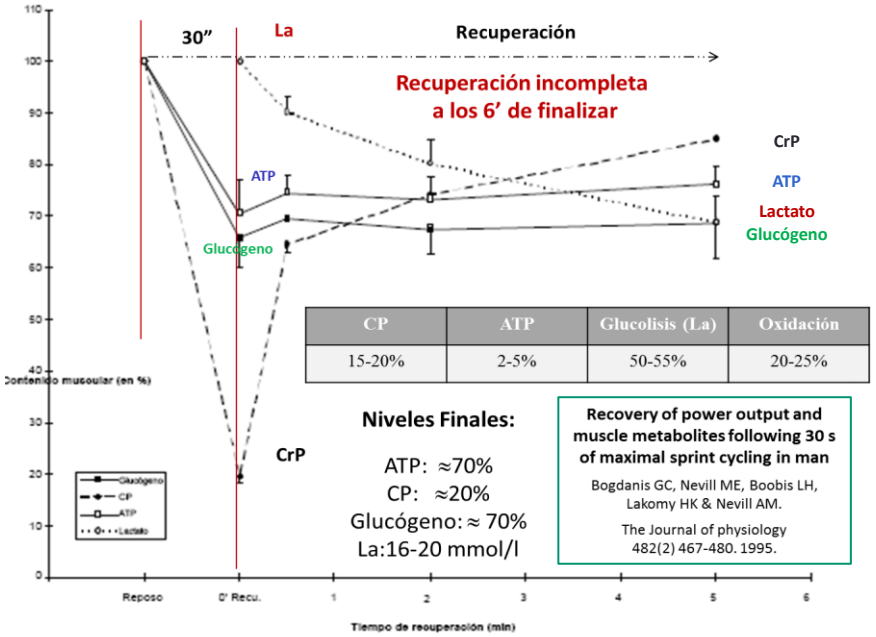
Los mayores errores en las mujeres probablemente se deban a una subestimación de la contribución anaeróbica láctica debido a la limitada disponibilidad de datos

Velocidad y Tiempos Parciales del Campeonato Mundial de Atletismo de 2009



CP	ATP	Glucolisis (La)	Oxidación
40-45%	6-8%	40-45%	5-10%





CP	ATP	Glucolisis (La)	Oxidación
15-20%	2-5%	50-55%	20-25%

Niveles Finales:

ATP: ≈70%
CP: ≈20%
Glucógeno: ≈ 70%
La:16-20 mmol/l

Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man

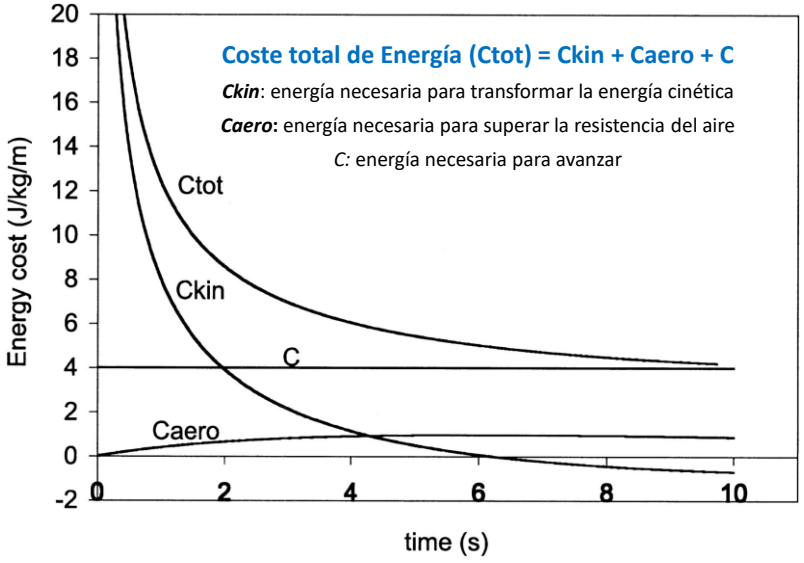
Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK & Nevill AM.

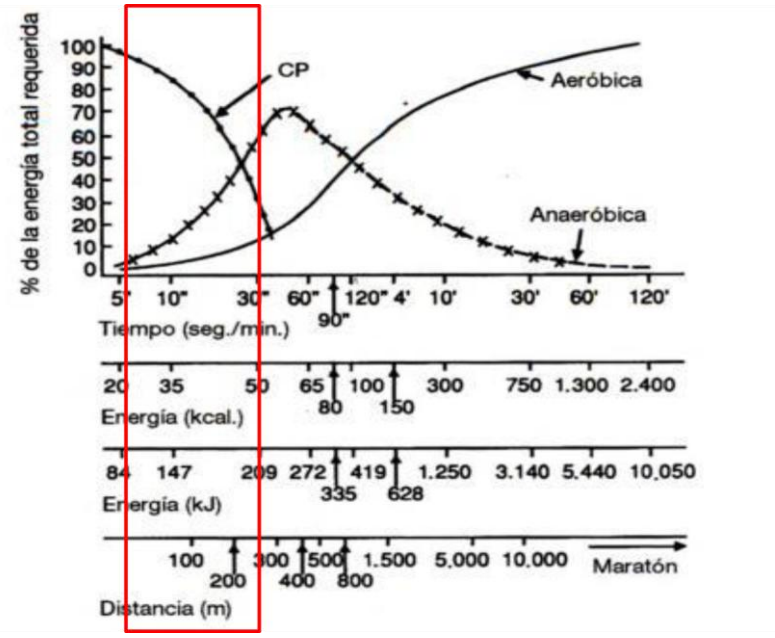
The Journal of physiology 482(2) 467-480. 1995.

Modeling the energetics of 100-m running by using speed curves of world champions

Laurent E. Arsac & Elio Locatelli

Journal of Applied Physiology, 92(5), 1781-1788. 2002.





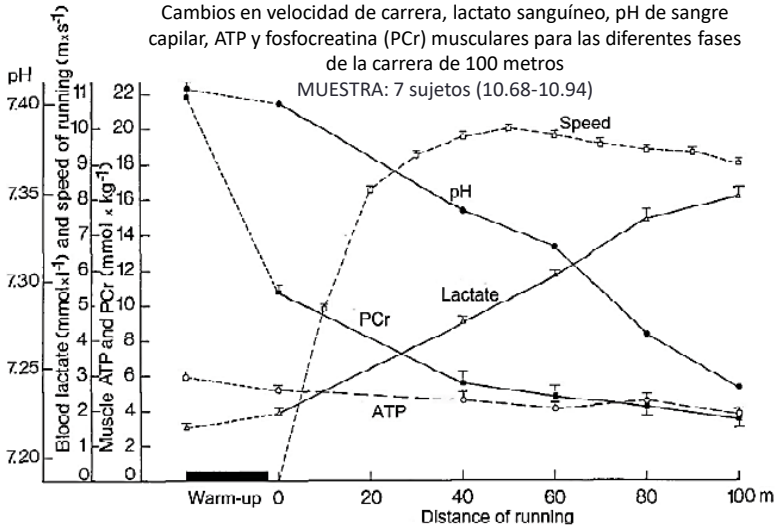
Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise

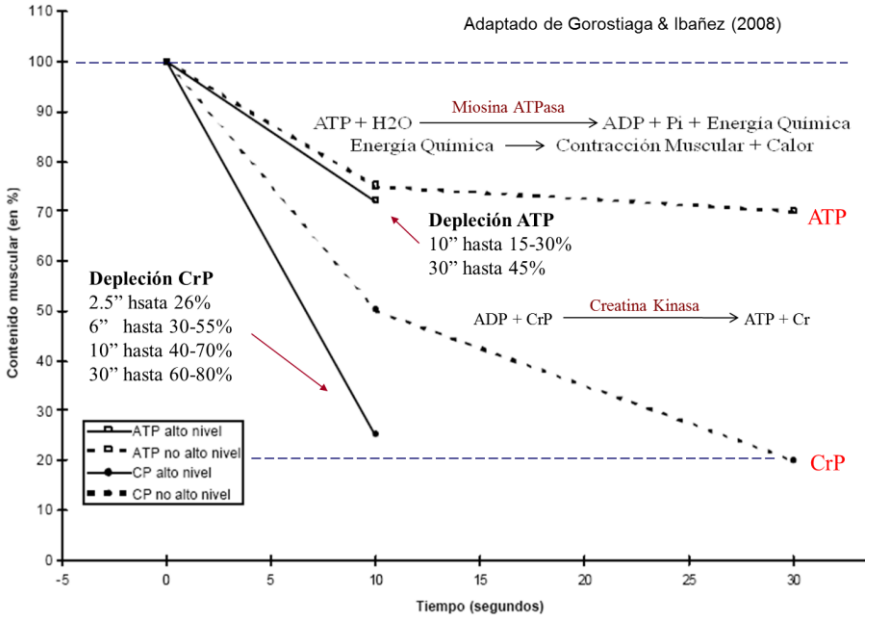
Hirvonen J, Rehunen S, Rusko H & Harkonen M

European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology 56 (3), 253-259. 1987.

Cambios en velocidad de carrera, lactato sanguíneo, pH de sangre capilar, ATP y fosfocreatina (PCr) musculares para las diferentes fases de la carrera de 100 metros

MUESTRA: 7 sujetos (10.68-10.94)





COSTE ENERGÉTICO TOTAL Y CONTRIBUCIÓN METABÓLICA
EJEMPLO: CARRERAS DE VELOCIDAD

Coste Energético	100 m	200 m	400 m
	10-15 kcal	18-30 kcal	30-45 kcal

Equivalente calórico para el O_2 = 4.825 kcal/l

Duración (segundos)	Anaeróbico (%)	Aeróbico (%)
0-10"	94%	6%
0-15"	88%	12%
0-20"	82%	18%
0-30"	73%	27%

COSTE ENERGÉTICO TOTAL Y CONTRIBUCIÓN METABÓLICA

Coste Energético	100 m	200 m	400 m
	10-15 kcal	18-30 kcal	30-45 kcal

Equivalente calórico para el O_2 = 4.825 kcal/l





DISTANCIA	SEXO	AERÓBICO - %	ANAERÓBICO - %
100 Metros	Masculino	20.4 ±7,9	79.6 ±7.9
	Femenino	25.0 ± 7.4	75.0 ± 7.4
200 Metros	Masculino	28.4 ± 7.9	71.6 ± 7.9
	Femenino	33.2 ± 8.0	66.8.2 ± 8.0
400 Metros	Masculino	41.3 ± 10.9	58.7 ± 10.9
	Femenino	44.5 ± 7.6	55.5 ± 7.6

Umbral aláctico-láctico en velocistas alactic-lactic threshold in sprinters

Díaz-Peña JC, Nicot G, Pérez-Sarría, R, Rodríguez M & Massip M.

Revista Cubana Medicina Deporte & Cultura Física , 7(3), 1-23. 2012.

Carreras de diferentes distancias a máxima velocidad (Rec. 20').

Umbral aláctico-láctico: Δ 1.5 mMol/L entre serie.

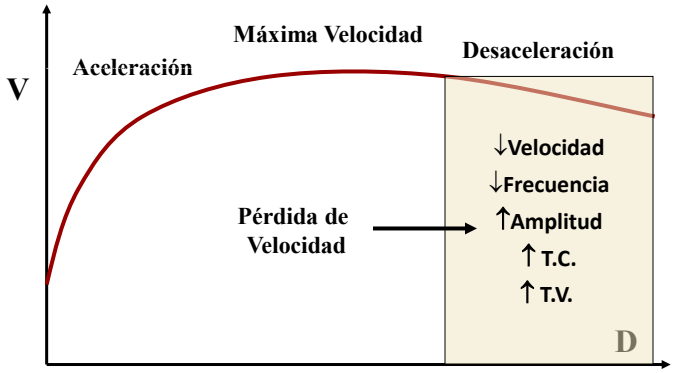
Criterios de Umbral: duración, distancia y/o velocidad :

- Distancia: 30-40 metros (M) y 40-60 metros (H)
- Tiempos: 4,13 segundos (M) y 4,76 segundos (H)
- Mayor incremento en la velocidad fue a 60 metros (H y M)

SEXO	DISTANCIA	VELOCIDAD
Hombres (6)	20 m	2.89" ± 0,11
	30 m	4.13" ± 0,06
	40 m	5.27" ± 0,12
	60 m	7.36" ± 0,14
	80 m	9.63" ± 0,16
Mujeres (3)	20 m	2.67" ± 0,06
	30 m	3.76" ± 0,07
	40 m	4.76" ± 0,10
	60 m	6.58" ± 0,11
	80 m	8.54" ± 0,12

SEXO	DISTANCIA	LACTATO
Mujeres (3)	Calentamiento	3.1 ± 0,8
	20 m	4.9 ± 0,7
	30 m	6.0 ± 1,3
	40 m	7.9 ± 1,0
	60 m	9.5 ± 3,8
	80 m	13.9 ± 0,3
Hombres (6)	Calentamiento	3.2 ± 1,0
	20 m	5.3 ± 0,5
	30 m	6.3 ± 0,7
	40 m	7.3 ± 0,7
	60 m	8.8 ± 2,1
	80 m	10.8 ± 1,2

SEXO	DISTANCIA	Δ LACTATO
Hombres (6)	Calentamiento - 20 m	1.8 ± 0,1
	20 m - 30 m	1.1 ± 0,6
	30 m - 40 m	1.8 ± 0,4
Mujeres (3)	Calentamiento - 20 m	2.1 ± 1,0
	20 m - 30 m	1.0 ± 0,7
	30 m - 40 m	1.0 ± 0,8
	40 m - 60 m	1 .5 ± 0,5



	Anaeróbica Aláctica				Anaeróbica Láctica				Aeróbica			
	60 M	100 M	200 M	100 F	60 M	100 M	200 M	100 F	60 M	100 M	200 M	100 F
Locateli 1996	32.21 %	24.97 %	19.22 %	27.21 %	66.44 %	72.49 %	73.60 %	69.96 %	1.35%	2.54 %	7.18 %	2.83 %
Arzac 1995	--	26.86 %	--	28.88 %	--	70.85 %	--	67.95 %	--	2.29 %	--	3.16 %
Hautier 1994	--	37.00 %	29.00 %	--	--	57.00 %	58.00 %	--	--	6.00%	13.00 %	--

The Mechanics and Energetics of the 100 m Sprint
Elio Locatelli & Laurent Arsac
New Studies in Athletics, 10(1), 81-87. 1995.

COSTE ENERGÉTICO 60 m
Campeonato Italia (1994) - H(♂): 4 – M(♀): 4

ATLETA	T-60 m (Segundos)	LACTATO (J-%)	FOSFÁGENOS (J-%)	OXÍGENO (J-%)	TOTAL (J)
Orlandi	6.68	72.523 72.28%	25.7490 24.71%	2.063 2.13%	**100.335**
Menchini	6.86	68.669 70.38%	26.752 27.42%	2.142 2.20%	**97.563**
Amici	6.74	59.559 70.16%	23.408 27.57%	1.924 2.27%	**84.891**
Levorato	6.72	69.198 70.46%	26.418 26.90%	2.596 2.64%	**98.212**
Ardissone	7.46	35.650 67.12%	15.884 29.91%	1.579 2.97%	**53.113**
Gallina	7.31	38.570 66.53%	17.389 29.99%	2.015 3.48%	**57.974**
Galligani	7.43	50.772 70.72%	18.726 26.08%	2.184 3.04%	**71.795**
Farina	7.36	48.489 66.96%	21.736 30.01%	2.184 3.02%	**72.418**

Energy system contribution to 100-m and 2OO-m track running events

Duffield R., Dawson B. & Goodman C.

Journal of Science and Medicine in Sport, 7, 3, 302-313. 2004.

Event		AOD % aerobic	AOD % anaerobic	La/PCr % aerobic	La/PCr % anaerobic
100-m	Male	20.6 (±7.9) (13-35)	79.4 (±7.9) (65-87)	8.9 (±3.3) (6-14)	91.1* (±3.3) (86-94)
	Female	25.0 (±7.4) (17-33)	75.0 (±7.4) (67-83)	10.9 (±5.8) (6-19)	89.1* (±5.8) (81-94)
200-m	Male	28.4 (±7.9) (17-40)	71.6 (±7.9) (60-83)	20.7 (±8.5) (14-35)	79.3# (±8.5) (65-86)
	Female	33.2 (±8.0) (26-45)	66.8 (±8.0) (55-74)	22.0 (±7.7) (15-28)	78.0 (±7.7) (72-85)

AOD (Accumulated Oxygen Deficit)

Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running

Duffield, R., Dawson, B., & Goodman, C.

Journal of Sports Sciences, 23(3), 299-307. 2005.

Event	AOD % aerobic	AOD % anaerobic	La/PCr % aerobic	La/PCr % anaerobic
400-m				
Male	**41.3** (±10.9) (31 - 60)	**58.7** (±10.9) (40 – 69)	**35.2** (±7.1) (26 – 45)	**64.8** (±7.1) (55 – 74)
Female	**44.5** (±7.6) (31 – 52)	**55.5** (±7.6) (48 – 69)	**37.0** (±6.2) (30 – 45)	**63.0** (±6.2) (54 – 70)

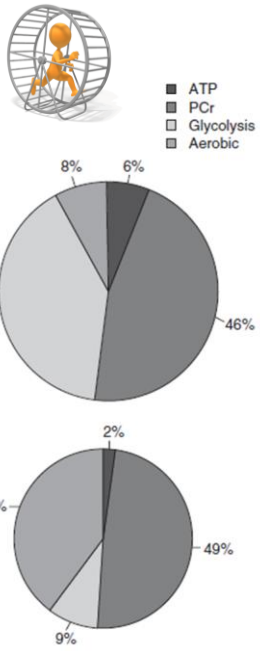
AOD (Accumulated Oxygen Deficit)

Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise

Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH & Brooks S.

Journal Applied Physiology, 75: 712-719. 1993.

10 series en cicloergómetro de 6" con 30" recuperación				
6 x 6 segundos Rec. 30"	Producción ATP mMol / dry muscle		Ratio Producción ATP mMol /dry muscle	
	Serie-1	Serie-10	Serie-1	Serie-10
Total	89,3 ± 13,4	31,6 ± 14,7	14,9 ± 2,2	5,3 ± 2,5
PCr	44,3 ± 4,7	25,3 ± 9,7	7,4 ± 0,8	4,2 ± 1,6
Glucolisis	39,4 ± 9,5	5,1 ± 8,9	6,6 ± 1,6	0,9 ± 1,5



Cambios en el metabolismo durante (a) el primer y (b) el último sprint (10º) de un ejercicio de sprints-repetidos.

Obsérvese que el área de cada círculo representa la energía absoluta usada durante cada sprint (89 *vs*. 32 mMol/dry muscle).

- ATP: Adenosine Triosfato
- PCr: Fosfocreatina

En la 10ª repetición no aumentó la concentración de La^+
Los niveles de La^+ evolucionan paralelamente al incremento de adrenalina plasmática 5.1 ± 1.5 nmol/l tras la 9ª repetición.

Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise

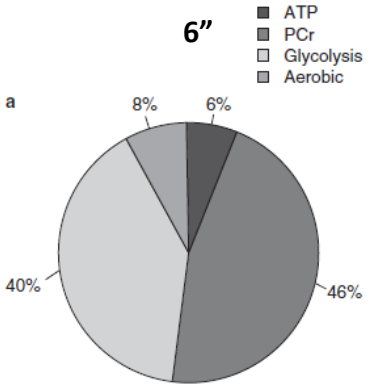
Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH & Brooks S

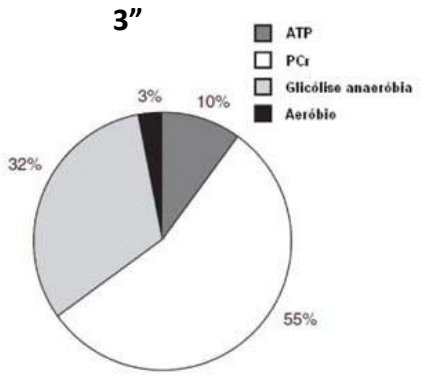
Journal Applied Physiology, 75: 712-719. 1993.

Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports

Spencer M., Bishop D., Dawson B. & Goodman C.

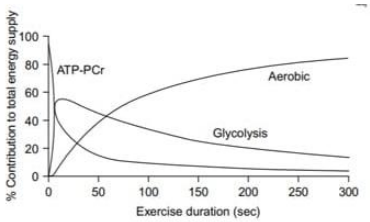
Sports Medicine, 35(12): 1025-1044. 2005.





VÍA ANAERÓBICA ALÁCTICA

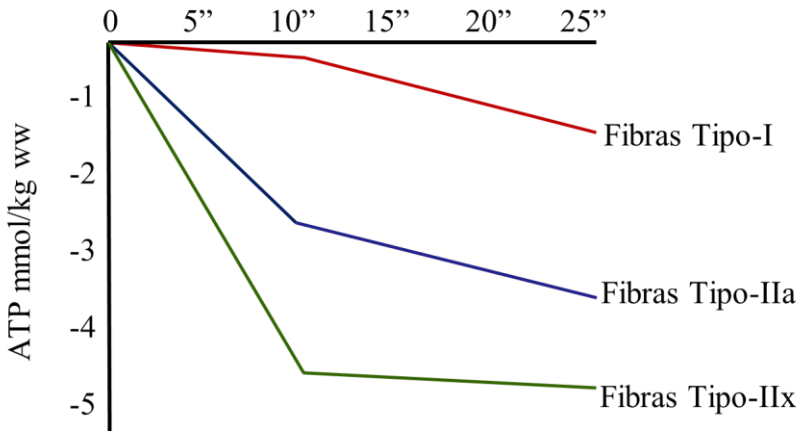






Tiempo	ATP	CrP
VALORES FINALES Y PÉRDIDA DE NIVELES		
30”	96% (↓4%)	85% (↓15%)
60”	92% (↓8%)	65% (↓35%)
90”	88% (↓12%)	50% (↓50%)
120”	84% (↓16%)	40% (↓60%)
150”	80% (↓20%)	20% (↓80%)

DEGRADACIÓN SELECTIVA DE FOSFÁGENOS



Potencial Anaeróbico y Rendimiento

Fosfágenos (ATP + CrP)
ATP: 20-25mmol/kg dry muscle
PCr: 80 mmol/kg dry muscle
≈10 Kcal/mol
≈0.75 mol sujeto 70 Kg
≈7-8 Kcal sujeto 70 Kg (entrenado)

Turnover CrP-ATP ≈9 mmol/kg d.m./seg.

Glucógeno (glucolisis anaeróbica)
300 mmol/kg dry muscle
≈0.26 Kcal/gr glucógeno
≈70 gr sujeto 70 Kg
≈18.0 Kcal sujeto 70 Kg (entrenado)

Turnover ATP ≈5-9 mmol/kg d.m./seg.

CrP
FT: 20-24 mmol/Kg
ST: 12-15 mmol/Kg

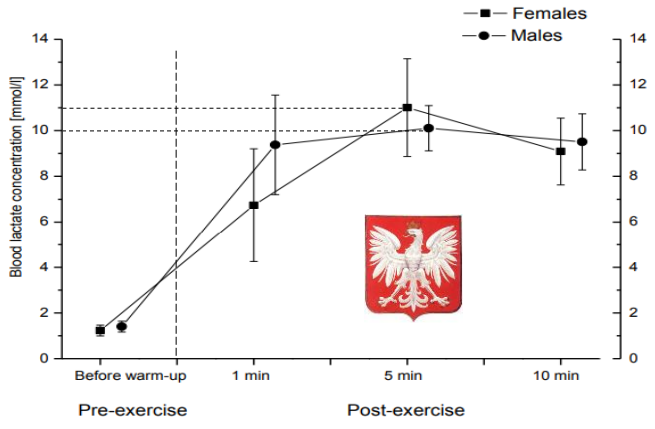
Lactato/Minuto
FT>ST

Reserva de Energía Anaeróbica
≈25-26 Kcal (promedio deportista)
≈0.35 (0.20-0.50) Kcal por Kg
25.0 (14.0-35) Kcal sujeto 70 Kg
Turnover Glucógeno+CrP-ATP ≈15 mmol/kg d.m./seg.

100 m	200 m	400 m	800 m	1000 m
10-15kcal	18-30 kcal	30-45 kcal	60-70 kcal	80-100 kcal

Blood lactate concentrations in elite Polish 100 m sprinters
Kawczyński, A., Kobiałka, K., Dariusz, M., Paweł, C., Adam, M., Adam, Z., & Jan, C. International Journal of Performance Analysis in Sport, 15(1), 391-396. 2015.

Sex	Distance	Group	Personal record [s]	Percentage of European Record [%]	Percentage of World Record [%]
Females	**100m**	**SR (n=8)**	**11.99 ± 0.24**	**89.49**	**87.49**
Males	**100m**	**SR (n=9)**	**10.67 ± 0.10**	**92.40**	**89.78**



Relationships between postcompetition blood lactate concentration and average running velocity over 100-m and 200-m races

Hautier, C. A., Wouassi, D., Arsac, L. M., Bitanga, E., Thiriet, P., & Lacour, J. R.

European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 68(6), 508-513. 1994.

Relaciones entre Glucólisis Anaeróbica *vs*. Velocidad Media durante la carrera de velocidad

MUESTRA: 12 velocistas de nivel nacional de Camerún
(Semifinalistas y Finalistas de los campeonatos nacionales de 100 m y 200 m)

GLUCÓLISIS ANAERÓBICA

Contribuye en, al menos, el **55% del Gasto Energético** que se genera en carreras de velocidad de hasta 200 metros

LACTATO SANGUÍNEO:

100 metros: 8,5 ± 0,8 mmol/l

200 metros: 10,3 ± 0,8 mmol/l

Niveles de lactato no se correlacionan con el rendimiento en ambas distancias

Por encima de los 200 m los niveles de lactato sí correlacionan con la velocidad sostenida durante los últimos 165 metros (r=0,65, P<0,05)

Differences in lactate exchange and removal abilities between high-level African and Caucasian 400-m track runners

Bret C., Lacour J.R., Bourdin M., Locatelli E., De Angelis M., ... & Messonnier, L.

European Journal of Applied Physiology, 113(6), 1489-1498. 2013.

Para niveles de rendimiento similares, la etnia implica diferencias en la acumulación, intercambio y eliminación de lactato

Lactato fue menor en corredores africanos que en caucásicos a los 3' y 5' minutos, no a los 7' de recuperación

Groups	T_{400} (s)	V_{400} (m s^{-1})	$\%V_{400}/T_{record}$ (%)	p400m[La](3) (mmol L^{-1})	p400m[La](5) (mmol L^{-1})	p400m[La](7) (mmol L^{-1})
Afr (n = 12)	48.70 ± 0.39	8.22 ± 0.07	97 ± 1	14.6 ± 0.6	17.3 ± 0.5	18.9 ± 0.5
Cau (n = 5)	48.85 ± 0.18	8.19 ± 0.03	97 ± 1	19.5 ± 0.3	20.2 ± 0.5	20.5 ± 0.5
	NS	NS	NS	***	**	NS

p400m[La](3), p400m[La](5) y p400m[La](7): concentraciones de lactato a 3', 5' y 7' recuperación

The effect of different first 200-m pacing strategies on blood lactate and biomechanical parameters of the 400-m sprint

Saraslanidis, P. J., Panoutsakopoulos, V., Tsalis, G. A., & Kyprianou, E.

European Journal of Applied Physiology, 111(8), 1579-1590. 2011.

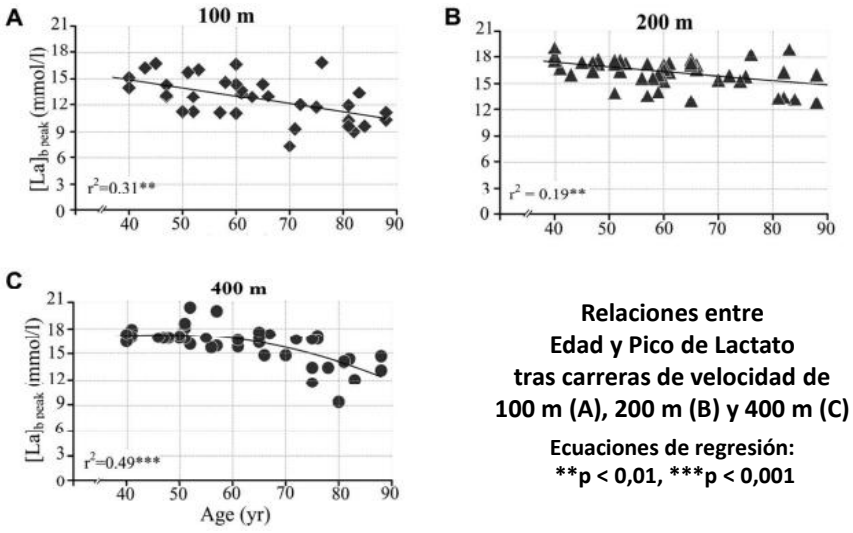
Cada atleta realizó una prueba máxima de 200 m (200MAX) y 3 carreras de 400 m
Las pruebas de 400 m se realizaron con el ritmo de los primeros 200 m establecido al 98% (400-98%), 95% (400-95%) y 93% (400-93%), respectivamente.

Pacing strategy	$400_{98\%}$	$400_{95\%}$	$400_{93\%}$	*p*
400-m Perfomance (s)	55.0 ± 2.7	54.7 ± 2.5	54.1 ± 2.3	0.148
T_{0-200m} (s)	25.3 ± 1.1	25.8 ± 1.1^{a}	$26.2 \pm 1.3^{a,b}$	0.001
$T_{200-400m}$ (s)	$29.7 \pm 1.5^{\S}$	$28.9 \pm 1.3^{\S,a}$	$27.9 \pm 1.0^{\S,a,b}$	0.002
T_{diff} (s)	4.4 ± 0.8	3.2 ± 0.9^{a}	$1.7 \pm 0.8^{a,b}$	0.001
RS_{0-100m} (m/s)	7.9 ± 0.3	7.7 ± 0.4	7.6 ± 0.4	0.001
$RS_{100-200m}$ (m/s)	8.0 ± 0.4	7.9 ± 0.3	7.7 ± 0.4	0.587
$RS_{200-300m}$ (m/s)	$7.2 \pm 0.3^{\dagger}$	$7.2 \pm 0.5^{\dagger}$	$7.3 \pm 0.4^{\dagger}$	0.001
$RS_{300-400m}$ (m/s)	$6.4 \pm 0.4^{\dagger,\ddagger,\#}$	$6.7 \pm 0.3^{\dagger,\ddagger,\#a}$	$7.1 \pm 0.2^{\dagger,\ddagger,\#,a,l}$	0.001
RS_{0-200m} (m/s)	8.0 ± 0.3	7.8 ± 0.3^{a}	$7.6 \pm 0.4^{a,b}$	0.001
$RS_{200-400m}$ (m/s)	$6.7 \pm 0.4^{\S}$	$6.9 \pm 0.3^{\S,a}$	$7.2 \pm 0.3^{\S,a,b}$	0.001
400-m BLa (mmol/L)	20.5 ± 1.4	20.2 ± 2.0	18.9 ± 2.1	0.029

Effects of Aging and Training on Sprint Performance, Muscle Structure and Contractile Function in Athletes

Marko T. Korhonen. Academic Dissertation

Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä. Junio 2009.

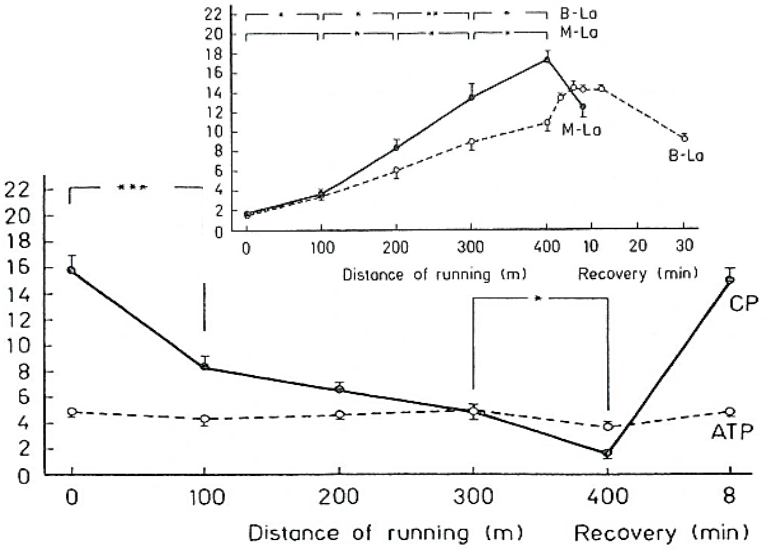


Relaciones entre Edad y Pico de Lactato tras carreras de velocidad de 100 m (A), 200 m (B) y 400 m (C)

Ecuaciones de regresión:
****p < 0,01, ***p < 0,001**

Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint

Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunen, S., & Härkönen, M. Canadian Journal of Applied Physiology, 17(2), 141-144. 1992.



Scientific Research Project Biomechanical Analyses at the 12th WC Berlin 2009

Final Report Sprint Men (Semifinalistas & Finalistas de 200 m)

Helmar Hommel

	t_{200m}	t_{100m}	Diff.	$t_{100-200m}$	t_{150m}	t_{0-50m}	$t_{50-100m}$	$t_{100-150m}$	$t_{150-200m}$
Bolt Usain	**19,19**	9,92	-0,65	9,27	14,44	5,60	4,32	4,52	4,75
	20,08	10,14	-0,20	9,94	14,86	5,74	4,40	4,72	5,22
Edward Alonso	**19,81**	10,37	-0,93	9,44	15,00	5,88	4,49	4,63	4,81
	20,22	10,36	-0,50	9,86	15,03	5,85	4,51	4,67	5,19
Spearmon Wallace	**19,85**	10,42	-0,99	9,43	15,06	5,89	4,53	4,64	4,79
	20,14	10,43	-0,72	9,71	15,12	5,90	4,53	4,69	5,02
Crawford Shawn	**19,89**	10,15	-0,41	9,74	14,80	5,73	4,42	4,65	5,09
	20,35	10,27	-0,19	10,08	15,05	5,78	4,49	4,78	5,30
Mullings Steve	**19,98**	10,20	-0,42	9,78	14,93	5,70	4,50	4,73	5,05
	20,26	10,27	-0,28	9,99	15,09	5,71	4,56	4,82	5,17
Clark Charles	**20,39**	10,38	-0,37	10,01	15,16	5,80	4,58	4,78	5,23
	20,27	10,44	-0,61	9,83	15,20	5,84	4,60	4,76	5,07
Guliyev Ramil	**20,61**	10,77	-0,93	9,84	15,62	6,04	4,73	4,85	4,99
	20,28	10,43	-0,58	9,85	15,21	5,85	4,58	4,78	5,07
Alerte David	**20,68**	10,65	-0,62	10,03	15,59	5,96	4,69	4,94	5,09
	20,45	10,60	-0,75	9,85	15,40	5,94	4,66	4,80	5,05

	t_{200m}	t_{100m}	Diff.	$t_{100-200m}$	t_{150m}	t_{0-50m}	$t_{50-100m}$	$t_{100-150m}$	$t_{150-200m}$
Mbandjock Martial	**20,43**	10,54	-0,65	9,89	15,36	5,89	4,65	4,82	5,07
Hession Paul	**20,48**	10,55	-0,62	9,93	15,35	5,93	4,62	4,80	5,13
Hering Robert	**20,52**	10,56	-0,60	9,96	15,39	5,94	4,62	4,83	5,13
Devonish Marlon	**20,62**	10,48	-0,34	10,14	15,40	5,87	4,61	4,92	5,22
Sorrillo Rondell	**20,63**	10,65	-0,67	9,98	15,47	5,91	4,74	4,82	5,16
Palacios Rolando	**20,67**	10,66	-0,65	10,01	15,52	5,98	4,68	4,86	5,15
Callander Emmanuel	**20,70**	10,49	-0,28	10,21	15,38	5,83	4,66	4,89	5,32
Christian Brendan	**20,79**	10,58	-0,37	10,21	15,50	5,90	4,68	4,92	5,29

FACTORES BÁSICOS LIMITANTES DE L A RESISTENCIA DE CORTA DURACIÓN – RCD (30”-120”) - I



- **TÉCNICA POCO EFICIENTE**
- **MÁXIMA VELOCIDAD LIMITADA**
  - **Escasa Reserva de Velocidad**
    - $V_{max.} – V_{med.}$ // Vmax. – vVO_2 max.
- **BAJA-MODERADA CANTIDAD DE FIBRAS TIPO-II (FT)**
- **DEPÓSITOS DE FOSFÁGENOS REDUCIDOS**
  - **Déficit en su regeneración y mantenimiento**
- **Alteración de la Bomba Na^+/K^+**
  - ↑ K^+ extracelular ⇒ ↓ Excitabilidad del Sarcolema ⇒ Déficit de Fuerza

FACTORES ESPECÍFICOS LIMITANTES DE L A RESISTENCIA DE CORTA DURACIÓN – RCD (30”-120”) - II

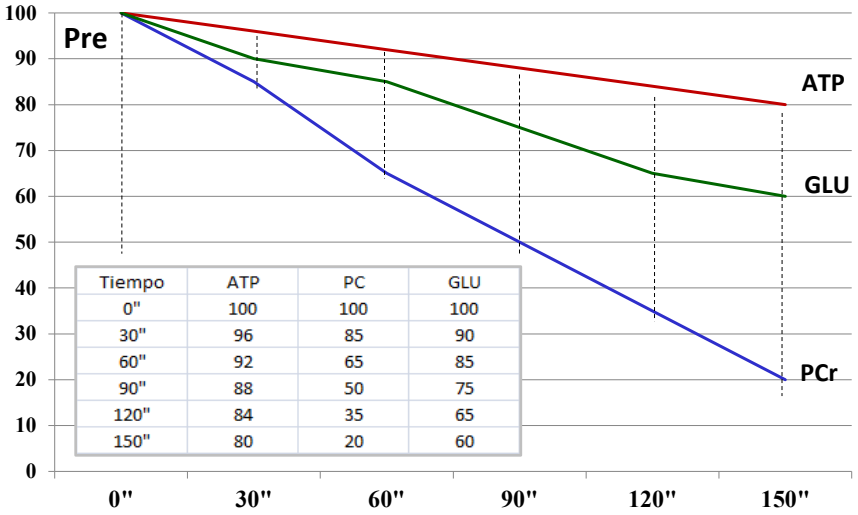


- **BAJA Eficiencia Glucolítica**
- **Potencia y Capacidad Anaeróbica Láctica**
  - **Capacidad Enzimática**

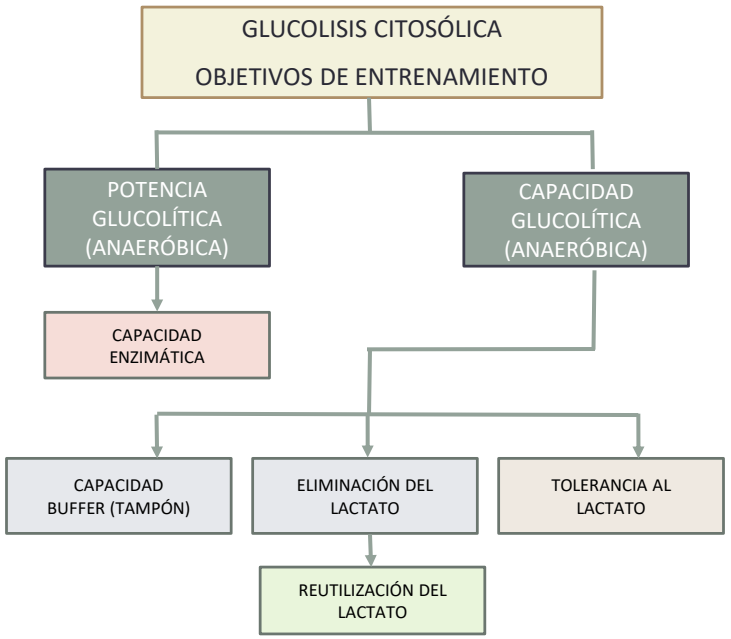
    Especialmente: HK, PFK, Piruvatoquinasa, $LDH_{4,5}$ …..
- **Elevada Concentración de Metabolitos de Degradación de:**
  - **Nucleótidos de Adenina:** Amonio, Xantina, Hipoxantina, Ácido Úrico, …
  - **Glucógeno Vía Metabolismo Anaeróbico:** Ácido Láctico, Hidrogeniones (H^+)
- **Alteración del Equilibrio Ácido/Base**
  - **Elevada Acidosis Metabólica:**
    - Acumulación elevada de iones de H^+
    - Deficiente capacidad de amortiguación (capacidad buffer o tampón)
  - **Deficiente Capacidad de Recuperación de Glucógeno**

Tasas musculares al final de ejercicios de diferente duración

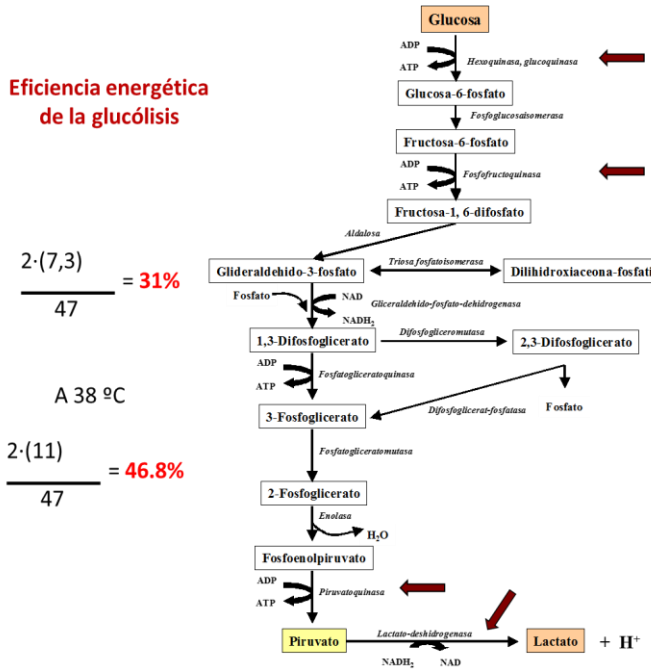
30”- 60”- 90”- 120”- 150”



Tiempo	ATP	PC	GLU
0"	100	100	100
30"	96	85	90
60"	92	65	85
90"	88	50	75
120"	84	35	65
150"	80	20	60



Eficiencia energética de la glucólisis



$$\frac{2\cdot(7{,}3)}{47} = 31\%$$

A 38 ºC

$$\frac{2\cdot(11)}{47} = 46.8\%$$

pH=7 , 25ºC
1 ATP= 7,3 kcal/mol

pH=7 , 38ºC
1 ATP= 11 kcal/mol

1glucosa=47 kcal/mol

Time course of anaerobic and aerobic energy expenditure during short-term exhaustive running in athletes
Nummela A. & Rusko H.
International Journal of Sports Medicine, 16(08): 522-527. 1995.

Prueba Hasta el Agotamiento a Alta Velocidad Constante

	Sprint (n = 8)	Endurance (n = 6)	t-test
Speed ($m \cdot s^{-1}$)	7.50 ± 0.40	6.92 ± 0.36	$p < 0.05$
Time (s)	49.5 ± 6.0	49.4 ± 5.3	ns
Distance (m)	370.0 ± 31.0	342.7 ± 49.7	ns
Peak BLa ($mmol \cdot l^{-1}$)	16.6 ± 2.6	13.8 ± 2.1	$p < 0.05$
Oxygen demand ($ml \cdot kg^{-1}$)	85.8 ± 5.8	79.7 ± 8.9	ns
Oxygen uptake ($ml \cdot kg^{-1}$)	31.8 ± 5.8	36.6 ± 7.2	ns
Oxygen deficit ($ml \cdot kg^{-1}$)	53.9 ± 6.7	43.1 ± 3.0	$p < 0.01$
Lactic energy ($ml \cdot kg^{-1}$)	36.6 ± 6.6	29.9 ± 4.9	$p < 0.05$
$EPOC_2$ ($ml \cdot kg^{-1}$)	46.5 ± 2.8	46.9 ± 2.3	ns
$EPOC_{15}$ ($ml \cdot kg^{-1}$)	121 ± 17	98 ± 11	$p < 0.01$
Aerobic contribution (%)	37.1 ± 5.2	45.6 ± 4.2	$p < 0.01$
Anaerobic contribution (%)	62.9 ± 5.2	54.4 ± 4.2	$p < 0.01$

Velocistas muestran un déficit de O_2 mayor ($p<0,01$), BLa más elevado ($p<0,05$) y EPOC ($p<0,01$) que los fondistas.

La contribución relativa del metabolismo anaeróbico disminuyó (80% → 60%), en ambos grupos, los primeros 15" de prueba.

El VO_2 alcanzó su valor máximo entre los 25" y 40" de carrera en ambos grupos (79% VO_{2max}) y casi no cambió hasta el final de prueba.

Durante la segunda mitad de carrera, la contribución relativa del metabolismo aeróbico fue mayor ($p<0,05$) en los deportistas de resistencia (54-63% *vs*. 43-47%)..

No se encontró correlación entre el déficit de O_2 y el EPOC.

BLa correlacionó con el déficit de O_2 ($r=0,53$; $p<0.05$) y EPOC ($r=0,53$; $p<0.05$).

CONCLUSIÓN:

- La liberación de energía de los velocistas y fondistas fue diferente sólo durante la segunda mitad de la carrera.
- En esa fase, los velocistas utilizan más el metabolismo anaeróbico mientras que los fonditas utilizaron más la vía aeróbica.

Breakdown of high energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise

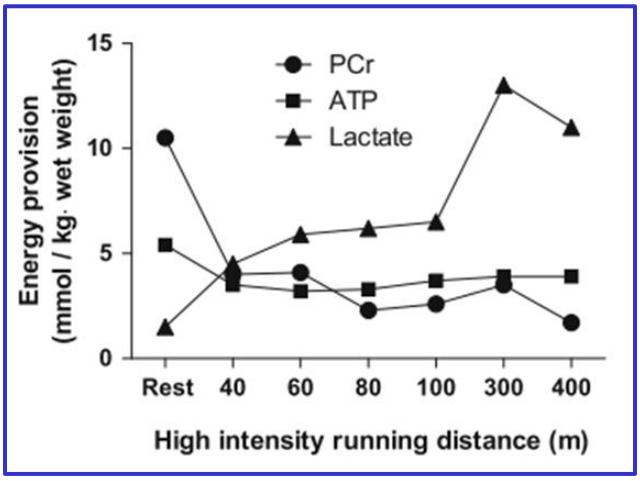
Hirvonen J, Rehunen S, Rusko H, et al.

European Journal Applied Physiology; 56(3): 253–259. 1987.

Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during 400-m sprint

Hirvonen J, Nummela A, Rusko H, et al.

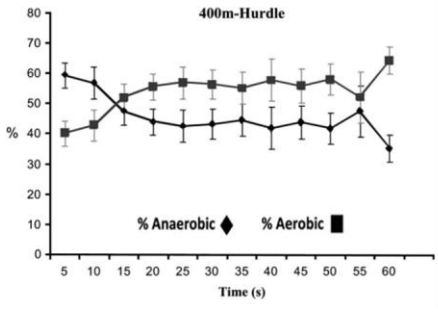
Cannadian Journal Sports Science;17(2):141–144. 1992.



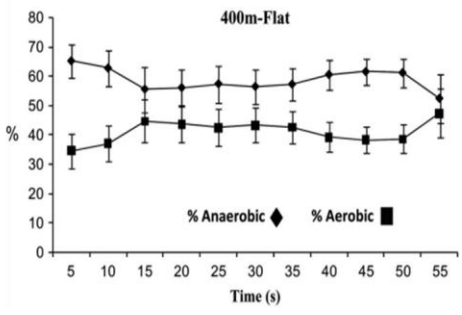
Anaerobic and aerobic energy system contribution to
400-m flat and 400-m hurdles track running

Zouhal, H., Jabbour, G., Jacob, C., Duvigneau, D., Botcazou, M., Abderrahaman, A. B., ... & Moussa, E.
The Journal of Strength & Conditioning Research, 24(9), 2309-2315. 2010.

MM: 55.69 ± 1.01 – **TEST:** 61.71 ± 1.06
La MAX: 17.3 ± 1.5
ANA/AER: 57.0 ± 2.0 / 43.0 ± 2.0



MM: 52.04 ± 0.90 – **TEST:** 54.95 ± 0.75
La MAX: 18.4 ± 2.5
ANA/AER: 37.4 ± 2.7 / 62.5 ± 2.7



Anaerobic and aerobic energy system contribution to 400-m flat and 400-m hurdles track running

Zouhal, H., Jabbour, G., Jacob, C., Duvigneau, D., Botcazou, M.,... & Moussa, E.

The Journal of Strength & Conditioning Research, 24(9), 2309-2315. 2010.

Contribución relativa del sistema energético aeróbico-anaeróbico (Método AOD y La/PCr)

Event		AOD % aerobic	AOD % anaerobic	La/PCr % aerobic	La/PCr % anaerobic
200-m	Male	28.4 (±7.9) (17-40)	71.6 (±7.9) (60-83)	20.7 (±8.5) (14-35)	79.3# (±8.5) (65-86)
	Female	33.2 (±8.0) (26-45)	66.8 (±8.0) (55-74)	22.0 (±7.7) (15-28)	78.0 (±7.7) (72-85)

The aerobic mechanism in the 400 metres

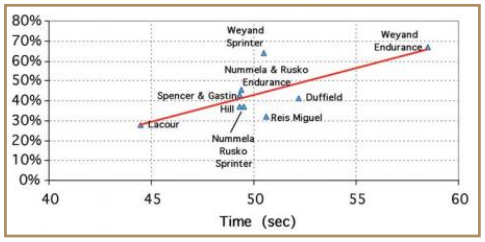
Enrico Arcelli, Marina Mambretti, Giuseppe Cimadoro & Giampiero Alberti

New Studies in Athletics, 23(2): 15-23. 2008.

Contribution of the aerobic energetic mechanism and anaerobic energetic mechanisms in the 400m according to selected authors

Author(s)	Publication Date	Aerobic Contribution	Anaerobic Contribution
Foss & Keteyan	1998	18%	82%
Newsholme et al.	1992	25%	75%
Lacour et al.	1990	28%	72%
Reis & Miguel	2007	32%	68%
Hill	1999	37-38%	62-63%
Nummela & Rusko	1995	37-46%	54-63%
Duffield et al.	2005	41-45%	55-59%
Spencer & Gastin	2001	43%	57%
Weyand et al.	1994	67-70%	30-36%





The aerobic mechanism in the 400 metres

Enrico Arcelli, Marina Mambretti, Giuseppe Cimadoro, Giampiero Alberti

New Studies in Athletics, 23(2): 15-23. 2008.

Nivel de rendimiento y porcentaje de contribución del metabolismo aeróbico en las carreras de 400 metros



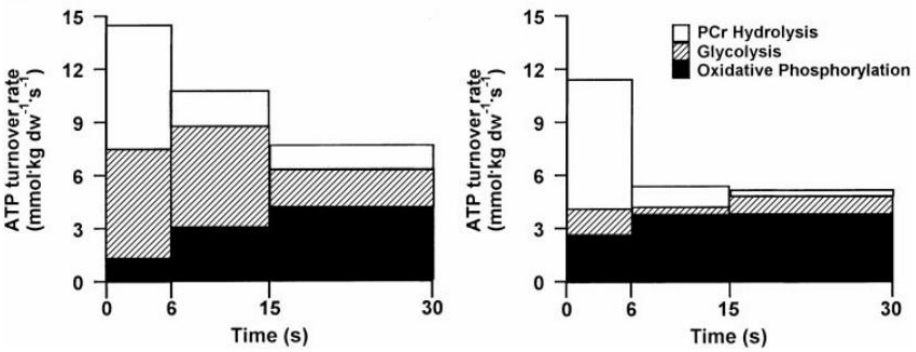


Author(s) and Subject Group	Publication Date	Average performance for the 400m (sec)	Aerobic Contribution
Male Subjects			
Lacour et al.	1990	45.48-47.46	28.0%
Hill	1999	49.3	37.0%
Spencer and Gastin	2001	49.3	43.0%
Nummela & Rusko (endurance athletes)	1995	49.4	45.6%
Nummela & Rusko (sprinters)	1995	49.5	37.1%
Weyand et al. (sprinters)	1994	50.5	64.0%
Reis & Miguel	2007	50.6	32.0%
Duffield et al.	2005	52.2	41.3%
Weyand et al. (endurance athletes)	1994	58.5	67.0%
Female Subjects			
Weyand et al. (sprinters)	1994	57.9	66.0%
Duffield et al.	2005	60.2	44.5%
Weyand et al. (endurance athletes)	1994	70.6	70.0%
Hill	1999	71.2	38.0%

Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise

Parolin ML, Chesley A, Matsos MP, Spriet LL, Jones NL, & Heigenhauser GJ.

The American Physiological Society. 277 (40): E890–E900, 1999.



Tasas de producción de ATP por hidrólisis, glucólisis y fosforilación oxidativa de PCr durante cada intervalo de tiempo (6", 6"-15", 15"-30") en el primera (A) y tercera (B) serie de 30" a máxima intensidad (Rec. 4')

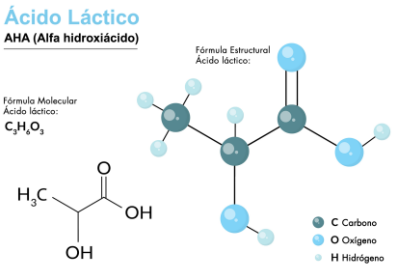
"DE DETRITO REPUDIADO A AVE FÉNIX RESUCITADO"

1780



Carl Wilhelm Scheele
(1742-1786)

Descubrimiento del Ácido Láctico
(Aislado de Leche agria)



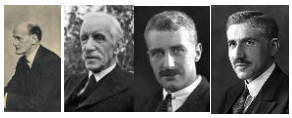
1807-1808



Friherre Jons Jakob Berzelius
(1779-1848)

Relacionó la acumulación de lactato con el ejercicio (Ciervos)

1907-1920



Walter Morley Fletcher (1873-1933) &
Frederick Gowland Hopkins (1861-1947)
Archibald Vivian Hill (1886-1977)
Otto Fritz Meyerhof (1884-1951)

Constructo de la Acidosis Láctica

1985

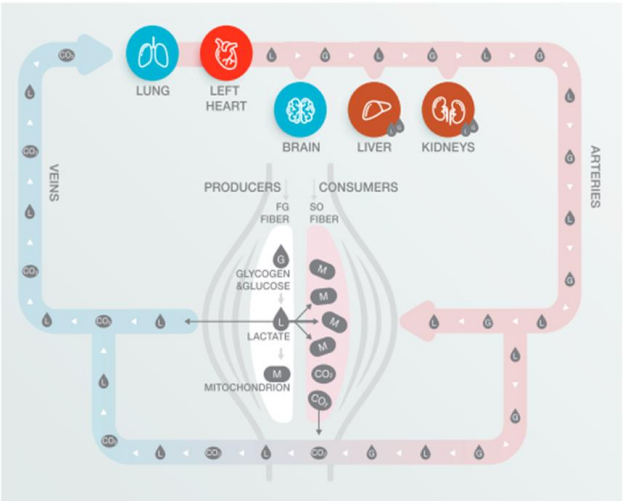


George A. Brooks

Lactate Shuttle
Crossover Concept
(Fuente Metabólica)
Precursor Gluconeogénico)
(Molécula de señalización)

The science and translation of lactate shuttle theory
George A. Brooks
Cell Metabolism, 27(4), 757-785. 2018.

FUNCIONES FISIOLÓGICAS DEL LACTATO



- **Fuente de Energía;**
- **Precursor Gluconeogénico;**
- **Molécula de Señalización (Lactohormona):**
  - **Efectos Autocrinos;**
  - **Efectos Paracrinos;**
  - **Efectos Endocrinos.**

GLUCÓLISIS CITOSÓLICA Y PRODUCCIÓN DE LACTATO



¿ACIDOSIS LÁCTICA?



Cuando las reservas de PCr disminuyen, el glucógeno muscular o la glucosa en sangre circulante, se transporta a través de la vía glucolítica, formando ATP y piruvato

La producción de lactato está asociada con la producción de iones de hidrógeno (H^+):

- Glucolisis $\Rightarrow$ 2 lactatos + 2 H^+
- Glucógenolisis $\Rightarrow$ 2 lactatos + 1 H^+

Estas reacciones no implican que el lactato sea la única fuente de H^+, sino que la liberación de protones de la glucólisis probablemente esté asociada con la hidrólisis no mitocondrial de ATP

Esto ha provocado la asunción de un constructo fisiológico equivocado:

"ACIDOSIS LÁCTICA"

A medida que aumenta la intensidad del ejercicio, las mitocondrias no pueden oxidar todo el piruvato provocando su conversión en La^- a través de isoenzimas 3,4 de la LDH



Lactate in contemporary biology:
A phoenix risen
Brooks GA, Arevalo JA, Osmond AD, Leija RG,
Curl CC. & Tovar A.P.
The Journal of Physiology, 600(5), 1229-1251. 2022.

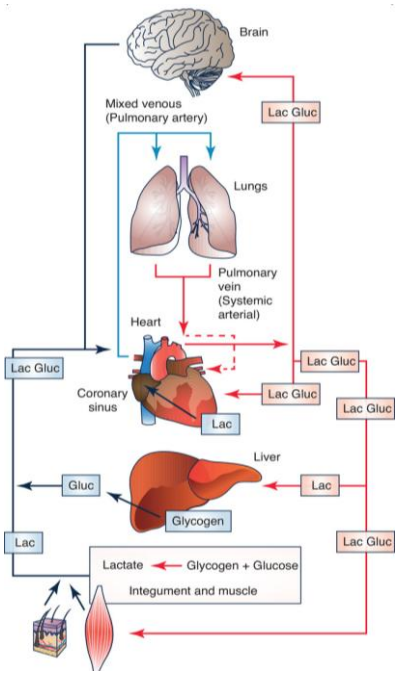
Ilustración del transporte de lactato durante el ejercicio (Transporte Célula a Célula)

El lactato liberado por los músculos, la piel y otras células impulsoras proporciona energía para los músculos en funcionamiento, el corazón y el cerebro.

Además, el lactato liberado por los músculos que trabajan y otras células impulsoras como el tejido adiposo, son el principal precursor gluconeogénico y actúan como combustible para el cerebro.

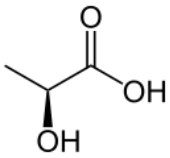






ÁCIDO LÁCTICO

Property	Value
Chemical formula	CH_3-CHOH-COOH
Molecular wt (g/ mol)	89.0
Solubility	Water, ethanol, ethyl ether
pKa (37°C)	3.87
Heat of combustion	321 kcal/mol

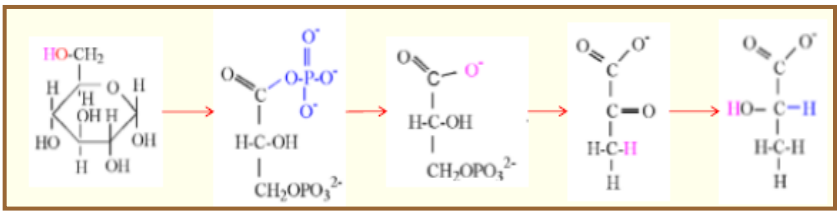


- El ácido láctico, o su forma ionizada (lactato) también conocido por su nomenclatura oficial ácido 2-hidroxi-propanoico o ácido α-hidroxi-propanoico, es un ácido carboxílico, con un grupo hidroxilo en el carbono adyacente al grupo carboxilo, lo que lo convierte en un ácido α-hidroxílico (AHA) de fórmula H_3C-CH(OH)-COOH ($C_3H_6O_3$).
- En solución el ácido láctico puede perder el hidrógeno unido al grupo carboxilo y convertirse en el anión lactato.
- Algo más del 99% de ácido láctico es disociado en iones de lactato (La^-) e iones de hidrógeno (H^+).

Ácido Láctico *vs*. Lactato

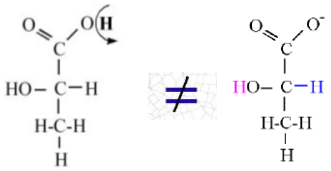
La acidosis metabólica inducida por el ejercicio ha sido llamada tradicionalmente, y de forma errónea, acidosis láctica

El ácido láctico se ioniza casi por completo (en rangos de pH fisiológico) a lactato e iones de hidrógeno (H^+)



Glucosa → 1,3 bifosfoglicerato → 3 fosfoglicerato → Piruvato → Lactato

Ácido Láctico ≠ **Lactato**



- El lactato es la forma iónica del acido láctico en condiciones fisiológicas.
- El acido láctico es la molécula completa mientras que el lactato es el anión, resultado de la pérdida del hidrógeno unido al grupo carboxilo del ácido láctico.

GLUCOLISIS CITOSÓLICA

Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium
L. Bruce Gladden
The Journal of Physiology, 558(1), 5-30. 2004.

FACTORES QUE DETERMINAN EL AUMENTO DE LACTATO CON EL EJERCICIO

ACELERACIÓN DE LA GLUCOLISIS (I)

LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Y HORMONAL ES PROPORCIONAL A LA INTENSIDAD DE LA ACTIVIDAD

La producción de lactato depende de:

- La competición del Piruvato y NADH,
- La competición entre la LDH y la NADH Shuttle (malato–aspartato y glicerol fosfato)
- Del piruvato transportado

Elevada actividad de LDH y *K*eq de piruvato a lactato provocando un incremento en la producción de HLa especialmente con aumento de la tasa gucolítica

Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium

L. Bruce Gladde

The Journal of Physiology, 558(1), 5 - 30. 2004.

FACTORES QUE DETERMINAN EL AUMENTO DE LACTATO CON EL EJERCICIO
ACELERACIÓN DE LA GLUCOLISIS (II)

- En términos generales, la producción de lactato puede ser visto como dependiente del equilibrio entre la actividad de Phos/PFK y LDH:

ACTIVIDAD ENZIMÁTICA *vs*. INTENSIDAD DE ESFUERZO

Phos es activada por incremento de la intensidad de trabajo, probablemente debido a ↑Ca^{2+}, ↑Pi e ↑AMP; este incremento del Ratio Glucolítico ⇒ ↑producción de lactato

Con el incremento de la intensidad si la actividad se mantiene:

[ATP] ↓, [ADP] ↑, [AMP] ↑, [Pi] ↑, y [ammonio] ⇒ ↑ activación PFK y se activa producción de lactato.

- La actividad simpaticoadrenal se incrementa con el ratio de trabajo:

La adrenalina activa la Phos y así ↑ glucolisis y la producción de La

↑ [Ca^{2+}] debe actuar a modo de *feed-forward* activando Phos y PFK independientemente del *feedback* metabólico

Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium

L. Bruce Gladden

The Journal of Physiology, 558(1), 5 - 30. 2004.

FACTORES QUE DETERMINAN EL AUMENTO DE LACTATO CON EL EJERCICIO
ACELERACIÓN DE LA GLUCOLISIS (III)

INCIDENCIA DE LA BOMBA Na-K EN LA GLUCÓLISIS CITOSÓLICA Y LA PRODUCCIÓN DE LACTATO

Con el aumento de la intensidad de la carga ocurren cambios coordinados en la actividad de diferentes enzimas glucolíticas que están vinculados a mecanismos que no son completamente comprendidos (METABOLIC CONTROL ANALYSIS)

El Ratio de perfusion intracellular incrementa en proporción a la demanda de ATP, lo que aumenta las tasas de encuentro enzima-sustrato

Na^+-K^+-ATPasa es progresivamente estimulado por aumento de la intensidad del ejercicio (via ↑[Na^+]) y por Δ de la concentración de hormonas (particularmente catecolaminas).

Posiblemente, el incremento de la actividad Na^+-K^+-ATP_{asa} conduce a un aumento de la producción de lactato por:

Asociación de enzimas glucolíticas con la Bomba Na^+–K^+.

Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium

L. Bruce Gladden

The Journal of physiology, 558(1), 5 - 30. 2004.

FACTORES QUE DETERMINAN EL AUMENTO DE LACTATO CON EL EJERCICIO
ACELERACIÓN DE LA GLUCOLISIS (IV)

FACTORES O_2-DEPENDIENTES DEL METABOLISMO
(Hipoxia de Esfuerzo)

- Con el aumento de la intensidad, la PO_2 intramuscular decrece progresivamente hasta aproximadamente el ~60% del VO_{2max}.
- Independientemente del patrón, la fosforilación de glucógeno se convierte en O_2-dependiente (no O_2-limitada), haciéndose necesario mayores aumentos en ([ADP] [Pi]/[ATP] para estimular la necesaria tasa de fosforilación oxidativa.

El incremento del ratio ([ADP][Pi]/[ATP]) es un potente:
Estimulador de la Glucolisis aumentando la producción de lactato

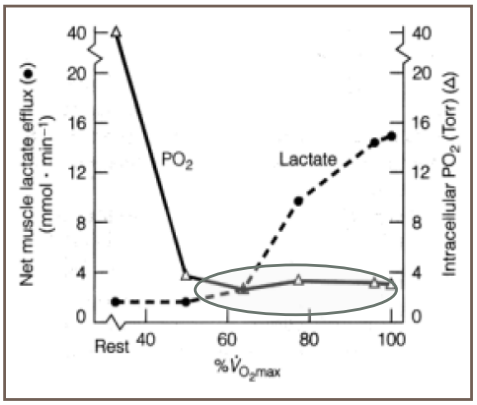
Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium

L. Bruce Gladden

The Journal of physiology, 558(1), 5-30. 2004.

Producción de Lactato y Valores de la PO_2 Intracelular (mitocondrial)
vs.
Intensidad del Ejercicio

- **Existen diferentes mecanismos vinculados al aumento de la actividad de la glucolisis, pero no debemos incluir la PO_2.**
- **No existe relación directa entre ambas situaciones durante la realización de un ejercicio.**
- **Incluso en esfuerzos máximos:**
  - **PO_2 siempre estará por encima del nivel crítico de O_2 a nivel mitocondrial (1 torr).**

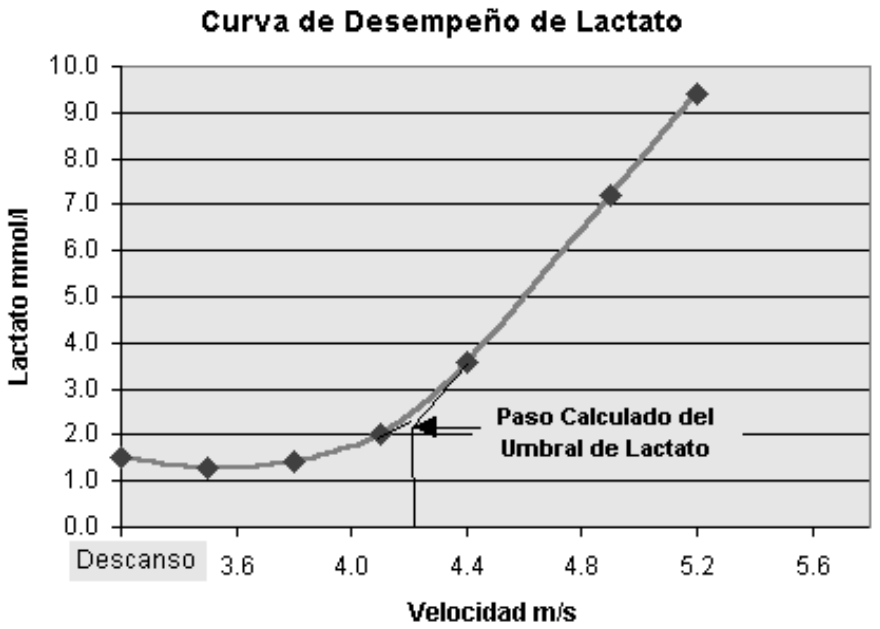


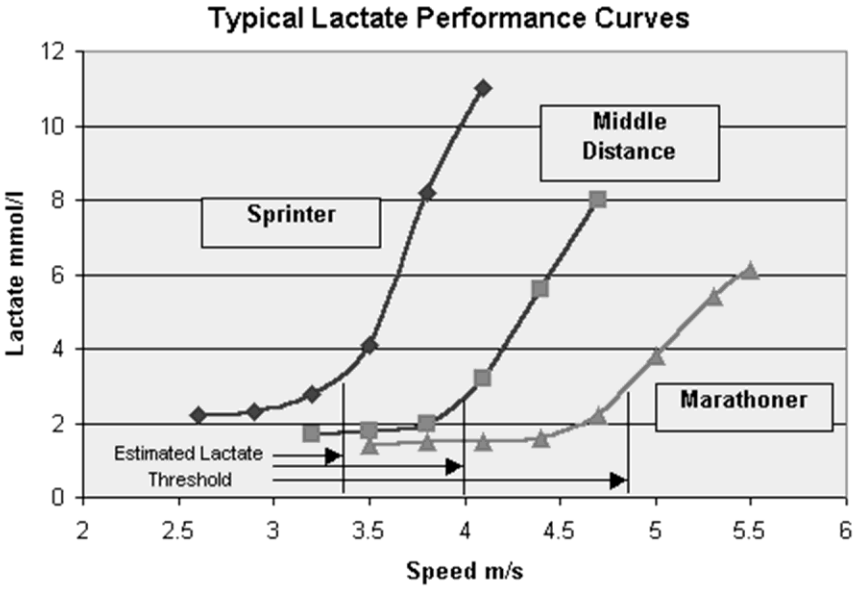
Concentración teórica de lactato sanguíneo con la duración del esfuerzo y el nivel de rendimiento del deportista (CARRERA)

400 metros			800 metros			1500 metros		
Marca 400 M. (segundos)	Lactato Hombres Mmol/l	Lactato Mujeres Mmol/l	Marca 800 M. (min y seg)	Lactato Hombres Mmol/l	Lactato Mujeres Mmol/l	Marca 1500 M. (min y seg)	Lactato Hombres Mmol/l	Lactato Mujeres Mmol/l
44"0	25.7	--	1'42"0	25.8	--	3'30"0	23.7	--
46"0	22.2	--	1'46"0	23.2	--	3'40"0	20.6	--
48"0	19.0	26.4	1'50"0	20.7	--	3'50"0	17.9	24.1
50"0	16.1	23.5	1'54"0	18.5	25.6	4'00"0	15.5	21.7
52"0	13.4	20.7	1'58"0	16.3	23.5	4'10"0	13.3	19.5
54"0	10.9	18.2	2'02"0	14.4	21.5	4'20"0	11.4	17.4
56"0	8.6	15.9	2'06"0	12.5	19.6	4'30"0	9.6	15.5
58"0	6.4	13.7	2'10"0	10.8	16.9	4'40"0	8.0	13.7
60"0	4.4	11.7	2'14"0	9.1	16.3	4'50"0	6.5	12.0
--	--	--	2'18"0	7.6	14.8	5'00"0	5.0	10.5

Concentración media de lactato (mmol/l) = 7.68 x V ($m \cdot seg^{-1}$) – 44.0 para las mujeres

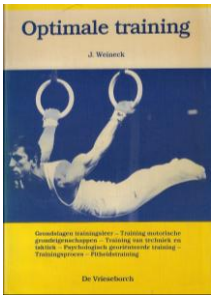
Concentración media de lactato (mmol/l) = 7.23 x V ($m \cdot seg^{-1}$) – 44.0 para los hombres

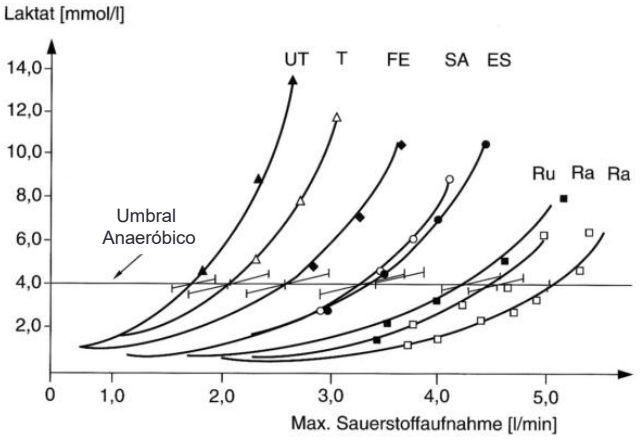






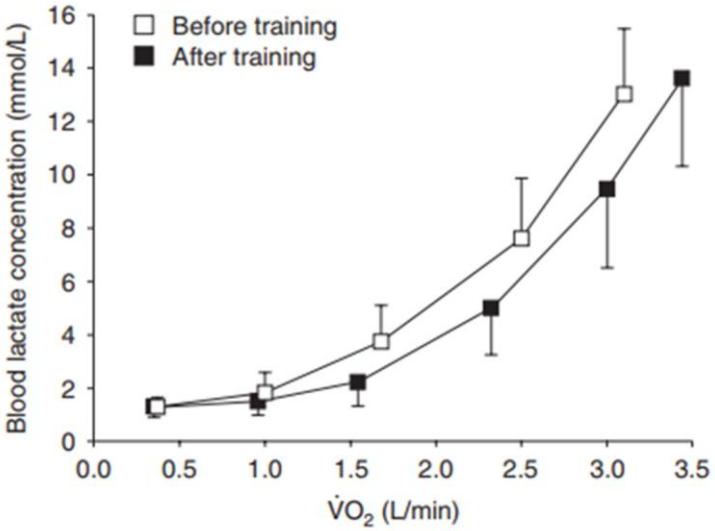
OPTIMALES TRAINING
Jürgen Weineck (1941-2020)
Aufl. Spitta Verlag, Balingen (2004)





UT: No entrenados,
T: Deportista recreativo,
Fe: Esgrima,
TI: Patinaje de velocidad,
SA: Deportes de equipo,
Ru: Remo,
Ra: Ciclismo.

EFECTO DEL ENTRENAMIENTO



Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium

L. Bruce Gladden

The Journal of physiology, 558(1), 5 - 30. 2004.

FACTORES QUE DETERMINAN LOS NIVELES DE LACTATO CON EL EJERCICIO

ACTIVACIÓN DE LOS PROCESOS DE ELIMINACIÓN DE LACTATO

1. Actividad simpático-adrenal: provoca vasoconstricción con ↓ disminución del flujo sanguíneo hacia el riñón, hígado y musculatura inactiva

⇓ ⇓ ⇓ ⇓

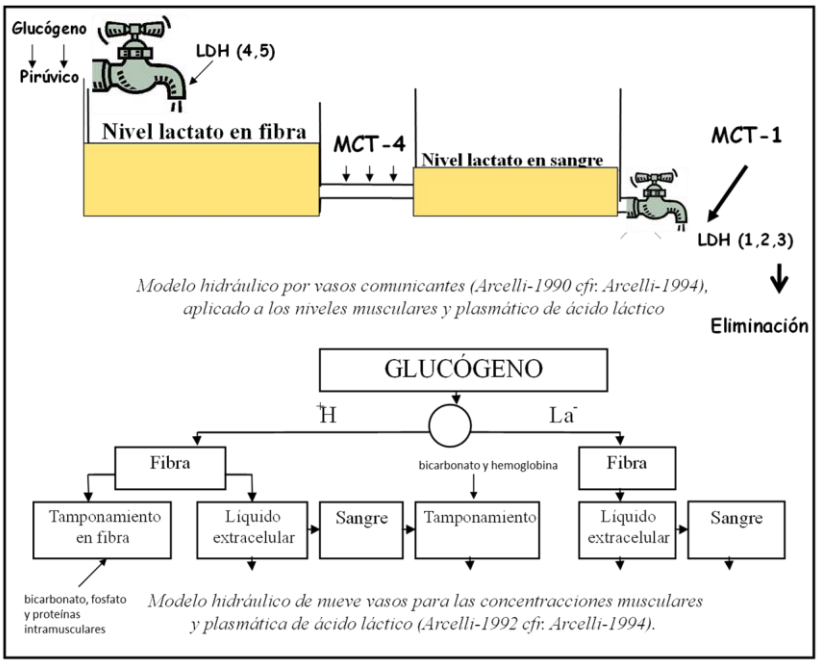
↓ Disminución de la oxidación y eliminación del lactato (reutilización)

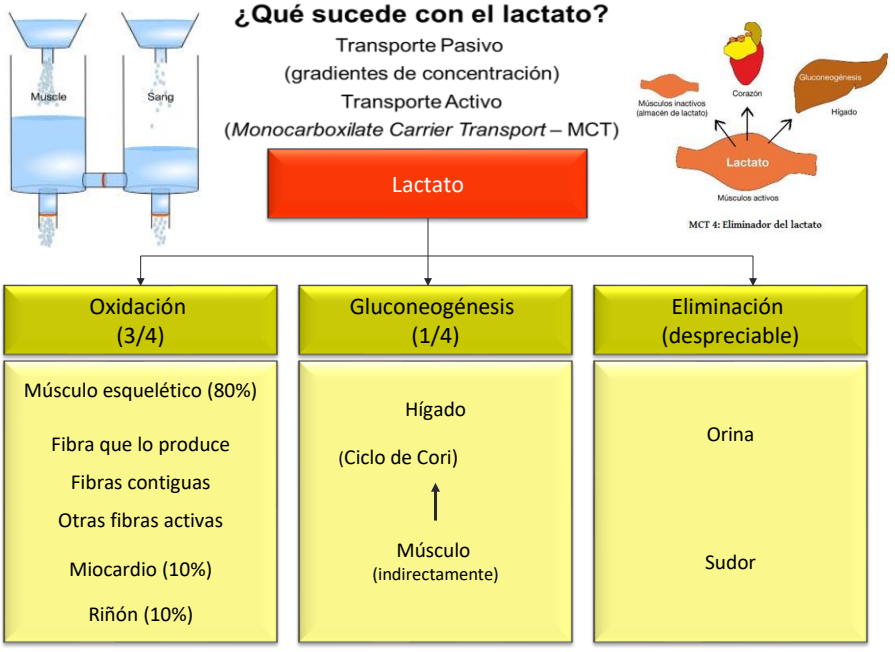
- El aumento de adrenalina disminuye la remoción de lactato en los músculos activos y, tal vez, en los músculos en reposo.

2. El aumento de la frecuencia de estimulación de las fibras musculares coloca más fibras en modo de producir Lactato en vez de en modo de eliminación.
   - La producción excede la remoción ⇒ ↑ valores musculares y sanguíneos de [La^-]

RECLUTAMIENTO DE FIBRAS RÁPIDAS

1. Se contraen más fibras de contracción rápida aumenta la intensidad del ejercicio.
2. Estas fibras son más adecuadas para la producción de Lactato.


Glucógeno
Pirúvico
LDH (4,5)
Nivel lactato en fibra
MCT-4
Nivel lactato en sangre
MCT-1
LDH (1,2,3)
Eliminación
Modelo hidráulico por vasos comunicantes (Arcelli-1990 cfr. Arcelli-1994), aplicado a los niveles musculares y plasmático de ácido láctico
GLUCÓGENO
H+
La-
Fibra
bicarbonato y hemoglobina
Fibra
Tamponamiento en fibra
Líquido extracelular
Sangre
Tamponamiento
Líquido extracelular
Sangre
bicarbonato, fosfato y proteínas intramusculares
Modelo hidráulico de nueve vasos para las concentracciones musculares y plasmática de ácido láctico (Arcelli-1992 cfr. Arcelli-1994).


Muscle
Sang
¿Qué sucede con el lactato?
Transporte Pasivo
(gradientes de concentración)
Transporte Activo
(Monocarboxilate Carrier Transport – MCT)
Lactato
Músculos inactivos (almacén de lactato)
Corazón
Gluconeogénesis
Hígado
Lactato
Músculos activos
MCT 4: Eliminador del lactato
Oxidación (3/4)
Gluconeogénesis (1/4)
Eliminación (despreciable)
Músculo esquelético (80%)
Fibra que lo produce
Fibras contiguas
Otras fibras activas
Miocardio (10%)
Riñón (10%)
Hígado
(Ciclo de Cori)
Músculo
(indirectamente)
Orina
Sudor

OXIDACIÓN DEL LACTATO

¿DÓNDE SE OXIDA EL LACTATO?

Su consumo u oxidación todavía no está claro.

El Lactato necesita de la Fosforilación Oxidativa (mitocondria) ⇒ por tanto de O_2

Para llegar hasta allí entra en juego la **Lanzadera Intracelular de Lactato (MCTs)**

Introduce el Lactato (y el Piruvato) a la mitocondria



Aquí, será oxidado mediante el complejo mitocondrial de oxidación del Lactato (mLOC), compuesto por el MCT1, su proteína chaperona CD147, la enzima mitocondrial Lactato Deshidrogenasa (mLDH) y el citocromo oxidasa (COx)

Queda claro, por lo tanto, que una elevada funcionalidad de la mitocondria es necesaria para dar salida (oxidar), al igual que otros sustratos, al Lactato

Los deportistas de resistencia, que generalmente presentan muchas mitocondrias muy activas, tienen una elevada capacidad de aclaramiento y oxidación del mismo, generando una menor acumulación del mismo en sangre

LACTATO COMO PRECURSOR GLUCONEOGÉNICO

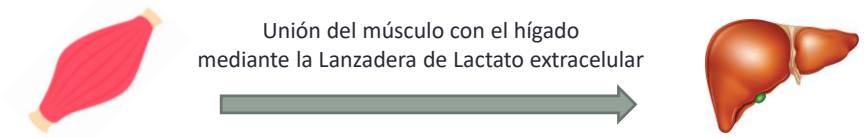
GLUCONEOGÉNESIS

Producción de glucosa a partir de otros compuestos no glucídicos (Lactato, Aminoácidos y Ácidos Grasos)

CICLO DE CORI

Vía metabólica que permite la síntesis de glucosa a partir del Lactato producido en los músculos activos

Síntesis de glucosa a partir del Lactato producido en los músculos activos



Más del 80% del Lactato generado se oxida en la mitocondria, mientras el sobrante, representa el **mayor precursor gluconeogénico del cuerpo**

Se da un fenómeno curioso que permite entender la importancia del Lactato, frente a otros metabolitos, en este proceso:

PARADOJA DE LA GLUCOSA

PARADOJA DE LA GLUCOSA

Tras la ingesta de H. de C., la Glucosa es metabolizada en distintos órganos para ser almacenada o utilizada en función de las necesidades

GLUCOGÉNESIS

Mucha de esta glucosa, en vez de ser metabolizada en el hígado, pasa por el mismo sin sufrir conversión alguna, hasta distintos tejidos periféricos como el músculo, para allí producir Lactato (glucólisis) y volver al hígado para resintetizar glucosa otra vez

Esta gluconeogénesis, que depende del Lactato supone hasta el ≈25% de la síntesis de glucosa y glucógeno tras la ingesta de HC, es la razón por la que la concentración de este metabolito (Lactato) aumenta tras dicha ingesta

Esta contribución indirecta o paradójica del Lactato no es más que un signo de la importancia de este metabolito, no simplemente a nivel cuantitativo, sino también a nivel cualitativo, entendiendo aquí las funciones que como molécula señalizadora ejerce

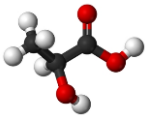
LACTATO MOLECULA SEÑALIZADORA (LACTOHORMONA)

El Lactato, con su capacidad de estar en todos los tejidos y células del organismo, pueda generar efectos en los distintos "destinos" a los que llega
(Señalización, Regulación y Control de múltiples procesos)

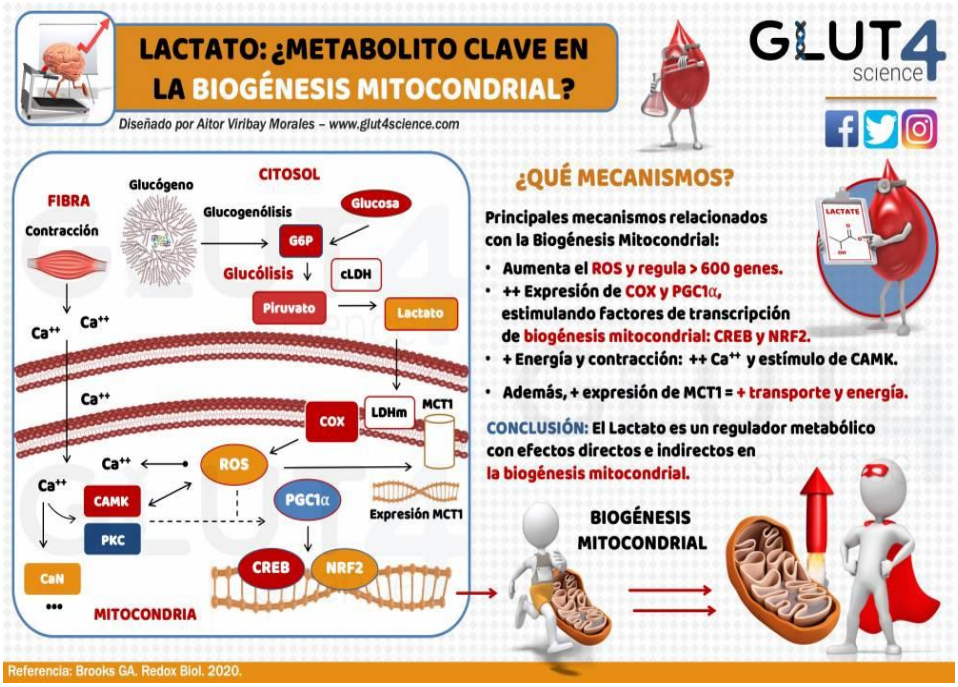
Se ha descrito al Lactato ¿como una hormona?
LACTOHORMONA
(Funciones Autrocrinas, Paracrinas y Endocrinas)

Más allá de la energética, entre funciones, podemos destacar tres:





1) **Regulador metabólico (uso de sustratos).**
2) **Regulador de la Glucemia.**
   - **Regulación secreción de la Insulina**
3) **Regulador de la expresión genética.**
   - **Aumento de expresión de MCTs, por activación del p53 y c-Myc.**
   - **Activador del Factor Inducible de la Hipoxia (HIF-1)**
   - **Activador del Factor de crecimiento vascular endotelial (VEGF)**
   - **Inhibición de la Lipolisis (ReceptotGPR81)**
4) **Controlador de genes relacionados con el propio Lactato.**



NIVEL ÓPTIMO DE ACLARAMIENTO DEL LACTATO (*Rt*) :

Máximo Aclaramiento del Lactato

Deportes cíclicos: lactato en sangre está entre 6 y 12 mmol/l

Deportes acíclicos: acciones integradas o trabajo a ritmo de 3'30"- 4'00"/km



- El transporte de lactato/H^+ a través del sarcolema está mediado por los Transportadores MCT (MCT1 y MCT4)
- En humanos, el contenido de MCT1 es mayor en las fibras tipo I
- El contenido de MCT4 es similar en diferentes músculos
- Individuos con un alto % de fibras tipo I en los músculos activos tienen también un alto contenido de MCT1 en las fibras tipo II en comparación con los sujetos que poseen menos % de fibras tipo I.

Glucógeno → Ácido Pirúvico —(LDH 4, 5)→ Ácido Láctico — MCT (Célula | Sangre) — Ácido Láctico —(LDH 1,2,3)→ Ácido Pirúvico

No confundir NIVEL ÓPTIMO DE ACLARAMIENTO DEL LACTATO con MÁXIMO LACTATO EN ESTADO ESTABLE

Este segundo valor corresponde a valores equilibrados entre producción y eliminación del lactato (valores >UV2-VAM)

The lactate shuttle during exercise and recovery
George A. Brooks
Medicine & Science in Sports & Exercise 18(3), 360-368, 1986.

Hace cuatro décadas Brooks introdujo el concepto de "lanzaderas de lactato" de célula a célula

El La^- es un combustible importante y una molécula de señalización potencial que se forma y utiliza continuamente incluso en condiciones completamente aeróbicas

El lactato se puede transportar fuera de la célula a través de un MCT, posiblemente junto con el transporte extracelular de H^+. Este lactato sanguíneo puede ser absorbido y utilizado como combustible por el músculo esquelético adyacente, así como por el corazón, el cerebro, el hígado y los riñones.

- Durante el ejercicio, la oxidación representa aproximadamente el 75 % de la eliminación de lactato, y el resto se usa para la gluconeogénesis en el hígado y el riñón.
- Los niveles elevados de lactato en sangre regulan a la baja el uso de glucosa y ácidos grasos libres como sustratos energéticos.
- El lactato puede ser una fuente de energía preferible en comparación con la glucosa lo que le convierte en una fuente de combustible rápida y eficiente.

MECANISMOS DE TRANSPORTE (SHUTTLE) DE LACTATO
A TRAVÉS DE LA MEMBRANA

¿COMPLETO O LIMITADO? ¿EXISTE UNA TASA LÍMITE DE TRANSPORTE?

MECANISMO DE TRANSPORTE PASIVO (≈25%):

Por diferencias de gradientes de concentración de lactato entre compartimentos

MECANISMO DE TRANSPORTE ACTIVO (≈75%) (mecanismo específico de transporte):

Mecanismo mediado por Transportadores Proteicos:

MONOCARBOXILATE CARRIER TRANSPORTERS (MCTs)

TIPO DE TRANSPORTADORES MCT Y PRUEBAS DE RESISTENCIA:

- MCT 1:

Más cantidad en músculos con predominio de fibras ST (Tipo I), corazón y cerebro. Menor cantidad en las fibras FT (Tipo II)

Está más relacionado con el papel energético del lactato, estando vinculado a su captación hacia interior de la célula para su posterior oxidación

- MCT 4:

Más abundante, o igual, en fibras FT (Tipo II)

Está relacionado con la capacidad glucolítica y con la salida de lactato de la célula

The expression of lactate transporters (MCT1 and MCT4) in heart and muscle

Arend Bonen

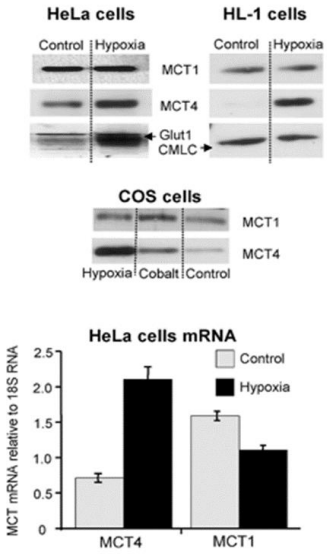
European Journal of Applied Physiology, 86(1), 6-11. 2001.

- MCT1 y MCT4 son, respectivamente, los principales responsables de la absorción de lactato de la circulación y de la expulsión de lactato fuera de la célula.
- El entrenamiento puede aumentar la expresión de MCT1 y MCT4 en el músculo, aunque esta relación puede estar relacionada con la intensidad y tipo del entrenamiento.
- La expresión de MCT1 está altamente correlacionada con la composición de las fibras oxidativas (ST) y otros índices del metabolismo oxidativo.
  - La absorción de lactato también está altamente correlacionada con el contenido MCT1 de los músculos.
- MCT4 está confinado a las fibras musculares de contracción rápida (*glucolítico rápido* y *glucolítico oxidativo rápido*), en las que correlaciona con índices del metabolismo anaeróbico.
- Por lo tanto, las concentraciones de lactato en el músculo no solo están reguladas por la tasa de glucólisis, sino también por la eficiencia del transporte de lactato trans-sarcolemal, un proceso regulado por las proteínas MCT disponibles.

The expression of lactate transporters (MCT1 and MCT4) in heart and muscle

Arend Bonen

European Journal of Applied Physiology, 86(1), 6-11. 2001.



LA HIPOXIA AUMENTA LA EXPRESIÓN DE MCT4 PERO NO DE MCT1

- La familia MCT tiene 14 miembros, 6 de los cuales han sido funcionalmente caracterizados.
- **Solo MCT1 y MCT4 catalizan el transporte de lactato acoplado a protones.**
- En ratas, MCT2 se encuentra en tejidos que requieren una alta afinidad con la absorción de lactato o piruvato, como hígado, riñón (ambos gluconeogénicos) y neuronas (oxidación de lactato y piruvato).
- **MCT4, al igual que otras enzimas glucolíticas, están regulados por la hipoxia a través de un mecanismo mediado por la subunidad alfa del factor 1 (HIF-1α).**
  - Esta respuesta adaptativa permite que el aumento de ácido láctico durante la hipoxia se elimine rápidamente de la célula.

Lactateis always the end product of glycolysis
Matthew J. Rogatzki, Brian S. Ferguson, Matthew L. Goodwin & L. Bruce Gladden
Frontiers in Neuroscience, 9, 22. doi: 10.3389/fnins.2015.00022. 2015.

La^- SE PRODUCE Y ELIMINA DE FORMA CONTINUA EN CONDICIONES COMPLETAMENTE AERÓBICAS

A lo largo de gran parte de la historia del metabolismo, el lactato (La^-) se ha considerado simplemente un producto de desecho sin salida que provoca la fatiga

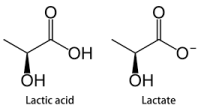
De manera congruente, el producto final de la glucólisis se veía de manera dicotómica:
Piruvato en presencia adecuada de O_2 *vs*. La^- en ausencia adecuada de O_2

EN LA ACTUALIDAD

Dada la naturaleza cercana al equilibrio de la reacción de la LDH, y que la LDH tiene una actividad mucho más alta que las enzimas reguladoras de las vías glucolítica y oxidativa, se puede plantear que el La^- es siempre el producto final de la glucólisis

La acumulación celular de La^-, a diferencia del flujo, depende de:

- Tasa de Glucólisis,
- Actividad Enzimática Oxidativa,
- Nivel de O_2 Celular
- Tasa Neta de Transporte de La^- hacia interior (entrada) o fuera (salida) de la célula.



El metabolismo del La^- supera con creces el de la Glucosa y de los Lípidos

Para el metabolismo intracelular, reintroducimos la lanzadera de La^- de citosol a mitocondria

De forma análoga a la lanzadera de la PCr, el piruvato, el NAD^+, el NADH y La^- se mantienen cerca del equilibrio en todo el citosol celular debido a la alta actividad de LDH.

La^- es el producto final de la glucólisis y representa la principal especie de difusión capaz de vincular espacialmente la glucólisis con la fosforilación oxidativa.

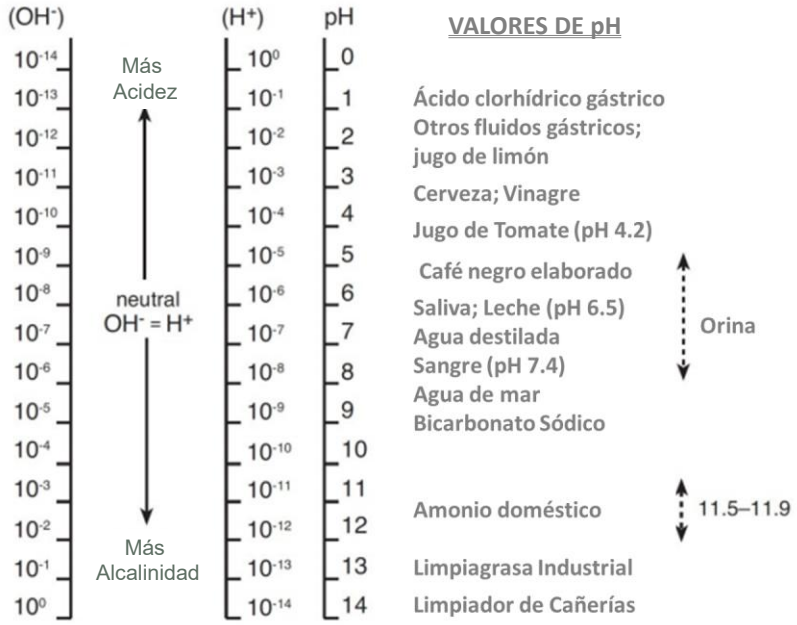
ACIDOSIS METABÓLICA



ACIDOSIS METABÓLICA
(TRASTORNO DEL EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE)

Caracterizado por un incremento en la acidez del plasma sanguíneo

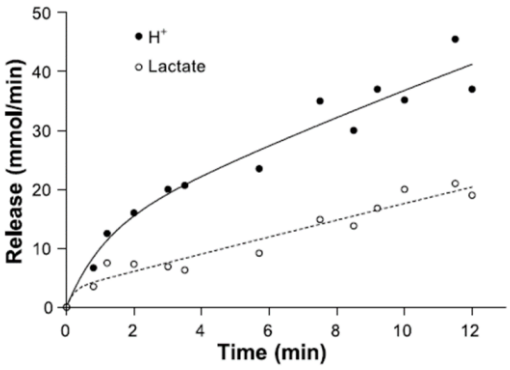
Por lo general conlleva trastornos metabólicos en el organismo

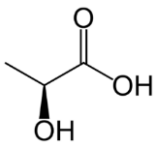


Effect of high intensity intermittent training on lactate and H^+ release from human skeletal muscle

Juel C, Klarskov C, Nielsen JJ, Krustrup P, Mohr M & Bangsbo

American Journal Physiology Endocrinology Metab 286, E245 – E251. 2004.





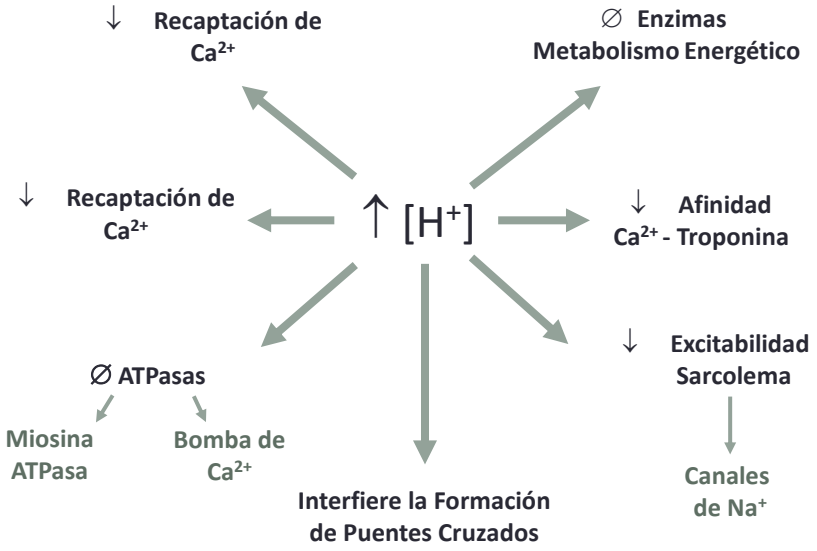
El pH del fluido extracelular del organismo en reposo es de:

7.40 ± 0.02

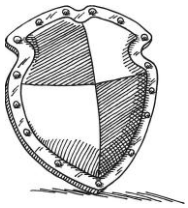
$pH = - \log [H^+]$

- El 99% del Acido Láctico es disociado en Lactato e Hidrogeniones (H^+).
- Esto llevó a pensar, incorrectamente, que solo los H^+ procedentes de la formación de lactato eran los responsables de alterar el pH.

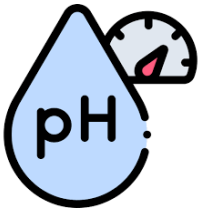
CONSECUENCIA DEL AUMENTO DE HIDROGENIONES



EFECTOS BENEFICIOSOS DE LA ACIDOSIS METABÓLICA







- Mayor liberación de O_2 de la Hemoglobina (Hb)
- Estimulación Ventilatoria
- Aumento del Flujo Sanguíneo Muscular
- Aumento del Impulso Cardiovascular



- Efecto protector por depresión de la *Fuerza Hiperpotasémica* (concentración sérica de potasio > 5,5 mEq/L - > 5,5 mmol/L) del músculo

ACIDOSIS METABÓLICA (I)

LA ACIDOSIS METABÓLICA QUE ACOMPAÑA AL EJERCICIO
¡¡¡ NO ES PROVOCADA !!!
POR EL AUMENTO DE LOS NIVELES DE LACTATO EN
LA CÉLULA O LACTATO CIRCULANDO EN SANGRE

- Es provocada por un aumento de la producción de ATP no-mitocondrial y la acumulación de protones (H^+) resultantes.
  - No existen evidencias científicas concluyentes que permitan afirmar que la producción de lactato es causa de la acidosis metabólica.
- No obstante, los niveles de lactato (músculo o sangre) pueden ser considerados un buen indicador de la producción de hidrogeniones y la correspondiente disminución del pH.

ACIDOSIS METABÓLICA (III)

- El ÁCIDO LÁCTICO es un metabolito fundamental en el músculo para producir NAD^+ citosólico y continuar la regeneración del ATP glucolítico.
- La producción de LACTATO [paso de acido láctico a lactato (ionización)] es un sistema amortiguador que consume dos protones y, en consecuencia, retarda la acidosis.
  - El lactato facilita la eliminación del protón (a través del sarcolema) en colaboración con los MCTs.
    - Existe una lanzadera intracelular de lactato (MCTs).
- El lactato eliminado de la célula compite con los carbohidratos como fuente de glucógeno.
- En consecuencia, el lactato es, junto a otros mecanismos, un interesante protector de la fatiga muscular.

Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis

Robergs RA, Ghiasvand F & Parker D.

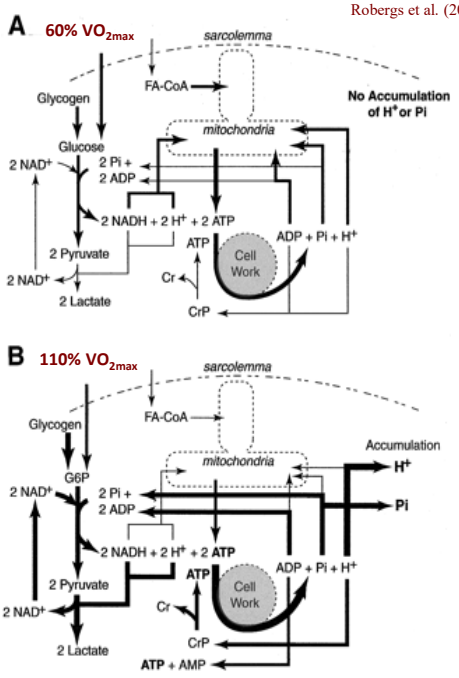
American Journal Physiol Regul Integr Comp Physiol: 287(3), R502-R516. 2004.

Mecanismos de acidosis y amortiguación de protones en el músculo esquelético

	H^+ Buffering and Removal		
Causes of Proton Release	Blood and ventilatory buffering	Intracellular H^+ buffering	H^+ removal
Glycolysis	$H^+ + HCO_3^-$	Proteins Amino acids	Mitochondrial transport
	H_2CO_3	CrP hydrolysis	$Lactate^-/H^+$ Symport
ATP hydrolysis		Lactate production	Sarcolemmal Na^+/H^+ exchange
	$H_2O + CO_2$	IMP formation	
		HCO_3^-	HCO_3^-/Cl^- Exchange
		P_i	SID

HCO_3, bicarbonate; H_2CO_3, carbonic acid; CrP, creatine phosphate; SID, strong ion difference

Robergs et al. (2004)



ACIDOSIS METABÓLICA

Influence of pre-exercise acidosis and alkalosis on the kinetics of acid-base recovery following intense exercise

Robergs R, Hutchinson K, Hendee S, Madden S, & Siegler J.

International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 15(1): 59-74. 2005.

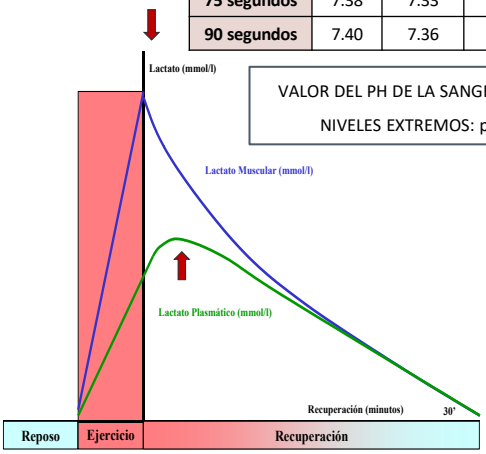
En ejercicio de baja intensidad (Fig-A), el Piruvato, NADH y los protones producidos por la glucólisis, más los productos derivados de la hidrólisis de ATP (ADP, Pi, H^+), son utilizados por la mitocondria como sustratos de la respiración mitocondrial.

En el ejercicio de alta intensidad (Fig-B), la hidrólisis de ATP ocurre en un ratio que no puede ser soportado sólo por la respiración mitocondrial.

En consecuencia, la acumulación final de protones es un balance entre:

- Las reacciones que consumen y liberan protones,
- La amortiguación celular,
- Transporte del protón fuera de la célula

Intensidad	100% vVO2 máx.		115% vVO2 máx.		130% vVO2 máx.		140% vVO2 máx.	
Duración	Pre Exercise	Post Exercise	Pre Exercise	Post Exercise	Pre Exercise	Post Exercise	Pre Exercise	Post Exercise
30 segundos	7.41	7.39	7.41	7.39	7.41	7.35	7.41	7.33
45 segundos	7.39	7.35	7.39	7.34	7.42	7.29	7.39	7.27
60 segundos	7.42	7.37	7.37	7.32	7.41	7.22	--	--
75 segundos	7.38	7.33	7.40	7.27	--	--	--	--
90 segundos	7.40	7.36	7.40	7.27	--	--	--	--



VALOR DEL PH DE LA SANGRE: Sangre arterial: 7.35-7.45; Sangre venosa: 7.25-7.35

NIVELES EXTREMOS: pH 6.8 a nivel plasmático y pH 6.4 a nivel muscular

Fuente: Handschuh et al. (1991)

LACTATO	MÚSCULO	SANGRE
Lactato en Reposo	1.0 $mmol.kg^{-1}$	0.7-0.8 $mmol.l^{-1}$
Lactato Máximo Potencial	32-40 $mmol.kg^{-1}$	25-32 $mmol.l^{-1}$

Correlation between Pre and Post Exercise Blood Lactate and pH

Shaukat Ali, Azizullah Bhatti, Habibullah Khan & Rahat Jan

Gomal Journal of Medical Sciences, 6(1), 1 - 3. 2004.

G-I: Tapiz (Inclinación: 7% - 4º) 2' - 3' a Velocidades de 7.5 a 9.0 Km/h

G-II: Tapiz (Inclinación: 0% - 0º) 10' a Velocidades de 5.0 a 6.0 Km/h

Table-1: Blood lactate of Group-I & II.

Group	Pre-exercise (mg/dl)	Post-exercise (mg/dl)	Mean of differences ± SEM	% variation	p-value
Group-I (n=15)	10.723±0.699	15.355±1.361	4.60±1.083	+43.197	< 0.001
Group-II (n=15)	10.89±0.710	13.86±1.510	2.97±0.660	+27.273	< 0.001

Key: SEM = Standard Error of the Mean, + = Increase

Table-2: Blood pH of Group-I & II.

Group	Pre-exercise (mg/dl)	Post-exercise (mg/dl)	Mean of differences ± SEM	% variation	p-value
Group-I (n=15)	7.381±0.005	7.22±0.016	-0.161±0.013	-100.00	< 0.001
Group-II (n=15)	7.378±0.005	7.257±0.018	-0.121±0.015	-100.00	< 0.001

Key: SEM = Standard Error of the Mean, – = Increase

EFECTO DEL pH SOBRE EL RENDIMIENTO DEPORTIVO

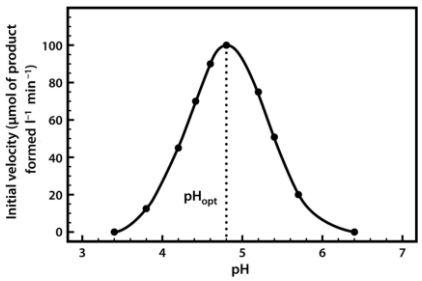
El pH influye sobre la VELOCIDAD DE LAS REACCIONES ENZIMÁTICAS

Las enzimas, al ser proteínas, son susceptibles de ser alteradas por la acción de bases o ácidos fuertes.

Con el ejercicio intenso se altera el equilibrio ácido-base provocando cambios en la actividad catalítica de algunas enzimas que participan en los procesos metabólicos que se producen continuamente en células y tejidos.

En cada caso, a un pH determinado disminuye la actividad (aumentada o disminuida) de determinadas enzimas.

- El pH (rango) en el que cada enzima desarrolla su mayor acción catalítica se le denomina **"pH óptimo".**



- El pH óptimo, incluso la simetría de la curva pH/velocidad catalítica (ácido/básico), es diferente para cada enzima e, incluso, para una misma enzima, ya que depende de múltiples factores (i.e. concentración, saturación, temperatura, etc.).

AMORTIGUACIÓN DE LA ACIDOSIS METABÓLICA

(AMORTIGUACIÓN, SISTEMA TAMPÓN O BUFFER)

En organismos vivos se producen continuamente ácidos orgánicos (productos finales de reacciones metabólicas, catabolismo de proteínas y otras moléculas biológicamente activas) que alteran el pH.

En humanos los valores extremos compatibles con la vida y con el mantenimiento de funciones vitales oscilan entre 6.8 y 7.8, siendo 7.35 a 7.45 los valores de normalidad

Mantener el pH en los fluidos intra y extracelulares es fundamental al influir en la actividad biológica de las proteínas, enzimas, hormonas, distribución de iones a través de membranas, etc.

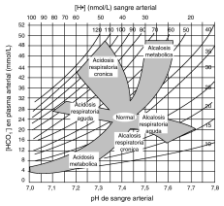
El organismo dispone de múltiples mecanismos de amortiguación de la acidosis metabólica (i.e. el aumento de H^+ durante el ejercicio intenso)

Estos mecanismos están constituidos por sustancias que evitan que no se genere variaciones apreciables del pH

Están formados por la mezcla de un ácido débil y su base conjugada,
o bien una base débil y su ácido conjugado.

Los diferentes mecanismos responsables de la amortiguación de la acidosis metabólica se podrían agrupar de la siguiente manera:

- **Amortiguación Sanguínea**
- **Amortiguación Respiratoria**
- **Amortiguación Intracelular**
- **Remoción de Hidrogeniones**





MECANISMOS PARA LA REGULACIÓN DEL EQUILIBRIO ÁCIDO-BÁSICO



SISTEMAS DE AMORTIGUACIÓN Y SISTEMAS DE COMPENSACIÓN

(BUFFER o TAMPÓN- ALMOHADILLA O MUELLE)

Representan la primera línea de defensa ante los cambios desfavorables de pH gracias a la capacidad de captar o liberar protones de modo inmediato

Un sistema amortiguador es una solución de dos o más sustancias cuya combinación se opone a los cambios de pH del medio en que se encuentre

SISTEMAS AMORTIGUADORES

TAMPONES ORGÁNICOS

PROTEÍNAS PLASMÁTICAS (Minutos)

Hemoglobina: $HbH^+ \leftrightarrow Hb^- + H^+$

TAMPONES INORGÁNICOS

TAMPÓN FOSFATO

Amortiguador Fosfato: $PO_4H_2 \leftrightarrow PO_4H^- + H^+$

AMORTIGUADOR CARBÓNICO/BICARBONATO

Es el tampón más importante (75% del Total)

$H^+ + Na^+HCO_3^-$ ' H_2CO_3 ' $CO_2 + H_2O$ ' CO_2

Ecuación de Henderson-Hasselbalch:

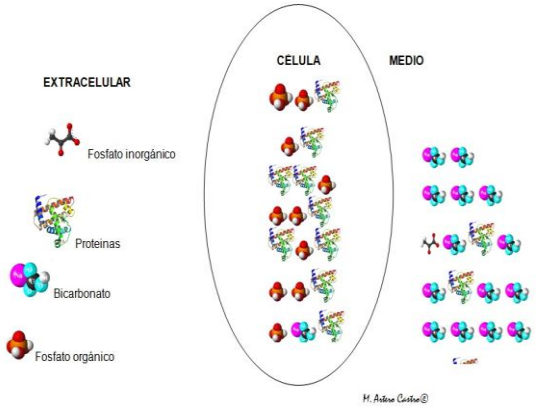
$pH = pK + Log\ [HCO_3^-] / [H_2CO_3]$

SISTEMAS DE COMPENSACIÓN

COMPENSACIÓN RESPIRATORIA (Horas)

Eliminación del CO_2

REGULACIÓN RENAL (Días)



ACIDOSIS METABÓLICA *vs.* AMORTIGUACIÓN Y REMOCIÓN DE PROTONES (H^+)

- Liberación de protones
  - Glucolísis Citosólica
  - Hidrólisis de ATP
- Amortiguación y Remoción de H^+
  - Amortiguación Sanguínea y Respiratoria
    - $H^+ + HCO_3^-$
    - H_2CO_2
    - $H_2O + CO_2$
  - Amortiguación Intracelular de H^+
    - Proteínas
    - Aminoácidos
    - Hidrólisis de PCr
    - Producción de La^-
    - Formación IMP
    - HCO_3^-
    - Pi
  - Remoción de Hidrogeniones (H^+)
    - Transporte Mitocondrial
    - Simporte La^-/H^+ (Transporte por medio de proteínas)
    - Intercambio $^+HCO_3^-/Cl^-$
    - Intercambio Na^+/H^+ Sarcolema
    - SID *Strong Ion Difference* *Diferencia Fuerte de Iones*

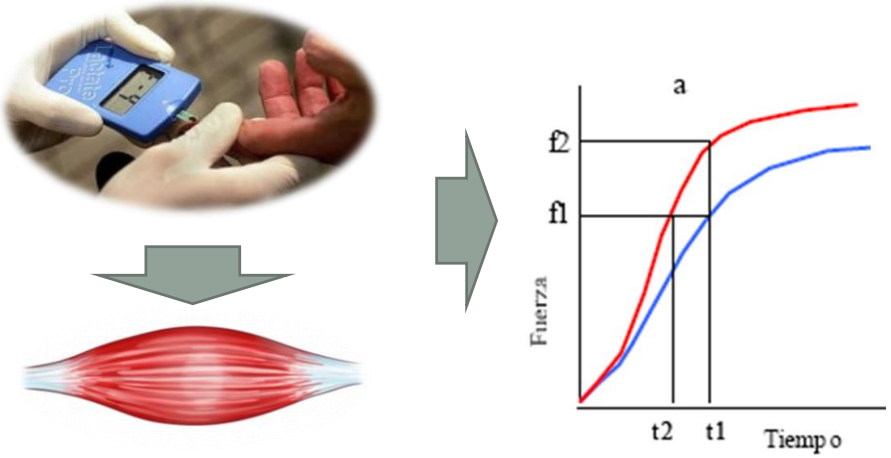
Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis

Robergs RA, Ghiasvand F & Parker D.

American Journal Physiol Regul Integr Comp Physiol

287(3): R502-516. 2004.

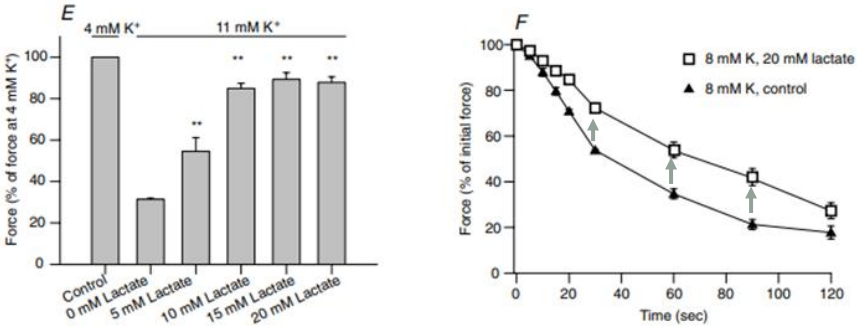
EFECTO DEL LACTATO SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA FUERZA MUSCULAR



Lactate per se improves the excitability of depolarized rat skeletal muscle by reducing the Cl− conductance

De Paoli F. V., Ørtenblad N., Pedersen T. H., Jørgensen R. & Nielsen O. B.

The Journal of Physiology, *588*(23), 4785-4794. 2010.



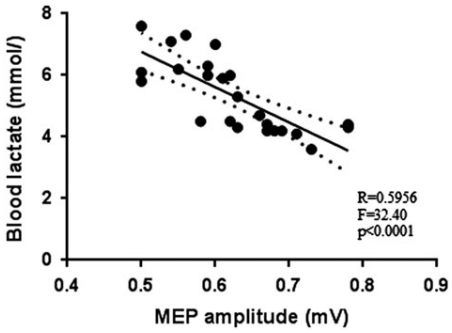
La adición de lactato puede aumentar la excitabilidad y la función contráctil de los músculos de rata despolarizados a través de mecanismos no relacionados con una reducción del pH intracelular

Somatosensory evoked potentials and blood lactate levels

Perciavalle V, Alagona G, De Maria G, Rapisarda G, Costanzo E, Perciavalle V. & Coco M. Neurological Sciences, 36(9), 1597-1601. 2015.

El **LACTATO SANGUÍNEO** parece tener un **EFECTO PROTECTOR CONTRA LA FATIGA**, al menos a nivel de la **CORTEZA SOMATOSENSORIAL PRIMARIA**, aunque a expensas de la eficiencia de las áreas adyacentes.





OTROS EFECTOS BENEFICIOSOS DEL ÁCIDO LÁCTICO EN EL ORGANISMO

- **Efecto Cardioprotector**
- **Efecto Neuroprotector**
- **Inductor de Neurogénesis**
- **Efecto Antioxidante**
- **Efecto Antiinflamatorio**
- **Pérdida de Grasa**
- **Lucha contra la Diabetes**
- **Inhibición del Apetito**
- **Liberación de IL-6 muscular**
- **Molécula de Señalización**

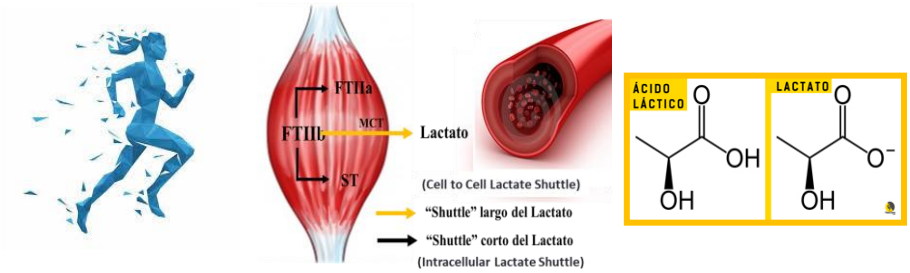


LACTATO

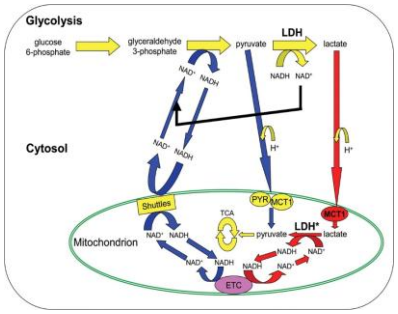




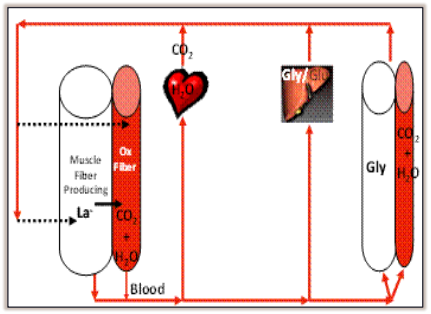
MECANISMOS DE TRANSPORTE DE LACTATO



INTRACELLULAR LACTATE SHUTTLE



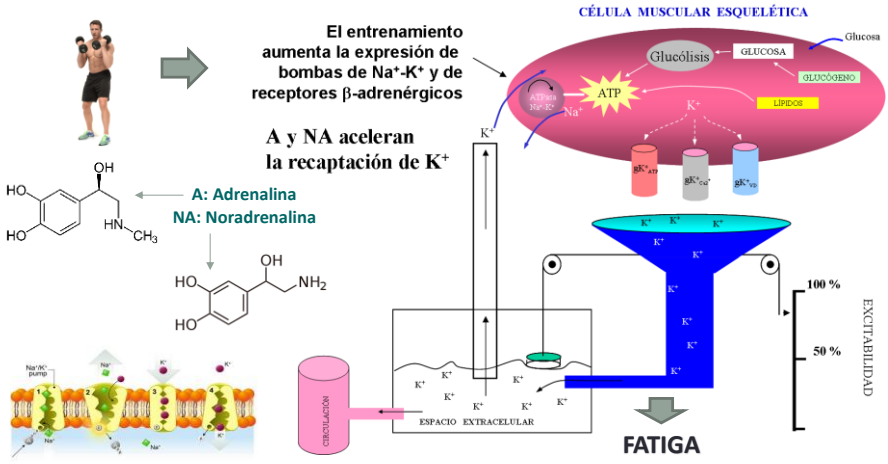
CELL TO CELL LACTATE SHUTTLE



El lactato: una visión positiva
Juan Ribas Serna
Simposium Internacional de Ciencias Aplicadas al Deporte
México DF, 2016

RELACIÓN ENTRE K^+ EXTRACELULAR Y EXCITABILIDAD DEL SARCOLEMA

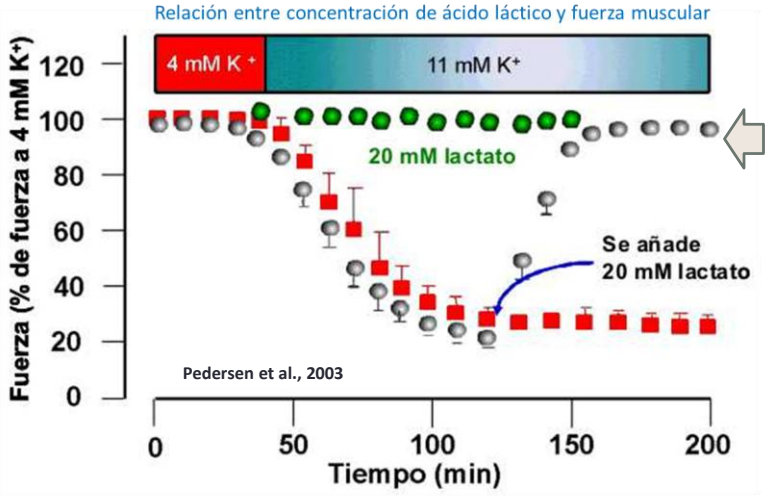
El abastecimiento energético de las bombas iónicas es fundamental para mantener la excitabilidad de la fibra muscular y la fuerza muscular



Conforme aumenta el K^+ extracelular menor es la excitabilidad de la membrana

El lactato: una visión positiva
Juan Ribas Serna
Simposium Internacional de Ciencias Aplicadas al Deporte – México 2016

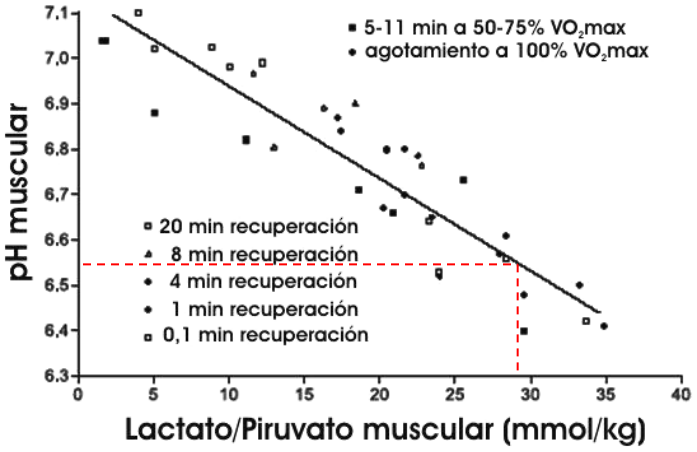
Relación entre concentración de ácido láctico y fuerza muscular



El lactato contribuye a mantener la fuerza de contracción muscular, a la vez que favorece el mantenimiento de los gradientes iónicos, mediante su acción sobre los canales de cloruro

RELACIÓN ENTRE pH Y LACTATO

(RELACIÓN NO CAUSAL)



ACIDOSIS METABÓLICA (II)

LA ACIDOSIS METABÓLICA QUE ACOMPAÑA AL EJERCICIO
¡¡¡ NO ES PROVOCADA !!!
POR EL AUMENTO DE LOS NIVELES DE LACTATO EN LA CÉLULA O CIRCULANDO EN SANGRE

- Su valor depende del balance entre la producción (*liberación*) de protones (por cualquier vía) y los mecanismos de eliminación, remoción (*remove*) o amortiguación (*buffering*).
  - El transporte por MCTs y enzimas especializadas (LDH 1,2 y 3: paso de lactato a pirúvico para su eliminación en diferentes partes del organismo).
  - Sistema *buffer* intracelular: proteínas, Pi, bicarbonato (HCO_3), PCr y lactato (H_2CO_3) entre otros.

BOMBA DE SODIO Y POTASIO (I)

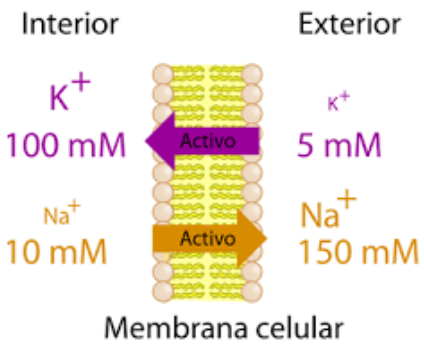
La bomba Na^+-K^+ es una proteína presente en todas las membranas plasmáticas de las células

Su función es, al fosforilarse, sacar Na^+ de la célula e introducir K^+ en el citoplasma

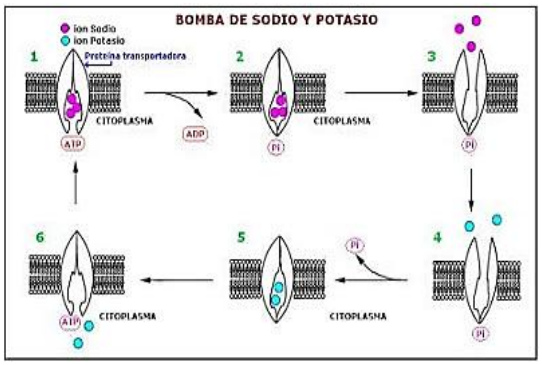
Ese intercambio permite mantener las concentraciones entre ambos cationes

Hay mayor cantidad de Na^+ fuera de las células que en su interior (≈142 a 14 mEq/L)

Hay mayor cantidad de K^+ dentro que fuera (≈140 mEq/L a 4 mEq/L)



BOMBA DE SODIO Y POTASIO (II)



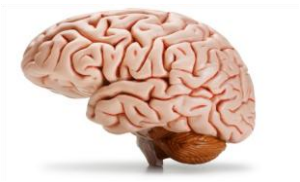
El gradiente generado produce un potencial eléctrico que aprovechan las sustancias que deben atravesar la membrana plasmática en contra del gradiente de concentración.

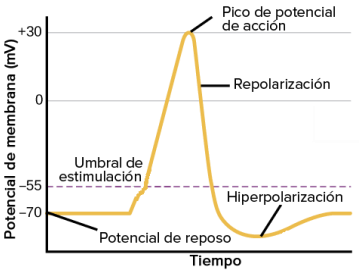
A medida que sale Na^+ de la célula, el líquido extracelular adquiere un potencial eléctrico positivo cada vez más elevado → provoca atracción de iones negativos intracelulares (Cl, HCO_3H,).

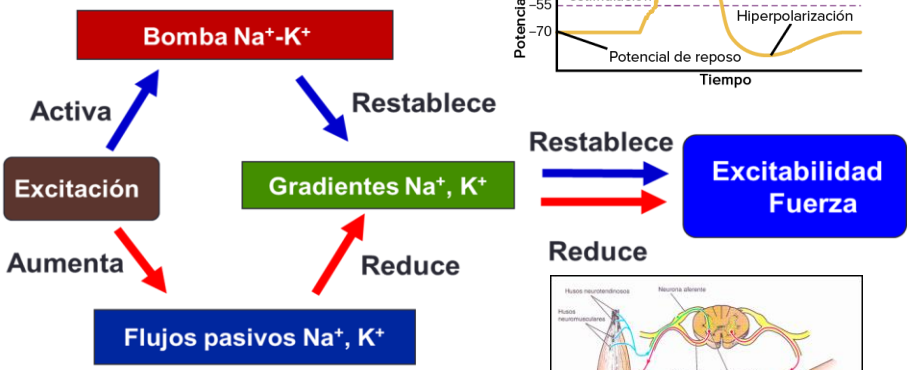
Al haber más iones de Na^+ y Cl^- en el medio extracelular,
el agua tiende a salir de la célula por ósmosis.

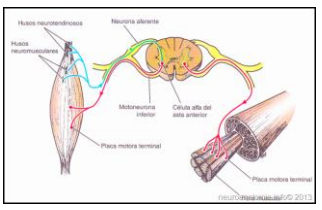
De esta manera la bomba de Na^+ y K^+ controla el volumen celular

LA BOMBA CUMPLE UN ROL CLAVE EN LA PRODUCCIÓN Y TRANSMISIÓN DE LOS IMPULSOS NERVIOSOS Y DE CONTRACCIÓN DE LAS FIBRAS MUSCULARES









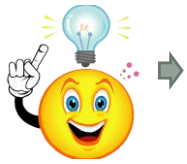
Exercise-induced increase in maximal in vitro Na-K-ATPase activity in human skeletal muscle

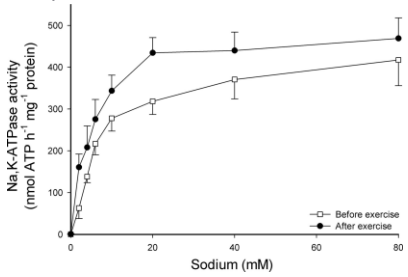
Carsten Juel, Nikolai B. Nordsborg & Jean Bangsbo

American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 304(12), R1161-R1165. 2013.

- La **actividad muscular** induce una carga extra sobre la Na-K-ATPasa (**Bomba Na-K**)
  - Su actividad debe acelerarse para contrarrestar los cambios en la concentración de iones por excitación de la membrana.
- La **hipoxia** es otro potente regulador de la actividad de Na-K-ATPasa.
  - La actividad de Na-K-ATPasa puede ser inhibida por la hipoxia.
    - Mecanismo no siempre relevante desde el punto de vista fisiológico..
- Los cambios inducidos por la actividad en una intensa actividad de la Na-K-ATPasa (entrenamiento intenso) pueden contribuir a la mayor actividad de esta enzima como respuesta crónica al entrenamiento.







Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners

Christine Hanon & Bruno Gajer

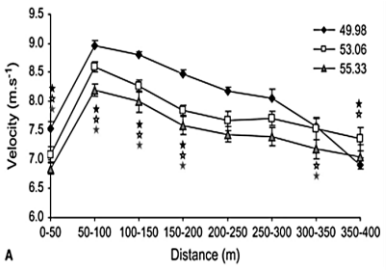
The Journal of Strength & Conditioning Research, 23(2), 524-531. 2009.

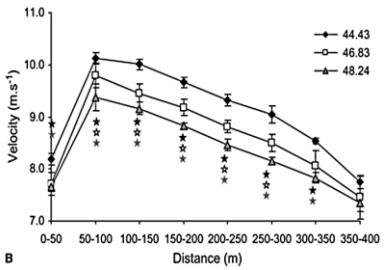
Caída de la Velocidad (%), LZ y FZ
entre los 200-300 m, 300-350 m & 350-400 m

	Women			Men		
	WCL (%)	NL (%)	RL (%)	WCL (%)	NL (%)	RL (%)
Velocity	−4.96	−1.91	−2.5	−6.3	−7.4	−7.7
Stride length	−3.55	−2.79	−2.38	−5.7	−6	−4.8
Stride frequency	−1.59	+0.54	−0.27	−0.8	−1.78	−2.9

	Women			Men		
	WCL (%)	NL (%)	RL (%)	WCL (%)	NL (%)	RL (%)
Vitesse	−5.84	−2.2	−2.97	−5.75	−5.2	−3.9
Stride length	−3.22	−1.43	−1.46	−3	−2.7	−3.2
Stride frequency	−2.96	−0.81	−1.38	−2.8	−2.6	−1.1

	Women			Men		
	WCL (%)	NL (%)	RL (%)	WCL (%)	NL (%)	RL (%)
Vitesse	−8.97	−2.39	−1.81	−9.1	−7.6	−6.1
Stride length	−3.33	−2.43	−2.47	−2.6	+0.4	−0.9
Stride frequency	−5.55	+0.55	+0.56	−6.4	−7.8	−5.1





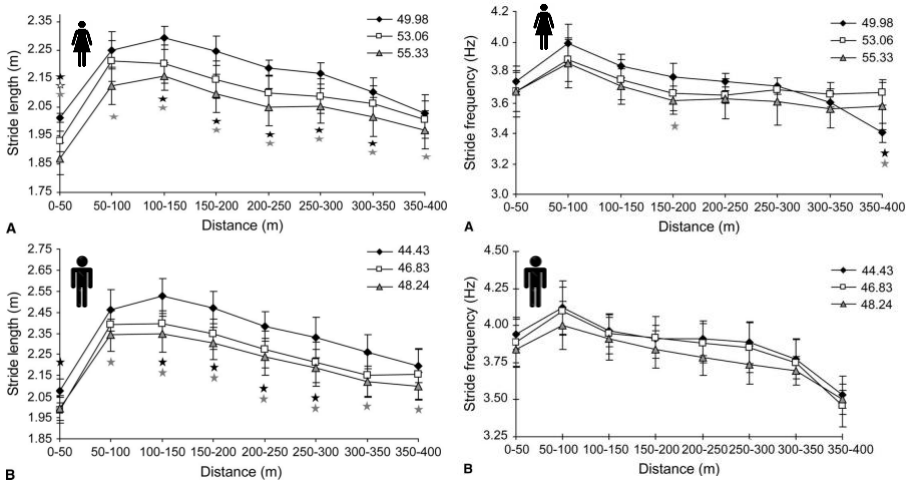
Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners

Christine Hanon & Bruno Gajer

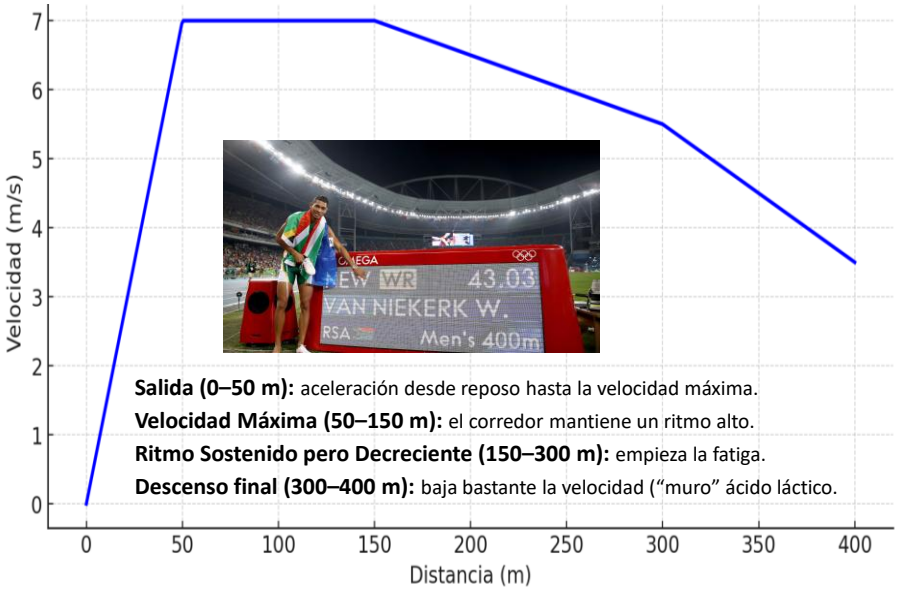
The Journal of Strength & Conditioning Research, 23(2), 524-531. 2009.

EVOLUCIÓN DE LA LZ & FZ EN CARRERAS DE 400 M

Longitud de Zancada | **Frecuencia de Zancada**



Evolución de la Velocidad en Carreras de 400 m



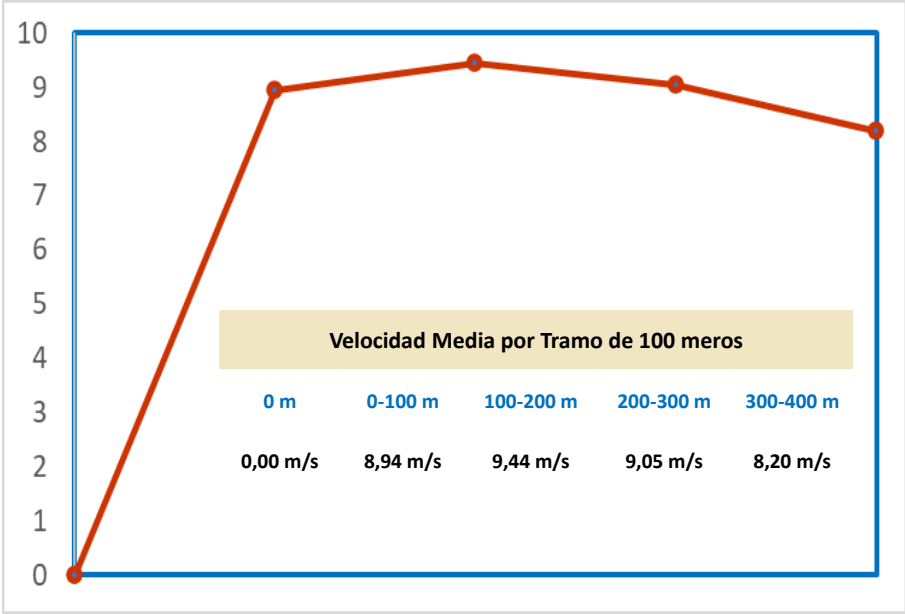
Salida (0–50 m): aceleración desde reposo hasta la velocidad máxima.

Velocidad Máxima (50–150 m): el corredor mantiene un ritmo alto.

Ritmo Sostenido pero Decreciente (150–300 m): empieza la fatiga.

Descenso final (300–400 m): baja bastante la velocidad (“muro” ácido láctico.

VELOCIDAD MEDIA (m/s) POR TRAMOS DE 100 METROS



Scientific Research Project Biomechanical Analyses at the 12th WC Berlin 2009

Final Report Sprint Men (Semifinalistas & Finalistas de 400 m)

Helmar Hommel

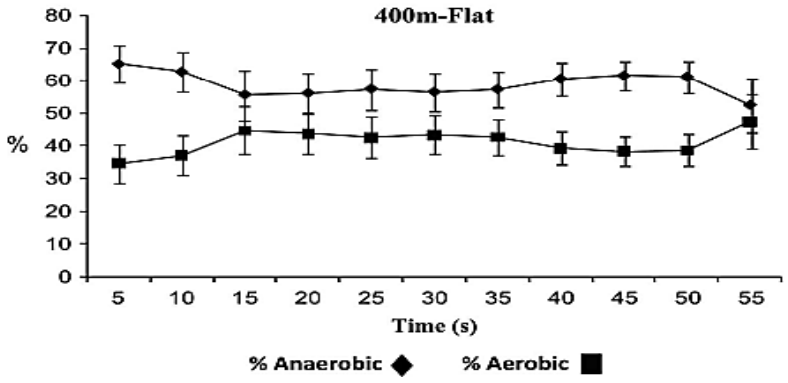
	t_{400m}	t_{200m}	Diff.	$t_{200-400m}$	t_{300m}	t_{100m}	$t_{100-200}$	$t_{200-300m}$	$t_{300-400m}$
Merritt LaShawn	**44,06**	21,49	1,08	22,57	32,32	11,14	10,35	10,83	11,74
	44,37	21,51	1,35	22,86	32,50	10,94	10,57	10,99	11,87
Wariner Jeremy	**44,60**	21,41	1,78	23,19	32,34	10,98	10,43	10,93	12,26
	44,69	21,63	1,43	23,06	32,48	11,11	10,52	10,85	12,21
Quow Renny	**45,02**	22,43	0,16	22,59	33,32	11,70	10,73	10,89	11,70
	44,53				32,97				11,56
Henry Tabarie	**45,42**	21,83	1,76	23,59	33,17	11,18	10,65	11,34	12,25
	44,97	21,91	1,15	23,06	32,89	11,22	10,69	10,98	12,08
Brown Chris	**45,47**	21,31	2,85	24,16	32,53	10,98	10,33	11,22	12,94
	44,95	21,72	1,51	23,23	32,84	11,08	10,64	11,12	12,11
Gillick David	**45,53**	21,83	1,87	23,70	33,18	11,24	10,59	11,35	12,35
	44,88	21,80	1,28	23,08	32,77	11,27	10,53	10,97	12,11
Bingham Michael	**45,56**	21,84	1,88	23,72	33,02	11,19	10,65	11,18	12,54
	44,74	21,84	1,06	22,90	32,76	11,15	10,69	10,92	11,98
Djhone Leslie	**45,90**	22,04	1,82	23,86	33,46	11,34	10,70	11,42	12,44
	44,80	21,87	1,06	22,93	32,85	11,32	10,55	10,98	11,95

	t_{400m}	t_{200m}	Diff.	$t_{200-400m}$	t_{300m}	t_{100m}	$t_{100-200}$	$t_{200-300m}$	$t_{300-400m}$
Collazo William	**44,93**	21,56	1,81	23,37	32,67	10,97	10,59	11,11	12,26
Miller Ramon	**44,99**	21,99	1,01	23,00	32,80	11,26	10,73	10,81	12,19
Chambers Ricardo	**45,13**	22,00	1,13	23,13	32,88	11,28	10,72	10,88	12,25
Borlée Kévin	**45,28**	22,28	0,72	23,00	33,34	11,40	10,88	11,06	11,94
Wroe Sean	**45,32**	21,52	2,28	23,80	32,81	11,03	10,49	11,29	12,51
Steffensen John	**45,50**	21,74	2,02	23,76	32,85	11,29	10,45	11,11	12,65
Hurtault Erison	**45,59**				32,97				12,62
Yousif Rabah	**45,63**	21,80	2,03	23,83	33,07	11,33	10,47	11,27	12,56

Anaerobic and aerobic energy system contribution to 400-m flat and 400-m hurdles track running

Zouhal, H., Jabbour, G., Jacob, C., Duvigneau, D., Botcazou, M.,... & Moussa, E. The Journal of Strength & Conditioning Research, 24(9), 2309-2315. 2010.

MM-400 SEG.	LACTATO Mmol/l	F.C. Lat/min	VO_2max ml/kg/min	AERÓBICO %	ANAERÓBICO %
52.04 ± 0.91	17.3 ± 1.5	198 ± 5	63.0 ± 3	37.4 ± 2.7	62.5 ± 2.7



LOS PROCESOS DE RECUPERACIÓN EN PRUEBAS DE VELOCIDAD

Parámetro / Escala temporal	100 m (≈10 s)	200 m (≈20–25 s)	400 m (≈43–60 s)
Fosfocreatina (PCr)	↓ fuerte, Recup. 80–90% en 2'–3'; Casi completa en 3'–6'	Recupera rápido, pero más lenta la fase final por acidosis; 6'–10' para rendimiento pleno	Recup. lenta por alta acidosis; >10' para rendimiento pleno
Lactato (sangre)	Pico 3'–5' (8–11 mmol/L)	Pico 3'–5' (≈11–13 mmol/L)	Pico 3'–5' (>12–15 mmol/L)
pH muscular	Cae moderadamente; Recup. lentamente (>10')	Caída mayor; recuperación más lenta (≥20')	Acidosis muy fuerte; normalización tardía (>30')
K^+ extracelular	Pico alto durante el sprint; Recupera en ≈3'	Similar, pero subida mayor	Similar, pero recuperación afectada por acidosis
FC	Baja en 3'–6'	Reactivación más lenta	Recup. más lenta y sostenida
VO_2	Elevación breve (pocos minutos)	Elevación moderada (hasta ≈10')	Elevación grande y sostenida (>15')
Volumen plasmático	Baja transitoria; basal en ≈30'	Ídem	Ídem (más pronunciado)
Rendimiento (siguiente sprint)	Buena 6'–10'; óptima con pausas largas (15'–20')	Mejor con pausas largas (≥10'–15')	Requiere pausas muy largas (≥20'–30') para rendimiento máximo
Neuromuscular (CMJ, Fuerza)	↓ leve-moderado; recupera en horas	↓ mayor (≈−17% CMJ); recuperación 24–48 h	↓ muy grande (≈−27% CMJ); déficit 24–72 h
Daño Muscular (CK, DOMS)	Picos 24 horas; Recuperación en ≈48 h	Picos 24–48 horas	Picos 24–48 horas Recuperación hasta 72 h