



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Educación Física y
Salud.

Nuevas perspectivas sobre los factores
determinantes del rendimiento en sprint: Perfil
Fuerza-velocidad, entrenamiento y prevención de
lesiones

Autor:

María José Salmerón Martínez

Directores:

Dr. D. Pedro Jiménez Reyes
Dra. Dña. Natalia Romero Franco

Murcia, junio de 2017



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Educación Física y
Salud

Nuevas perspectivas sobre los factores
determinantes del rendimiento en sprint: Perfil
Fuerza-velocidad, entrenamiento y prevención de
lesiones

Autor:

María José Salmerón Martínez

Directores:

Dr. D. Pedro Jiménez Reyes
Dra. Dña. Natalia Romero Franco

Murcia, junio de 2017



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

AUTORIZACIÓN DE LO/S DIRECTOR/ES DE LA TESIS
PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Pedro Jiménez Reyes y la Dra. Dña. Natalia Romero Franco como Directores de la Tesis Doctoral titulada “Nuevas perspectivas sobre los factores determinantes del rendimiento en sprint: Perfil Fuerza-velocidad, entrenamiento y prevención de lesiones” realizada por Dña. María José Salmerón Martínez en el Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011, 1393/2007, 56/2005 Y 778/98, en Murcia a 5 de junio de 2017

RESUMEN

El entrenamiento de la velocidad es crucial para el desarrollo de gran parte de las modalidades atléticas y deportivas, por ello, optimizar su rendimiento y aprovechar al máximo las capacidades del deportista para su desarrollo es un aspecto decisivo en la vida deportiva de cualquier atleta. Sin embargo, a pesar de su importancia, hasta el momento no existe un consenso en la evaluación más adecuada del deportista de cara a la mejora específica de las variables más importantes a entrenar para la obtención del máximo rendimiento con el mínimo riesgo lesivo. Existen controvertidas opiniones acerca de los parámetros determinantes del sprint que hacen que sea difícil un consenso entre los profesionales del deporte. Por tanto, es necesario profundizar en esta temática para aportar información útil de cara a la programación del mejor entrenamiento en cada momento.

En este sentido, es importante que los entrenadores y atletas conozcan qué pruebas son las más adecuadas para evaluar la verdadera capacidad y habilidad de los deportistas e interpretar los datos obtenidos. Todo proceso de entrenamiento necesita un exhaustivo control para optimizar la carga aplicada y así, buscar la mejora de rendimiento y resultados tan ansiada por los deportistas.

Este control significa una parte importante del proceso de entrenamiento, con repercusiones en los adelantos en el aprendizaje, la situación motivadora, la disposición para el esfuerzo, la satisfacción y la confianza en sí mismo del atleta.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la relación entre los parámetros determinantes del Perfil mecánico de Fuerza-velocidad (Perfil F-v) en sprint y salto (estudio I), determinar la carga óptima en el entrenamiento específico de arrastre y la influencia de la fuerza horizontal (estudio II), además de examinar los efectos de la realización de carreras intensas repetidos en las principales variables metabólicas, mecánicas y estabilométricas de los atletas, como parámetros determinantes del gesto de carrera y la prevención de lesiones (estudio III).

Los principales resultados de esta tesis fueron: a) la variable fuerza teórica máxima (F_0) derivada del Perfil F-v muestra una relación directa significativa con todos los test de salto específicos, que tiende a ser superior en los test de menor

número de contactos y caracterizados por una menor velocidad de ejecución como el pies juntos, triple salto o el test de 10 saltos horizontales seguidos (10HZT) (estudio I); b) la variable velocidad teórica máxima de desplazamiento (v_0) derivada del Perfil F-v muestra una alta y directa correlación con los test de salto que contienen mayor número de contactos y caracterizados por una mayor velocidad de ejecución como quíntuple y principalmente, el décuple (estudio I); c) las correlaciones entre los parámetros del Perfil F-v y los test de saltos horizontales son similares tanto en hombres como en mujeres (estudio I); d) los tiempos parciales de distancias más cortas (20 y 40 metros) muestran correlaciones más altas con aquellos test de salto que contienen menor número de apoyos, mientras que los tiempos de distancias más largas tienden a correlacionar de forma más alta con aquellos saltos con mayor número de apoyos (estudio I); e) la altura de salto correlaciona de forma significativa directa con la aplicación de fuerza horizontal durante un entrenamiento específico de velocidad con sobrecarga con arrastres (estudio II); f) los atletas muestran elevados valores tanto de lactato como de amonio desde la 2ª carrera de 80 m, con tamaños del efecto elevados que también se evidencia en una pérdida de salto progresiva según se realiza el resto de carreras (estudio III); g) el tiempo necesario para recorrer la distancia de 80 m y sus parciales aumenta según se realizan las repeticiones, siendo más afectadas los tiempos correspondientes a distancias más largas (80 m y 60 m) (estudio III); la repetición de carreras de 80 metros no influye en la estabilidad postural de los atletas, a pesar de la fatiga refleja en las variables mecánicas y el ascenso de los valores en las variables metabólicas (estudio III).

A modo de síntesis, esta tesis muestra una importante relación entre los test de salto específicos tradicionalmente empleados en el entrenamiento de atletas velocistas como son el salto a pies juntos (PJ), triple salto (TPJ), pentasalto (QPJ), decasalto (DCJ) y 10 saltos horizontales (10HZT) y los parámetros más relevantes que determinan el perfil F-v del deportista: F_0 y v_0 . Además, hemos comprobado como el uso del salto vertical puede ser una herramienta para monitorizar la aplicación de fuerza horizontal durante entrenamiento de velocidad específicos con sobrecargas con arrastres. También se evidencia una importante relación entre los efectos mecánico y metabólico agudos al repetir carreras de velocidad de 80 metros en lo que se considera un entrenamiento típico de velocidad o resistencia a la velocidad. Y se observa que la pérdida de

velocidad o el descenso de rendimiento en 80 metros es proporcionalmente superior en la fase de máxima velocidad (de 40 a 60 y de 60 a 80 metros) que en la fase acelerativa (de 0 a 20 y de 0 a 40 metros). Asimismo, estos hallazgos parecen no tener relación con otros parámetros muy importantes en la prevención de lesiones como la estabilidad postural.

Debido a nuestros principales hallazgos, como aplicaciones prácticas debemos considerar la inclusión de saltos específicos como parte esencial del entrenamiento y práctica determinante en el perfil del deportista. Del mismo modo, las distancias de las series deben orientarse a una menor distancia como 5 10 o 15 metros de cara a la influencia en la F_0 , o a distancias más largas, de entre 60, 80 o 100 metros si lo que queremos es mejorar la v_0 , las cuales podrían realizarse sin incrementar el balanceo postural del atleta y por tanto, el riesgo lesivo derivado del posible deterioro de esta variable, aunque son necesarios más estudios que corroboren estos resultados. Es importante también considerar las pérdidas en CMJ como un buen indicador de la fatiga por depender muy directamente, al igual que los sprints, de factores neurales, pudiendo estimar el estrés metabólico a través del mismo.

Palabras clave: carreras de velocidad, entrenamiento, Perfil Fuerza-velocidad, fuerza horizontal.

SUMMARY

Speed training is crucial for athletic and sporting modalities. Therefore, optimizing its performance and maximizing the athlete's abilities for its development is a decisive aspect of any athlete's sporting life. However, despite its importance, the most adequate evaluation of the athletes is controversial and it is unknown the most important variables that should be improved to specific improvements and obtain the maximum performance with the minimum harmful risk. There are different and even opposed opinions about the determining parameters of the sprint. This situation makes difficult to reach a consensus among sports professionals. Therefore, it is necessary to clarify what is the most useful information for the best training program.

In this sense, it is important that coaches and athletes know what tests are most appropriate to evaluate athletes and interpret the data obtained. Every training process needs an exhaustive control to optimize the applied load and thus, to look for the improvement of performance and results that athletes desired.

This control means an important part of the training process, with repercussions on the athletes' progress in learning, motivation, readiness for effort, satisfaction and self-confidence.

Therefore, the aim of the present research was to analyze the relationship between the determinant parameters of the Mechanical Profile of Force-velocity (Profile Fv) in sprint and jump (study I), determine the optimal load in the specific load training and the influence of the horizontal force (study II), as well as examining the effects of repetitive intensive sprints on the main metabolic,

mechanical and stabilometric variables of athletes, as determinants of the performance and injury prevention (study III).

The main results of this thesis were: a) the maximum theoretical strength (F_0) derived from the Fv Profile shows a direct relationship with all the specific jump tests, which tends to be higher in the tests with fewer contacts and characterized by a lower speed of execution as the feet together, triple jump or the test of 10 horizontal jumps followed (10HZT) (study I); b) the theoretical maximum velocity of displacement (v_0) derived from the Profile Fv shows a high and direct correlation with the jump tests that contain a greater number of contacts and characterized by a higher execution speed as quintuple and mainly, the decuple (study I); c) correlations between the parameters of the F-v profile and the d horizontal jumps are similar in both males and females (study I); d) shorter distances (20 and 40 meters) show higher correlations with those jump tests that contain less supports, while longer distances tend to correlate higher with those jumps with greater number of supports (study I); e) jump height shows direct and significant correlation with the application of horizontal force during specific training with overload with drag (study II); f) athletes show high values of both lactate and ammonium from the 2nd run of 80 m, with high effect sizes also evident in a progressive jump loss as the rest of races (study III); g) the time required to travel the distance of 80 m and its partitions increases as the repetitions are performed, with the times corresponding to longer distances (80 m and 60 m) being more affected (study III); h) the repetition of 80-meter races does not influence the postural stability of the athletes, despite the fatigue reflected in the mechanical variables and the high values in the metabolic variables (study III).

As a synthesis, this thesis shows an important relation between the specific jump tests traditionally used in the training of sprinter athletes such as jump to feet (PJ), triple jump (TPJ), quintuple (QPJ), decuple (DPJ) and 10 horizontal jumps (10HZT) and the most relevant parameters that determine the athlete's Fv profile: F0 and v0. In addition, vertical jump can be a tool to monitor the application of horizontal force during specific speed training with overloads with drags. There is also evidence of an important relationship between acute mechanical and metabolic effects when repeating 80-meter speed races in what is considered a typical speed or speed resistance training. In addition, the loss of velocity or the decrease of performance in 80 meters is proportionally higher in the phase of maximum speed (from 40 to 60 and from 60 to 80 meters) than in the acceleration phase (from 0 to 20 and from 0 At 40 meters). These findings seem to be unrelated to very important parameters in the prevention of injuries such as postural stability.

Due to our main findings, as practical applications we must consider the inclusion of specific jumps as an essential part of the training and determining practice in the profile of the athlete. In the same way, the distances of the series should be oriented to a less distance as 5, 10, or 15 meters of race to the influence in the F0, or to longer distances, of 60, 80 or 100 meters if we want to improve the V0, which could be performed without increasing the postural balance of the athlete and, therefore, the harmful risk derived from the possible deterioration of this variable. In this sense, more studies are necessary to corroborate these results. It is also important to consider the losses in CMJ as a good indicator of fatigue because it depends, like sprints, on neural factors, and may estimate the metabolic stress.

Key words: speed races, training, Profile Force-speed, Horizontal force

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi agradecimiento a todas las personas que me han facilitado las cosas para que este trabajo llegara a un feliz término.

A mi director de tesis, Dr. Pedro Jiménez Reyes, porque ya en 2013 no dudó en guiar este estudio y me ha estado apoyando durante todos estos años contagiándome su pasión por el atletismo y la investigación.

A la Dra. Natalia Romero Franco, también directora de esta tesis, quien fue una compañera siempre generosa y dispuesta, que compartió conocimientos y experiencias que fueron de gran valor. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y su apoyo.

Quiero expresar también mi agradecimiento a Fernando Capelo por su participación activa en el desarrollo de esta tesis durante estos últimos meses. No cabe duda que su colaboración ha enriquecido el trabajo realizado.

No puedo olvidarme de mis compañeros de entrenamiento y resto de atletas que participaron en esta investigación, que sin ellos, no habría sido posible la realización de esta tarea.

Deseo también expresar todo mi agradecimiento a mi familia, por su apoyo incondicional a lo largo de este trayecto. Por último, dar las gracias a mi mejor amiga Blanca que no pasó ni un día en el que me preguntara cómo llevaba la tesis y de un modo u otro, ha respaldado este esfuerzo.

"Un camino de mil millas
comienza con un paso"
Benjamin Franklin

ÍNDICE GENERAL

SIGLAS Y ABREVIATURAS	25
ÍNDICE DE FIGURAS Y DE TABLAS	25
FIGURAS	27
TABLAS	33
I - INTRODUCCIÓN	37
1.1. La carrera de velocidad o sprint	37
1.2. Las teorías de la carrera de velocidad	40
1.3. Análisis de la carrera de velocidad desde el punto de vista biomecánico	42
Fases de apoyo y vuelo de la carrera de velocidad	43
Fases de aceleración, máxima velocidad y desaceleración de la carrera de velocidad	45
Musculatura implicada durante las distintas fases de la carrera de velocidad	51
Frecuencia y amplitud de zancada	52
1.4. Análisis de la carrera desde el punto de vista biomecánico	59
Cinemática y cinética: fase de aceleración	59
Cinemática y cinética: fase de máxima velocidad	62
1.5. Análisis del sprint desde el punto de vista fisiológico	64

Fuentes de obtención de energía durante las carreras de velocidad	64
Parámetros utilizados para el análisis fisiológico de la carrera de velocidad.....	70
1.6. Revisión a los métodos para el análisis del sprint.....	75
La electromiografía	76
Análisis de movimiento (estereofotogrametría).....	78
Placas de fuerza	79
Sensores de presión: baropodometría.....	79
Acelerómetros.....	80
Giroscopios.....	82
Electrogoniómetros	83
1.7. Nuevas perspectivas para el análisis del sprint.....	84
Tapiz instrumentado	84
Radar	85
1.8. Perfil Fuerza-Velocidad.....	86
Aproximación teórica	86
Fuerza horizontal y GFR	93
1.9. Parámetros relacionados con la carrera de velocidad.....	96
Fuerza y carrera de velocidad	96
Salto y carrera de velocidad.....	99

1.10. Efectos de la repetición de sprint sobre factores mecánicos, metabólicos y propioceptivos	102
Efectos mecánicos.....	103
Efectos metabólicos.....	107
Efectos propioceptivos	108
II - JUSTIFICACIÓN	115
HIPÓTESIS	116
III - OBJETIVOS.....	121
Objetivos generales	121
Objetivos específicos.....	121
IV - MATERIAL Y MÉTODOS.....	125
Estudio I Relación entre los parámetros determinantes del perfil mecánico de Fuerza-velocidad en sprint y salto y los test específicos de salto en la modalidad de velocidad.....	126
Diseño	126
Sujetos.....	126
Variables.....	127
Test	128
Instrumentos de medida	135
Procedimiento.....	138
Análisis de datos	139

Estudio II Perfil fuerza-velocidad en carreras con arrastre: influencia de la fuerza horizontal.....	143
Diseño	143
Sujetos	143
Variables	143
Tests.....	145
Instrumentos de medida	147
Procedimiento.....	147
Análisis de datos	148
Estudio III Efectos mecánicos, metabólicos y estabilométricos de un entrenamiento específico de resistencia a la velocidad	149
Diseño	149
Sujetos	149
Variables	149
Tests.....	151
Instrumentos de medida	152
Procedimiento.....	154
Análisis de datos	154
V - RESULTADOS.....	159
Estudio I Relación entre los parámetros determinantes del perfil mecánico de Fuerza-velocidad en sprint y salto y los test específicos de salto en la modalidad de velocidad.....	159

Estudio II Perfil fuerza-velocidad en carreras con arrastre: influencia de la fuerza horizontal.....	173
Estudio III Efectos mecánicos, metabólicos y estabilométricos de un entrenamiento específico de resistencia a la velocidad	178
VI - DISCUSIÓN.....	185
Estudio I Relación entre los parámetros determinantes del perfil mecánico de Fuerza-velocidad en sprint y salto y los test específicos de salto en la modalidad de velocidad.....	185
Estudio II Perfil fuerza-velocidad en carreras con arrastre: influencia de la fuerza horizontal.....	194
Estudio III Efectos mecánicos, metabólicos y estabilométricos de un entrenamiento específico de resistencia a la velocidad	201
VII - CONCLUSIONES.....	217
VIII –LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	221
IX – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	225

SIGLAS Y ABREVIATURAS

COM	Centro de gravedad (center of mass)
GCTs	Tiempo de contacto con el suelo (ground contact times)
V_{max}	Máxima velocidad de carrera
V_{loss}	Pérdida de velocidad
EMG	Electromiografía
D TD	Distancia entre apoyos (touchdown distance)
D TO	Distancia de despegue de los dedos (toe-off distance)
FT	Tiempo de vuelo
SL	Longitud de zancada (step length)
SF	Frecuencia de zancada (step frequency)
GRF	Fuerzas de reacción contra el suelo (ground reaction forces)
PCr	Fosfocreatina
ATP	Adenosin trifosfato
AMP	Adenosín monofosfato
CoP	Centro de presión (center of pressure)
P_{max}	Potencia máxima
P F-v	Perfil fuerza-velocidad
P F-v hzt	Perfil fuerza-velocidad horizontal
P F-v vtc	Perfil fuerza-velocidad en salto vertical
RM	Repetición máxima
SJ	Salto sin contramovimiento (squat Jump)
SJl	Salto sin contramovimiento con carga (squat jump load)
CMJ	Salto con contramovimiento (countermovement Jump)
CMJl	Salto con contramovimiento con carga (countermovement jump load)
DJ	Drop jump
SH	Salto de longitud

PJ	Salto a pies juntos
STJ	Triple salto
TPJ	Triple salto
QPJ	Pentasalto
DCJ	Decasalto
10HZT	10 saltos horizontales seguidos
FH	Fuerza horizontal
BW	Peso corporal (body weight)
RFD	Ratio de fuerza desarrollada (rate of force development)
DRF	Descenso en el ratio de aplicación de fuerza
RF	Ratio de fuerza
RFmax	Ratio de fuerza máxima
RFpeak	Valor máximo del vector horizontal de fuerza
Fo	Fuerza teórica máxima
Vo	Velocidad teórica máxima de desplazamiento
Hz	Herzios
HZT-Fo	Máxima fuerza horizontal teórica producida
HZT-Vo	Máxima velocidad de carrera teórica
VT-Fo	Máxima fuerza teórica producida por los miembros inferiores
VT-Pmax	Máxima potencia mecánica de salida.
Sfv	Inclinación de la relación lineal F-V
Sfvopt	Perfil óptimo de fuerza-velocidad
Fvimb	Magnitud de la diferencia relativa entre SFv y Sfvopt
PF	Pico de fuerza
FN	Fatiga neuromuscular
CEA	Ciclo estiramiento-acortamiento
MVC	Contracción voluntaria máxima (maximum voluntary contraction)
ETM	Error típico de medida
CV	Coefficiente de variación
CCC	Coefficiente de correlación interclase (concordance correlation coefficient)
PC	Peso corporal
h	Altura

ÍNDICE DE FIGURAS Y DE TABLAS

FIGURAS

Figura 1: curva típica de velocidad-tiempo medido por el radar (línea gruesa) y modelado por la ecuación biexponencial (línea fina). (Desde Morin, Jeannin, Chevallier, y Belli, 2006).

Figura 2: a) y b) modelo determinista de carreras de velocidad (Hunter, 2004).

Figura 3: definición de la distancia de vuelo y distancia de apoyos ($D_{TO} + D_{TD}$)

Figura 4: definición de ángulo usado por Kunz y Kaufman (1981). λ = ángulo muslo. Υ = ángulo aterrizaje de zancada. ε = aceleración angular media del muslo.

Figura 5: (a) la utilización del ATP derivada del metabolismo anaeróbico y (b) promedio de la potencia de salida durante un sprint en bici durante diferentes duraciones (datos citados de los estudios de la tabla 2)

Figura 6: las relaciones fuerza-velocidad y potencia-velocidad en el músculo (sólo acciones concéntricas)

Figura 7: la estimación total de la utilización del ATP en el metabolismo anaeróbico y aeróbico durante dos sprints de 30s separados por 4 minutos de descanso. La altura de la columna representa el promedio de potencia de salida de cada sprint. Datos de Bogdanis et al., (1994).

Figura 8: la potencia de salida en el sprint y la resistencia del atleta durante 30 s de sprint en bicicleta.

Figura 9: el curso temporal (a) de la resíntesis de la fosfocreatina (PCr) y la desaparición del lactato en el músculo y (b) la recuperación del pico de la potencia de salida (PPO) tras 30s de sprint en bicicleta. Datos de Bogdanis et al. (1996).

Figura 10: imagen del tapiz instrumentado para el sprint. (A) Carril de metal anclado a la pared que permite individualizar la altura del punto de fijación (B), anclaje para mantener la cuerda horizontal. (C) Cuerda de escalada inextensible. (D) Cinturón de pesas. (E) Cinta de correr y tapiz montados con los cuatro transductores piezoeléctricos de cristal.

Figura 11: desequilibrio en el Perfil mecánico F-V. Cada círculo representa un SJ con su carga adicional dada. (Samozino et al., 2013).

Figura 12: altura (h) en el SJ, expresada en relación a la altura máxima (h_{max}) de acuerdo con el Perfil F-v (pendiente de la relación F-v (S_{fv}) relacionado con su (S_{fvopt}) (Samozino, Edouard, Sangnier, Brughelli, Gimenez, & Morin 2013).

Figura 13: las tres posiciones clave durante un SJ vertical y las tres distancias utilizadas para los cálculos propuestos. (Samozino, Morin, Hintzy, & Belli 2008)

Figura 14: relación matemática de las variables del Perfil F-v. Aquí, los valores de h_{po}, F₀ y V₀ son 0.4 m, 30Nkg₁ y 3ms₁, respectivamente. (Samozino, Morin, Hintzy, & Belli 2010)

Figura 15: altura (h) en el CMJ, expresada en relación a la altura máxima (h_{max}) de acuerdo con el Perfil F-v (pendiente de la relación F-v (S_{fv}) relacionado con su (S_{fvopt}) (Jimenez-Reyes, Samozino, Cuadrado-Penafiel, Conceicao, Gonzalez-Badillo & Morin, 2014).

Figura 16: representación esquemática de la relación de fuerzas (RF) y expresión matemática como una función del total (F_{tot}) y (F_H) (es decir, el contacto promediado) las fuerzas de reacción del suelo netas positivas horizontales. La orientación hacia delante del vector total de GRF está representado por el ángulo.

Figura 17: posición del sujeto para tomar las medidas necesarias para el cálculo del Perfil vertical.

Figura 18: imagen de un atleta realizando el test de SJ con carga adicional de 40 kg.

Figura 19: imagen de un atleta realizando el test de 80 metros con células fotoeléctricas.

Figura 20: imagen de un atleta realizando el test de CMJ con la plataforma de infrarrojos OptoJump.

Figura 21: imagen de un atleta realizando un test de velocidad con radar.

Figura 22: curva de velocidad-tiempo registrada con el radar para cada una de las carreras del entrenamiento específico con sobrecargas desde 0 hasta 100% del peso corporal.

Figura 23: imagen del analizador portátil de amonio.

Figura 24: correlación de F_0 horizontal y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en mujeres.

Figura 25: correlación de F_0 horizontal y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en hombres.

Figura 26: correlación de v_0 y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en mujeres.

Figura 27: correlación de v_0 y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en hombres.

Figura 28: correlación de F0 vertical y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en mujeres.

Figura 29: correlación de F0 vertical y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en hombres.

Figura 30: correlación de F0 horizontal y la efectividad de aceleración en mujeres.

Figura 31: correlación de F0 horizontal y la efectividad de aceleración en hombres.

Figura e31: evolución en los valores metabólicos de lactato y amonio junto con la capacidad de salto justo antes y después de las carreras repetidas realizadas

Figura 32: correlación de F0 y los tiempos parciales en mujeres.

Figura e32: evolución en los valores metabólicos de lactato y amonio junto con la capacidad de salto justo antes y después de las carreras repetidas realizadas en relación a los tiempos parciales.

Figura 33: correlación de F0 y los tiempos parciales en hombres.

Figura e33: relación entre la pérdida de salto y las variables metabólicas.

Figura 34: correlación de v_0 y los tiempos parciales en mujeres.

Figura e34: valores de lactato y amonio tras las carreras de 80 metros repetidas.

Figura 35: correlación de v_0 y los tiempos parciales en hombres.

Figura 36: comportamiento de las variables mecánicas en función de las distintas cargas utilizadas en las carreras con arrastre.

Figura 37: influencia de F_0 horizontal y la pérdida de salto vertical.

Figura 38: relación entre la fuerza en sentadilla en 1RM y la pérdida de salto vertical.

TABLAS

Tabla 1: la concentración de diversos metabolitos musculares en reposo y después de 6, 10 y 20 s de carreras de velocidad, (Boobis et al 1982; .Nevill et al., 1989; Bogdanis et al. 1994).

Tabla 2: resumen de los parámetros de la carrera medido por los sistemas o sensores que actualmente se utilizan (de Higginson, 2009).

Tabla 3: características generales de la muestra del estudio I.

Tabla 4: características generales de la muestra del estudio II.

Tabla 5: características generales de la muestra del estudio III.

Tabla 6: parámetros mecánicos determinantes del Perfil F-v en sprint.

Tabla 7: parámetros mecánicos determinantes del Perfil F-v en salto.

Tabla 8: resultados en los tests específicos de salto utilizados en atletismo.

Tabla 9: análisis de regresión múltiple para la predicción de F0 en función del resultado en los tests específicos de salto utilizados en atletismo (PJ, TPJ, QPJ).

Tabla 10: Análisis de regresión múltiple para la predicción de F0 en función del resultado en los tests específicos de salto utilizados en atletismo (TPJ, 10HTZ).

Tabla 11: análisis de regresión múltiple para la predicción de v0 en función del resultado en los tests específicos de salto utilizados en atletismo (PJ, QPJ).

Tabla 12: análisis de regresión múltiple para la predicción de v_0 en función del resultado en los tests específicos de salto utilizados en atletismo (QPJ, DCJ).

Tabla 13a: parámetros mecánicos determinantes del Perfil F-v en carreras de velocidad en diferentes cargas de arrastre (20%PC, 40%PC).

Tabla 13b: parámetros mecánicos determinantes del Perfil F-v en carreras de velocidad en diferentes cargas de arrastre (60%PC, 80%PC 100%PC).

Tabla 14: tiempos parciales y efectos agudos de cada carrera de velocidad con diferentes cargas.

Tabla 15: respuesta mecánica y metabólica aguda durante la sesión de carreras repetidas de 80 metros.

Tabla 16: respuesta en estabilidad y JPS aguda durante la sesión de carreras repetidas de 80 metros.

I – INTRODUCCIÓN

I - INTRODUCCIÓN

1.1. LA CARRERA DE VELOCIDAD O SPRINT

Correr es una de las formas más puras y antiguas de deporte para todas las culturas del mundo. El ritmo y distancia marcan diferentes modalidades de carrera, siendo la velocidad una de las capacidades físicas más importantes para el rendimiento en la práctica de cualquier actividad física. En las acciones deportivas la rapidez del gesto es primordial, ya que su ejecución efectiva dependerá de la velocidad con la que se realice. Concretamente, la velocidad es *la capacidad física que nos permite llevar a cabo acciones motrices en el menor tiempo posible* (Zatsiorsky, 1978). Grosser (1992) la define como *la capacidad de conseguir, en base a procesos cognitivos, máxima fuerza volitiva y funcionalidad del sistema neuromuscular, una rapidez máxima de reacción y de movimiento en determinadas condiciones establecidas*. Ortiz (2004) establece que la velocidad, como capacidad motriz, incluye cuestiones esenciales e inseparables a la fisiología, al metabolismo energético, a la conducta psíquica y al desarrollo biológico del ser humano.

En relación a la velocidad aplicada a las pruebas de deporte de élite, las modalidades de velocidad en atletismo están compuestas por aquellas carreras cuya longitud es como máximo de 400 metros. Asimismo, dentro del programa olímpico las distancias son 100, 200 y 400 metros, así como los relevos de 4x100 y 4x400 metros. En los campeonatos de pista cubierta se celebra la prueba de 60 metros sustituyendo a la prueba de 100 metros.

El hectómetro y doble hectómetro son dos de los eventos más esperados y seguidos en el programa olímpico moderno, siendo el primero el que más audiencia recibe (Moravec et al., 1988). El éxito del atleta en esta prueba está directamente relacionado con la capacidad de cubrir la distancia respectiva en el menor tiempo posible. Por esta razón, los profesionales del deporte siguen investigando constantemente cómo los atletas pueden llegar a ser más rápidos.

Para conocer y llegar a mejorar el rendimiento en cada una de estas pruebas, es necesario tener un profundo conocimiento de los distintos factores implicados durante la ejecución de estas carreras. Por ejemplo, una carrera de 100 metros en pista comienza con el atleta en la posición de salida agachada, con sus pies colocados en los tacos de acuerdo con la normativa de la Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo (IAAF). La salida y la posterior fase de aceleración (10 metros) son un componente importante en el rendimiento para esta modalidad (Coh et al., 1998; Harland y Steele, 1997, REF actuales sobre la importancia de la fase de aceleración). Por ello, los mejores corredores de 100 metros del mundo suelen ser también los más rápidos en reaccionar y acelerar hasta los primeros 10 metros (AE et al., 1992; Ferro et al., 2001; Moravec et al., 1988; Muller&Hommel, 1997).

Baughman et al., (1994) definen el sprint como la habilidad de correr a máxima velocidad o cerca de la máxima velocidad durante cortos periodos de tiempo. Debido a la importancia de lo anterior, Kale et al., (2009) sugieren que para obtener un buen rendimiento en el sprint será necesario hacer una buena salida, llegar a la más alta velocidad de carrera y tener una buena capacidad de resistencia a la velocidad. La máxima velocidad de carrera en velocistas de élite se consigue en una distancia entre 30 y 60 metros mediante la longitud de la zancada óptima y la frecuencia de zancada (Gambetta, 1991; Kale, 2004; Mero, 1992). En general, los velocistas más rápidos tienen un menor tiempo de contacto que los velocistas más lentos (Chu y Korchemny, 1989).

A pesar de existir numerosa investigación sobre la fase máxima de velocidad, esta información es escasa si centramos la muestra a atletas de élite. La principal razón son las dificultades asociadas con la recogida de datos, tanto dentro del contexto de entrenamiento como en entornos de competición. Los atletas de élite se muestran reticentes a interrumpir sus planes de entrenamiento para que la recogida de datos se lleve a cabo. La recopilación de datos durante la competición proporciona una oportunidad única de investigar y conocer el rendimiento máximo de los atletas de gran nivel en situaciones específicas. Por otro lado, las investigaciones suelen estar enfocadas en componentes cinemáticos como la longitud y la frecuencia de zancada sin referenciar a la cinemática detallada de la técnica de aceleración. Sin embargo, la mayor parte de la

literatura que existe sobre el estudio de la velocidad y sus implicaciones en el rendimiento suele ser llevada a cabo en laboratorios donde la velocidad máxima real no puede ser alcanzada (Morin, Edouard y Samozino, 2011).

Las primeras investigaciones sobre la velocidad máxima de carrera datan desde hace casi un siglo, llevadas a cabo por Fenn (1930). Debido a la relativa facilidad de la recogida de datos descriptivos de las variables cinemáticas, se han documentado estas variables para una gama de velocidades de carrera de 5 a 9 m / s. Sin embargo, un velocista de élite puede alcanzar una velocidad máxima mayor a 12m / s (Mann, Kotmel, Herman, Johnson, y Schultz, 1984) y por lo tanto, las conclusiones sacadas por los datos anteriores no son representativas del verdadero rendimiento de atletas de gran nivel. Asimismo, la literatura establece que hay muchos factores que determinan el éxito de un atleta en los 100 metros lisos, incluyendo aspectos fisiológicos, morfológicos y anatómicos - junto con la técnica de carrera (Baechle, Earle, y Wahten, 2000).

Otra problemática importante en la investigación de atletas de élite es la definición por parte de los investigadores del concepto "élite". El diccionario *Segens Medical*, define a un atleta de élite como "una persona que se encuentra actualmente o ha competido previamente como jugador del equipo universitario (individual o en equipo), un jugador profesional o un jugador de nivel nacional o internacional". Sin embargo, esto ya abarca un amplio ámbito de aplicación de los atletas; ya que un velocista croata de 100 metros participante en los campeonatos nacionales de atletismo (Vucetic, Matkovic, y Sentija, 2008) es poco probable que sea comparable con finalistas en los Juegos Olímpicos (Mann & Herman, 1985), aun así, ambos atletas están englobados en "élite" por los autores que llevan a cabo estos estudios. Por otro lado, Cook, Crewther, y Smith (2012) utilizan la división entre el nivel nacional e internacional para definir los atletas de élite y no élite respectivamente. A menudo, cuando los datos se recogen a partir de competiciones internacionales (Juegos Olímpicos o Campeonatos Mundiales) la muestra se define automáticamente como élite (Nolan, Patrilli, y Simpson, 2006; Tamminen, Holt, y Neely, 2013). Sin embargo, este tipo de competiciones a menudo pueden incluir una amplia gama de niveles basados en las normas de clasificación de los distintos países.

En algunos casos, los autores anuncian los mejores tiempos personales de la muestra como prueba del estado actual del atleta de élite, aunque estas marcas no sean las que se produzcan cuando los estudios son realizados. Esta situación se da en la investigación llevada a cabo por Morin et al., (2012), en la que utilizaron un atleta con una mejor marca personal de 100 metros con un tiempo de 9,96 segundos para su investigación, sin embargo durante la prueba sólo el atleta alcanzó 8.66m / s.

Una de las causas de las diferentes medidas obtenidas en los diferentes estudios es debido a las dificultades para medir la velocidad instantánea. El tiempo de 100 metros está directamente relacionado con la velocidad horizontal del centro de gravedad (Center of mass, COM). Debido a esto, la máxima velocidad horizontal alcanzada durante la prueba puede ser la mejor indicación del rendimiento (y posteriormente el estado de atleta). Sin embargo no todas las investigaciones informan de la velocidad máxima.

1.2. LAS TEORÍAS DE LA CARRERA DE VELOCIDAD

Existe una gran variedad de teorías subyacentes del sprint que han ido evolucionado al igual que ha mejorado el rendimiento en el sprint y los avances en la tecnología de recolección de datos. La teoría de la confianza de un entrenador normalmente influye en los métodos de entrenamiento que se adoptan junto con los determinantes críticos relativos al sprint.

Como pionero en la investigación de la mecánica del sprint, Ralph Mann investigó la relación entre las variables de rendimiento y las variables de la técnica y recogió datos de los velocistas a distintas velocidades con el fin de identificar cuáles son los parámetros más importantes para el rendimiento de la velocidad de élite. Mann propuso la teoría de la "frontside mechanics", que establece que los movimientos detrás del centro de gravedad (COM) del cuerpo deben ser minimizados y que los atletas deberían centrarse en los movimientos de la pierna hacia delante del COM. Esta teoría se opone a la teoría de la "triple extensión", que se extiende en la corriente de entrenamiento de la literatura. Esta teoría establece que con el fin de aumentar la longitud de la zancada y para desarrollar la máxima cantidad de fuerza, el atleta debe alcanzar la plena extensión de la cadera, la rodilla y las articulaciones del tobillo en el momento del

despegue de los dedos. Sin embargo, esto podría ser percibido como algo contrario a la intuición sobre el comportamiento de los segmentos corporales, ya que aumentaría el tiempo de contacto con el suelo (y, posteriormente, la disminución de la frecuencia de zancada), y además, la eficacia de la aplicación de la fuerza en las últimas etapas de contacto con el suelo ha sido discutida. Una de las limitaciones de este enfoque es que solo se centra en las variables biomecánicas en momentos clave en el tiempo, por ejemplo, las posiciones de toma de contacto y el despegue de los dedos en carreras de velocidad máxima. Además, no se tienen en cuenta cómo estas posiciones se alcanzan, es decir, el ángulo de la articulación y los perfiles de velocidad angular durante todo el movimiento. Esto proporciona un análisis más global del movimiento.

Mientras que el examen conjunto de la cinemática individual ha proporcionado una valiosa comprensión de la mecánica de velocidad, existe una visión limitada de la interacción conjunta. Recientemente, numerosos autores han establecido que los patrones de movimiento en carrera de velocidad quedan determinados por las interacciones de los segmentos (o acoplamientos conjuntos), sin embargo, existe una comprensión limitada de estos acoplamientos.

Los primeros modelos de máxima velocidad en el sprint se derivaron de los modelos determinísticos, siendo uno de los primeros pioneros Hay (1993). Un modelo determinístico proporciona una ilustración jerárquica de cómo las variables de la velocidad pueden influir en un cambio en la velocidad horizontal. Una de las limitaciones de los modelos determinísticos es que las variables identificadas son las variables de rendimiento y no dan ninguna referencia sobre la técnica adoptada para alcanzarlos (Lees, 2002). La consideración de los resultados de las tareas como única variable es un análisis incompleto del movimiento humano (Heiderscheit, Hamill, y van Emmerik, 2002). Para muchas habilidades complejas, el rendimiento está claramente relacionado con aspectos de la técnica que no pueden explicarse dentro de un modelo determinístico. Esto es particularmente relevante en carreras de velocidad, donde la velocidad horizontal es el producto de la longitud y la frecuencia de zancada, que no cómo la técnica (ángulos de las articulaciones y velocidades angulares) influye en estas variables de rendimiento. Por otro lado, el modelo estadístico permite que la

fuerza entre cada una de estas técnicas se relacione con las variables y los resultados de rendimiento. El modelo estadístico utilizado es el análisis de correlación múltiple, sin embargo, el uso de este enfoque para investigar la importancia relativa de las variables de la técnica de rendimiento es aún poco frecuente en la literatura. Este enfoque tiene la ventaja de un enfoque claro en la técnica en lugar de ser interferido por la influencia de las variables de rendimiento (Lees, 2002).

1.3. ANÁLISIS DE LA CARRERA DE VELOCIDAD DESDE EL PUNTO DE VISTA BIOMECÁNICO

En un rango de velocidades que se comprenden entre trote y el sprint, los patrones básicos de carrera cambian de múltiples maneras. Generalmente, estas diferencias son debidas a la optimización de los patrones de movimiento en las velocidades típicas más bajas de la distancia de carrera para maximizar la potencia y la velocidad en el sprint. Los cambios que ocurren en la cinemática y la cinética de los movimientos segmentarios son probablemente el resultado consciente y subconsciente de los esfuerzos para minimizar o maximizar una variedad concreta de criterios, tales como el gasto de energía metabólica, la fuerza muscular y la fatiga.

La biomecánica proporciona un complemento importante a la fisiología, la psicología y la medicina para entender mejor porqué un individuo adopta un patrón de movimiento específico. Las características dinámicas de carrera tendrán un efecto sobre el gasto metabólico de energía, el proceso de fatiga, susceptibilidad a las lesiones, y otros factores importantes tanto para los atletas de élite como para el corredor popular.

El rendimiento en el sprint está siendo objeto de una alta atención por parte de los investigadores debido a que se ha demostrado que es esencial para el éxito en deportes de carácter explosivo (atletismo, fútbol, baloncesto, rugby, fútbol sala). Numerosos estudios se han centrado en la importancia de los parámetros cinéticos (fuerza horizontal y fuerza vertical) y cinemáticos (paso de frecuencia / longitud, tiempo de contacto) en atletas adultos y su influencia en el rendimiento durante el sprint (Bosco y Vittori, 1986; Delecluse, Ponnet, y Diels, 1998; Hunter, Marshall, y McNair, 2004; Hunter, Marshall, y McNair, 2005; Kyröläinen, Belli, y Komi, 2001; Luhtanen y Komi, 1978; Mero y Komi, 1986; Mero, Komi, y Gregor,

1992; Nummela, Keranen, y Mikkelsen, 2007; Sinning y Forsyth, 1970; Weyand, Sternlight Bellizzi, y Wright, 2000) y las diferencias de estas variables entre atletas rápidos y lentos (Brughelli, Cronin, y Chaouachi, 2011; Högberg, 1952; Luhtanen y Komi, 1978; Mero y Komi, 1986; Weyand et al., 2000). Debido a la importancia de la velocidad en muchas actividades atléticas y deportivas, el rendimiento en la carrera de velocidad se considera un aspecto importante en el desarrollo de los atletas a largo plazo (Balyi y Way, 2005). Sin embargo, a pesar de su importancia, hay muy poca información acerca del desarrollo del rendimiento del sprint con la edad (Papaikovou et al., 2009; Philippaerts et al., 2006; Yagüe y De La Fuente, 1998) y de manera similar a la escasez de conocimiento (Schepens, Willems, y Cavagna, 1998) acerca de los mecanismos subyacentes, es decir, las variables cinéticas y cinemáticas.

Fases de apoyo y vuelo de la carrera de velocidad

Fase de apoyo

La fase de apoyo es crucial para el rendimiento de sprint, ya que la aceleración hacia abajo inducida por la gravedad durante la fase de vuelo se invierte y la propulsión hacia delante se reinicia (Novacheck, 1998). Además, durante esta fase es necesario regenerar cualquier velocidad hacia adelante perdida durante la fase de vuelo (resultante de la resistencia del aire) y la aplicación de las fuerzas de frenado durante el contacto con el suelo (Mero et al., 1992; Hunter et al., 2005).

La fase de apoyo puede considerarse como dos fases componentes; el componente de frenado y el componente propulsor (Novacheck, 1998). En cuanto al componente de frenado de la fase de apoyo, este se produce al inicio del contacto con el suelo y provoca que el centro de masa del cuerpo se acelere negativamente. Estas fuerzas de frenado se representan gráficamente como una fuerza de reacción de tierra horizontal negativa, por lo que las fuerzas de propulsión se muestran como una fuerza de reacción de tierra horizontal positiva.

Las fuerzas de propulsión se aplican después de que se produzca el componente de frenado y cuando se alcanza la aceleración positiva (y el impulso

hacia delante) del centro de masa del cuerpo. La producción de un gran impulso en un tiempo mínimo es importante para maximizar la propulsión hacia delante (Hunter et al., 2004; Weyand et al., 2000). El incremento de la magnitud de la fuerza de reacción en el suelo puede tener un doble efecto: (a) la aplicación de mayores fuerzas permitirá un mayor desplazamiento del centro del cuerpo De masa durante la fase de vuelo; y (b) la capacidad de producir y transferir fuerzas mayores puede permitir tiempos de contacto con el suelo (ground contact times GCTs) más cortos (y menos tiempo para las fuerzas de frenado que se apliquen) (importancia de los estabilizadores, tobillo y propiocepción). Por lo tanto, la frecuencia de zancada probablemente aumentará porque está determinada por la GCT y tiempo de vuelo. Sin embargo, esto también está influido por la velocidad de recuperación durante la fase de swing (Weyand et al., 2000).

Existe la posibilidad de que la cinemática articular, durante el contacto con el suelo, pueda influir en el rendimiento. Mientras que la propulsión es activada por una rápida y poderosa "extensión triple" de las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera en la pierna de apoyo, una mayor flexión de la rodilla en la pierna de recuperación reducirá el momento de inercia de la extremidad inferior alrededor de la articulación de la cadera. Todo esto tiene como resultado en una rotación más rápida de la extremidad inferior y mayor rendimiento durante el sprint (Murphy et al., 2003).

Suponiendo que la longitud de la zancada permanece inalterada, el aumento en la tasa de rotación de la pierna resultante de la reducción en el momento de inercia y el aumento de la fuerza producida por un mayor retroceso del tendón deberían traducirse en mayores velocidades máximas de carrera.

Fase de vuelo

El objetivo de la fase de oscilación es recuperar eficientemente la pierna de apoyo y colocarla para el próximo contacto con el suelo, de modo que la propulsión hacia adelante pueda ser reiniciada. Se ha teorizado que la dinámica de los miembros y el posicionamiento durante esta fase juegan un papel importante en la estabilización del cuerpo (Seyfarth et al., 2003).

El segmento residual presenta la mayor oportunidad para reducir el tiempo requerido para recuperar la extremidad posterior. Además, el movimiento

durante este segmento tiene como objetivo maximizar la aceleración del muslo y reducir el tiempo necesario para recuperar la extremidad durante la fase de oscilación, a través de una interacción compleja de los segmentos de los miembros. La rápida y potente activación de los músculos flexores de la cadera provoca flexión pasiva de la rodilla, lo que resulta en una baja activación de la musculatura isquiosural (Komi, 1984; Man and Hagy, 1980). Conjuntamente, la flexión dorsal de la articulación del tobillo facilita una respuesta de la "triple flexión" del tobillo, la rodilla y la cadera, lo que permite al pie a permanecer cerca del centro de la articulación de la cadera (eje de rotación). Esta acción contribuye a generar altas velocidades angulares alrededor la rodilla y que el ajuste de la posición del pie para el contacto con el suelo sea óptimo.

Fases de aceleración, máxima velocidad y desaceleración de la carrera de velocidad

Mientras que la carrera de velocidad parece una tarea sencilla, muchos autores han sugerido que es una habilidad multidimensional compuesta de distintas fases (Delecluse et al., 1995; Johnson & Buckley, 2001; Mero, Komi, y Gregor, 1992). Por lo tanto, el éxito en la carrera de velocidad requiere que un atleta integre de manera óptima todas estas fases en su actuación. Los 100 metros sprint se pueden dividir en tres fases de rendimiento específicos (Johnson & Buckley, 2001). La primera fase consiste en la generación de una alta aceleración que dura hasta los 10 metros, la segunda fase continúa esta aceleración hasta el logro de la velocidad máxima de carrera (10 a 36 metros), y la tercera fase es la de mantenimiento de esta velocidad máxima sobre la distancia restante (36 a 100 metros).

Al examinar las exigencias físicas para los velocistas de élite, tarea que es esencial para todos los entrenadores, es importante ser conscientes de que la curva de velocidad-tiempo en carreras de velocidad, como se ha mencionado antes, se divide en tres fases diferentes: aceleración, velocidad constante y deceleración (Mero et. al., 1992). Estas fases tienen diferentes características, como muestran los estudios sobre el tiempo de contacto. Se ha demostrado que existe una regresión lineal negativa, a medida que la velocidad aumenta, el tiempo de contacto de los apoyos disminuye durante una carrera de velocidad

con un rango de aproximadamente de 0,34 a 0,37 s de los tacos de salida (Mero et. al., 1992; Slawinski et. al., 2010) y llega a disminuir hasta aproximadamente 0,09 a 0,11 s durante la máxima velocidad (Kuitunen et al., 2001; Mero y Komi, 1986).

Delecluse et al., (1995), realizaron un análisis de las fases de las que se compone un sprint de 100 metros y concluyeron que el sprint se puede dividir en tres fases. Las dos primeras fases están relacionadas con la fase de aceleración, siendo la primera parte aquella que requiere la capacidad de realizar una gran aceleración inicial sobre los primeros 10 metros, y la segunda se refiere a la capacidad de alcanzar altas velocidades en la fase de transición entre la aceleración inicial y la velocidad máxima de carrera. La última fase, se refiere hasta qué punto un sujeto puede alcanzar velocidades de carrera altas entre 36 y el 100 metros. Se ha determinado que esta estructura multidimensional de rendimiento se puede evaluar mediante la reducción de los datos de velocidad de sprint a tres parámetros: aceleración sobre el primer 10m-intervalo, velocidad de carrera máxima y porcentaje de pérdida de velocidad entre 60m y 100m. Siguiendo la línea de lo anteriormente mencionado, Van Coppenolle et al., (1990), propusieron un método práctico para cuantificar el nivel de la actuación en cada fase del sprint. Este método consistía en la medición de tres parámetros: aceleración durante los primeros 10 metros, máxima velocidad de carrera (V_{max}), pérdida de velocidad durante los últimos 40 metros en una carrera de 100m como porcentaje de la velocidad máxima de carrera (V_{loss}).

Uno de los primeros estudios sobre la curva de velocidad-tiempo en la carrera de velocidad fue el llevado a cabo por Hill (1927). Desde entonces, ha habido una gran cantidad de investigaciones (Volkov y Lapin, 1979; Tellez y Doolittle, 1984), incluyendo la representación matemática de tales curvas (Henry, 1954; Morton, 1985). Para ilustrar lo anterior, en la figura 1 se presenta una curva típica de velocidad y tiempo, medido y modelado por Morin et al., (2006).

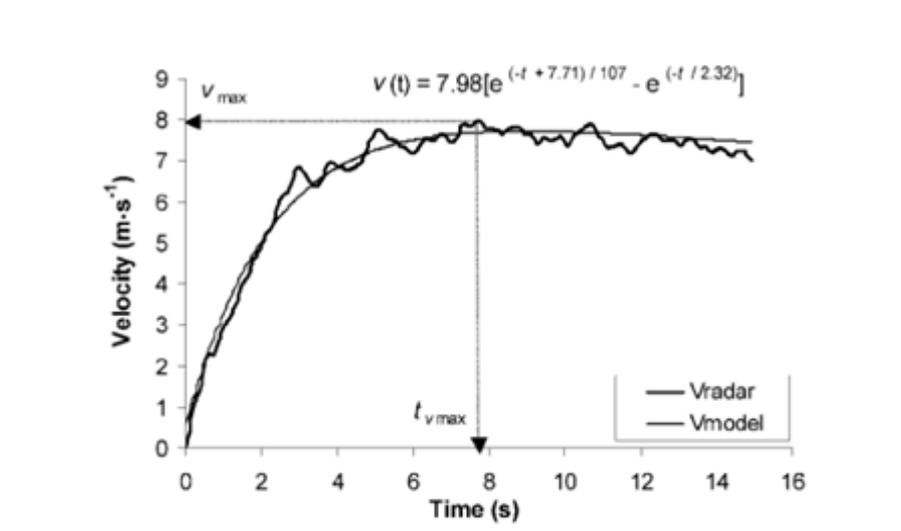


Figura 1: curva típica de velocidad-tiempo medido por el radar (línea gruesa) y modelado por la ecuación biexponencial (línea fina). En este ejemplo, $v_{max} = 7.98 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $TVMAX = 7,71 \text{ s}$, y las constantes de tiempo de aceleración y desaceleración son, respectivamente, $\tau_1 = 2,32 \text{ s}$ y $\tau_2 = 107 \text{ s}$ (desde Morin, Jeannin, Chevallier, y Belli, 2006).

En función del deporte y el tipo de atleta, las fases de la carrera pueden tener diferentes duraciones. Por ejemplo, la fase de aceleración de atletas no entrenados es más corta (Delecluse, 1997) en comparación con velocistas profesionales, los cuales son capaces de acelerar hasta una distancia de 50-60 metros (Delecluse, 1997; Mero, Komi, y Gregor, 1992). Otro de las variables que afectan a la distintas duraciones de las fases son los factores internos y externos. Los factores internos o personales, tales como la motivación, la técnica, la aptitud y la fatiga, así como los aspectos externos, como la fuerza y dirección del viento, el aire, la temperatura y la textura o dureza de la superficie de la pista (Nigg y Yeadon, 1987; Stafilidis y Arampatzis, 2007). Debido a las variables anteriormente mencionadas, el tiempo de duración es muy variable, incluso cuando se consideran múltiples carreras del mismo atleta, y no debe ser utilizado como criterio en la identificación de las diferentes fases. Jones et al., (2009) sugieren que uno de los criterios más utilizados es la eficacia del entrenamiento,

en términos de dar a los atletas el nivel necesario de especificidad en la instrucción y la retroalimentación.

Aceleración

El inicio del sprint ha sido objeto de una gran cantidad de análisis biomecánicos, tales como estudios electromiográficos (EMG), estudios cinéticos y estudios cinemáticos. Se ha establecido que uno de los principales factores para desarrollar una fase de aceleración óptima es tener una gran capacidad de desarrollar grandes fuerzas horizontales, tanto en los tacos de salida como en los siguientes apoyos (Harland y Steele, 1997). Algunos entrenadores e investigadores han utilizado una serie de medidas para mejorar el rendimiento en la salida de velocidad. Estos incluyen la velocidad inicial horizontal (Coh et al., 1998b; Mero, 1988; Mero Y Komi, 1986; Mero, Luhtanen y Komi, 1983; Schot y Knutzen, 1992; Young, McLean, y Ardagna, 1995), tiempo de inicio (Coh y Dolenec, 1996; Coh et al., 1998), y aceleración horizontal de partida (Delecluse, Van Coppenolle, Diels, y Goris, 1992).

Después de abandonar los tacos de salida, el corredor acelera mediante el aumento de la longitud de zancada y la frecuencia de zancada. La fase comprende desde la salida de los tacos hasta al instante en el que el atleta alcanza una posición vertical del tronco durante carrera de velocidad vertical. La longitud de esta fase durante una carrera de 100 m. suele ser de 30 a 50 m aproximadamente en velocistas de élite (Volkov y Lapin, 1979; Moravec et al., 1988). Dos aspectos clave han sido identificados en la fase de aceleración: la acción del brazo y la extensión de la pierna (Jones et al., 2009). En cuanto a la acción del brazo, Thomson et al., (2009) identificaron la investigación de Hinrichs, Cavenagh, y Williams (1987); Mann, Kotmel, y Herman (2008) documentaron la función de equilibrado de los brazos en relación con el movimiento de las piernas, mientras que en el sprint, no existía, hasta ahora, ningún consenso general mostrado acerca de la flexión y extensión de codo y hombro y ningún trabajo ha analizado de forma específica la acción de los brazos dentro de la fase de aceleración. En cuanto a la extensión de la pierna, esta comprende a la acción que realizan las articulaciones de cadera y rodilla y tienen el mismo comportamiento, simétrico pero alternativo (Collier, 2002; Hunter, et al., 2004b)

Otros dos aspectos importantes durante la fase de aceleración son: primero, el tiempo de contacto, el cuál según Coh y Tomazin (2006) va disminuyendo mientras que el tiempo de la fase de vuelo va aumentando según va avanzando la fase de aceleración; y segundo, la postura del atleta, que va cambiando debido al desarrollo de la velocidad de carrera y los cambios posteriores dinámicos en la técnica de carrera. Siguiendo lo anterior, se ha visto que la capacidad de los atletas para mantener su postura dinámica en el sprint parece ser crucial (Jones et al., 2009).

Otro aspecto importante en la aceleración, es el tiempo de reacción en el taco. El tiempo del taco se define como el tiempo que transcurre desde que se comienza a presionar el taco con fuerza con las dos piernas, hasta el punto donde ya se deja de producir fuerza contra los tacos (Mero, Luhtanen Y Komi, 1983). En cuanto a la velocidad resultante y la aceleración del velocista, el tiempo de reacción, que está bien documentado cómo la capacidad de una atleta para dejar los tacos a alta velocidad, generalmente mejora con un aumento en su aplicación de la fuerza en los tacos (Baumann, 1976; Cousins y Dyson, 2004; Mero y Komi, 1990; Slawinski, Bonnefoy, y Levêque, 2010; Coh, et al., 2006).

La actividad electromiográfica (EMG) durante la aceleración ha sido objeto de interés por parte de Mero y Peltola (1989). En este estudio, dos velocistas masculinos realizaron una carrera de 100 m y, en la fase de aceleración, se produjo una actividad EMG integrada máxima 4,8% mayor durante el contacto que en la fase de máxima velocidad constante. A raíz de estos resultados, se vio que la activación neural de velocistas alcanza su máximo en la fase de aceleración.

Máxima velocidad

Los entrenadores de atletismo profesionales describen que una buena técnica para alcanzar la fase de máxima velocidad es la suma de cuatro aspectos cruciales. En primer lugar, la capacidad del atleta en el mantenimiento del COM relativamente alto, con una ligera inclinación anterior de la pelvis durante la fase de máxima velocidad en la carrera. En segundo lugar, las necesidades de realizar una flexión de la cadera durante cada fase de vuelo, tratando de llegar a lo que los entrenadores llaman "la posición de la cadera alta" (Collier, 2002). En tercer lugar, la importancia de la acción de los brazos con el ángulo del codo cerca de

los 90 grados de flexión. Los movimientos de ambos brazos deben ser los mismos, aunque en la dirección opuesta y complementaria (Coh et al., 2006; Jones et al., 2009). Durante esta fase, los brazos deben trabajar como "factor de equilibrio", proporcionando la progresión de una velocidad horizontal más constante para el corredor (Hinrichs, Cavenagh, y Williams, 1987; Jones et al., 2009). Por último, el hombro, el cuello y los músculos faciales deben estar relajados una vez llegado a la posición vertical y la velocidad máxima (Jones, et al., 2009).

Desaceleración

La fase de desaceleración se caracteriza por una disminución de la velocidad y por un ligero aumento en los tiempos de contacto, y, a su vez, una ligera disminución en los tiempos de vuelo.

En resumen, en las pruebas de velocidad (especialmente en la carrera de 100 m), la fase de desaceleración es generalmente visible en la curva de velocidad-tiempo. La pérdida del pico de velocidad durante 100 m de carrera oscila desde el 0,9 hasta el 7% (Moravec et al., 1988). La frecuencia de carrera disminuye, y la longitud de zancada aumenta ligeramente durante la desaceleración (Moravec et al., 1988; Mero y Peltola, 1989). El desplazamiento vertical del COM también se encontró que aumentaba durante esta fase (Moravec et al., 1988; Mero y Peltola, 1989).

En cuanto a la técnica en la fase de desaceleración, apenas se han subrayado en la literatura los aspectos particulares y específicos de esta fase. El objetivo y la instrucción de los atletas es limitar tanto como sea posible la disminución de la velocidad. Sobre todo en pruebas como el 200 y 400 m donde las características de resistencia del atleta y el metabolismo anaeróbico son cruciales (Bergamini, 2011).

Muy pocos estudios se centraron en la fase de desaceleración de la carrera de velocidad desde un punto de vista fisiológico y biomecánico. Referencias. Bergamini, (2011), mantiene que los recientes avances en lo que respecta a la tecnología y a la metodología, son de esperar que contribuirán a enriquecer la literatura sobre las variables fisiológicas y biomecánicas que influyen y determinan la carrera en esta fase.

Musculatura implicada durante las distintas fases de la carrera de velocidad

Entender las distintas implicaciones musculares durante la carrera de velocidad también es determinante para saber los factores implicados. Los datos electromiográficos (EMG) han proporcionado una visión de la contribución de varios grupos musculares y la coordinación neuromuscular durante el sprint.

Durante la aceleración, cuando el cuerpo tiene una pronunciada inclinación hacia adelante, los extensores de la rodilla también pueden ser importantes en la propulsión hacia adelante (Mero y Komi 1990, Wiemann y Tidow 1995, Delecluse 1997). Además, los flexores plantares (gastrocnemios, soleus) en conjunto con los músculos dorsiflexores (tibial anterior) tienen una gran influencia en la eficacia con la que las fuerzas de los diferentes segmentos del cuerpo se trasladan al suelo. A este respecto, se cree que la alta preactividad y rigidez muscular juegan un papel importante en la tolerancia de cargas de alto impacto y en permitir la utilización eficaz de la elasticidad tendomuscular durante la breve fase de contacto (Cavagna et al., 1971, Dietz et al., 1979, Gollhofer et al., 1984, Mero y Komi 1987).

Con respecto a la implicación del grupo muscular durante la velocidad máxima, muchos autores han enfatizado el papel crítico de los isquiosurales y los músculos del glúteo al propiciar el movimiento de las piernas hacia abajo y hacia atrás durante la fase de contacto (Simonsen et al., 1985, Mann et al., 1986, Mero y Komi 1986, Wiemann y Tidow 1995, Jönhagen et al., 1996, Mann 1998). También se ha sugerido que los músculos aductores contribuyen a la extensión de la cadera y contrarrestan el efecto de abducción en la pierna de los músculos glúteos (Mann y Hagy 1980, Wiemann y Tidow 1995). Por otro lado, los extensores de rodilla y los flexores plantares son de particular importancia durante la fase de frenado de contacto, proporcionando estabilidad para los ángulos de la articulación de la rodilla y el tobillo (de ahí la importancia de los músculos del pie, los ejercicios de propiocepción, transmisión de las fuerzas, etc.).

Frecuencia y amplitud de zancada*Modelo Determinístico de Hunter*

Para obtener una comprensión de las variables cinemáticas que gobiernan la velocidad máxima en las carreras de velocidad, Hay (1993) desarrolló un "modelo determinístico" para explorar las interacciones de diferentes variables y su influencia relativa de la velocidad máxima. Este modelo determinista ha sido recientemente adaptado por Hunter, Marshall, y McNair (2004a) y proporciona un marco de cómo se logra la máxima velocidad y se muestra en la figura 2.

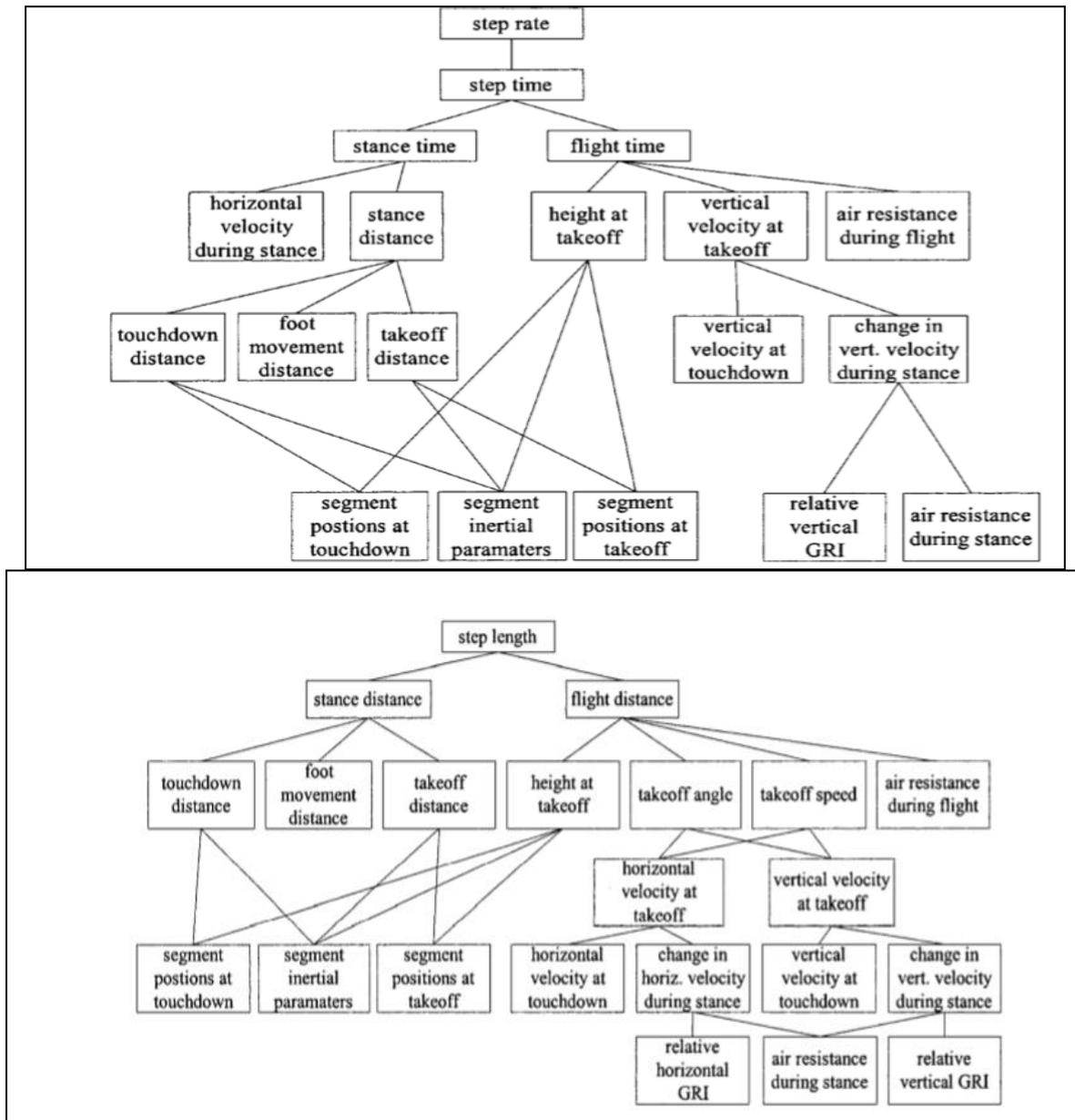


Figura 2: a) y b) modelo determinista de carreras de velocidad (Hunter, 2004).

La velocidad se define biomecánicamente como el producto de la frecuencia de zancada (step frequency, SF) (o velocidad de paso) y la longitud de

zancada (step length, SL) (Hay, 1993), donde para lograr la máxima velocidad de sprint se debe llegar a la combinación óptima de SL y SF.

Las primeras investigaciones que se centraron en el análisis de (SL) y (SF) para atletas de élite fueron llevadas a cabo por Kunz y Kaufmann (1981), quienes establecieron factores críticos en las carreras de velocidad al comparar velocistas de clase mundial con decatletas durante una carrera competitiva de 100 metros. Esta investigación sirve como una comparación entre los velocistas de élite y no élite, ya que aunque los decatletas están compitiendo a nivel internacional no son especialistas en 100m o 200m. Los tiempos en 100m para decatletas variaban aproximadamente entre 10,8 - 12,1 segundos y entre 10,0 - 10,5 segundos para los velocistas de élite (los tiempos finales exactos no se especifican en este estudio). Los velocistas de élite exhiben tanto una mayor SL (2.58m) y SF (4.62Hz) en comparación con los decatletas. Estos resultados sugieren que una combinación óptima de SL y SF lleva a un mejor tiempo de 100 metros lisos en lugar de un aumento específico en cualquiera de uno de los parámetros.

Siguiendo esta línea, Mann y Herman (1985) recogieron datos de atletas de élite en competición, comparando al 1º y 8º clasificados de la final de los 200 metros en los Juegos Olímpicos de 1984 para determinar qué variables cinemáticas fueron críticas para la velocidad (conseguir el éxito/rendimiento exitoso). Una vez más, esta investigación permite una comparación de un velocista de élite vs velocista no de élite. La velocidad horizontal lograda por el 1º clasificado fue de 10.21m / s, mientras que el 8º alcanzó una velocidad de 9.29m / s. Una cámara fue colocada a 125m en la carrera para identificar SL y SF en la fase de máxima velocidad de la carrera. El 1º clasificado, (tiempo en 200m: 19.80s) tenía una SL de 2.38m y SF de 4.30Hz, mientras que el 8º (tiempo en 200m: 20.85s) tenía una SL de 2.31m y un SF de 4.01Hz. Esto corrobora los hallazgos de Kunz y Kaufmann (1981), los cuales concluían que las mayores velocidades horizontales están acompañadas por un aumento tanto en SL y SF. Sin embargo, el 2º clasificado (tiempo en 200m: 19.96s) tenía la misma SL como el 1º (2.38m), aunque el SF fue menor en 4.01Hz, lo que sugiere que el SF es el factor más crítico para lograr una mayor velocidades de Sprint. En los estudios anteriormente mencionados, se utiliza un número reducido de velocistas de élite para su

análisis y por lo tanto es difícil establecer un patrón de SL y SF y que se pueda extrapolar a otras muestras.

Otro estudio en el que se analizaron estas variables fue el realizado por Coh, Mihajlovic, y Praprotnik (2001), donde compararon dos grupos de velocistas de élite para identificar la relación entre SL y SF a la velocidad máxima. El grupo A, integrado por 10 velocistas de élite con un promedio de PB (marca personal) de 10,52s en 100 metros y el Grupo B (también compuesto por 10 velocistas de élite) con un promedio de PB de 11,09s en 100 metros. Las velocidades alcanzadas por Grupo A y Grupo B fueron de 10,22m / s y 9,73m / s, respectivamente, similares a las observadas por Mann y Herman (1985). Estas velocidades indican que mientras los tiempos y las velocidades en 100m fueron significativamente diferentes entre los grupos, los valores de SL y SF no fueron significativamente diferentes. Esto puede ser debido a que la desviación estándar entre los atletas que enmascaran las posibles relaciones entre SL y SF.

Ae et al., (Ae, Ito, y Suzuki, 1992) recogieron datos sobre SL y SF para los ocho primeros finalistas de la final de 100 metros en el Campeonato Mundial de 1991. Durante la fase de máxima velocidad en carrera (70-80m), donde la velocidad media es de 11.70m / s, el promedio de SL y SF de los ocho finalistas fue 2,56 m y 4.57Hz respectivamente. Paruzel-Dyja, Walaszczyk, e Iskra (2006) también registraron estas variables en la competición del Campeonato Mundial de 2003 para comparar el SL y SF de 109 velocistas durante las carreras (100m eliminatorias, semifinales y finales). Aunque no se informó de la velocidad horizontal, utilizando 10.15s como promedio para el 'más rápido' en 100m, se predice una velocidad horizontal de 11,47m / s. Los hombres 'rápidos' muestran un promedio de 2,19m en SL y en SF de 4,49Hz. Esto es un SL considerablemente menor que lo reportado en estudios mencionados anteriormente, sin embargo, esto es debido a que los valores de SL se evaluaron a lo largo de toda la carrera. Sorprendentemente, se encontraron correlaciones para el velocista varón de élite. Su longitud de zancada tuvo una correlación estadísticamente significativa con el tiempo en 100m, mientras que la frecuencia de zancada no mostró ninguna correlación significativa. Sin embargo, los resultados de estas correlaciones deben ser tratados con cautela, ya que en general se correlacionan con el tiempo en 100m y posteriormente, se tiene en cuenta el tiempo de reacción, y la aceleración

de un atleta, así como la fase de máxima velocidad. Además el uso de una correlación con una población de élite es limitado, ya que existe una variación mínima en la frecuencia y la longitud de zancada entre los atletas, y por lo tanto serán débiles.

Todas las investigaciones mencionadas anteriormente han medido a los atletas de élite en un momento dado, ya sea en una competición o durante una media de tres carreras dentro de un laboratorio. Para obtener una mejor comprensión de los patrones de SL y SF en atletas de élite Salo, Bezodis, Batterham, y Kerwin (2011) estudiaron una muestra de 11 velocistas de élite a través de una serie de carreras (mínimo 10 carreras por atleta) para establecer si SL o SF eran dependientes. Similar a Paruzel-Dyja et al., (2006), ambas SL y SF se correlacionaron con el tiempo en 100m como y los datos de velocidad horizontal no estaban disponibles. Salo et al., (2011) observaron una gran variación entre los 11 atletas con respecto a los valores de SL y SF y concluyó que es una ocurrencia altamente individual. Hubo una interacción negativa entre SL y SF, por ejemplo, los atletas con un mayor SL tuvieron un SF inferior y viceversa.

Variables que determinan la frecuencia y la longitud de zancada

Con el fin de conocer mejor los términos de SL y SF en el sprint es necesario tener en cuenta las variables que las determinan, teniendo en cuenta el modelo determinista (Figura 2) . La longitud de zancada es la suma de la distancia entre apoyos y la distancia de vuelo, de las cuales la distancia entre apoyos es la suma de la distancia entre apoyos (touchdown distance, D_{TD}) y la distancia de despegue de los dedos (toe-off distance, D_{TO}) mostrado en la figura 3, que se rige por las posiciones segmentarias (y sus parámetros inerciales asociados) durante el contacto con el suelo. Durante el vuelo el cuerpo humano actúa como un proyectil y es sólo bajo la influencia de la gravedad por lo que la distancia de este proyectil (COM) se mueve (es decir, la distancia de vuelo) se rige por estos parámetros; altura, el ángulo y la velocidad de despegue. La velocidad de despegue puede ser dividida en dos componentes, vertical y horizontal. La frecuencia de zancada se calcula como $1 / (GCT + FT)$, donde GCT es el tiempo de contacto con el suelo y FT es el tiempo de vuelo. GCT queda determinado por la velocidad horizontal del cuerpo durante el contacto con el suelo y la distancia

sobre la que se desplaza ($DTD + DTO$). El tiempo de vuelo se rige por la altura relativa del COM entre TO y TD y la velocidad de despegue.

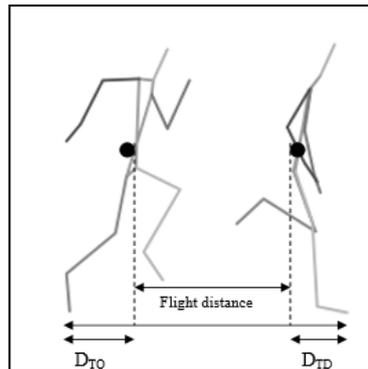


Figura 3: Definición de la distancia de vuelo y distancia de apoyos ($D_{TO} + D_{TD}$)

Como se mencionó anteriormente, Coh et al., (2001) hallaron que SL y SF no eran significativamente diferentes entre los dos grupos de atletas de élite, sin embargo, encontraron que el grupo A tuvo un GCT significativamente más corto (0.089s) en comparación con el grupo B (0.095s). En contraste, no hubo diferencias significativas entre los tiempos de vuelo de 0,126s y 0,127s para el grupo A y B, respectivamente. Para el 1º y 8º clasificado en los Juegos Olímpicos de 1984, el GCT fueron 0,100s y 0,130s respectivamente, y los tiempos de vuelo eran 0.130s vs. 0,120s (Mann y Herman, 1985). Los tiempos de contacto más largos que se reportaron por Coh et al., (2001) se pueden atribuir al hecho de que mostraron una velocidad horizontal menor durante una carrera de 200 metros (Mann y Herman, 1985). Los tiempos de vuelo fueron similares entre el 1º y el 8º clasificado, y respalda los hallazgos encontrados por Coh et al.,(2001) y hacen ver que los velocistas tienen tiempos de vuelo similares independientemente de su capacidad y nivel.

Con el fin de explicar las diferencias entre SL y SF en velocistas de clase mundial y decathletas, Kunz y Kaufmann (1981) informaron de algunas variables cinemáticas adicionales. Velocistas de clase mundial tenían un ángulo más pequeño en el muslo (figura 4) en el momento del aterrizaje, propiciando a un menor tiempo de contacto debido a la reducción de la distancia en la postura. Además, los atletas con ángulos reducidos en el muslo tenían un mayor ángulo

de la zancada en el aterrizaje y un mayor promedio de aceleración del muslo, permitiendo que la pierna se recupere rápidamente para reducir el tiempo de vuelo. Como consecuencia de lo anterior, se producía un aumento de la SF. Sin embargo, los datos sólo se recogieron a 100 fps, y los autores constataron que los valores de error son relativamente grandes para el tiempo de contacto con el suelo (10%) y el ángulo del muslo en TD (15%), dando a entender que las comparaciones de estos datos deben ser manejadas de manera cuidadosa.

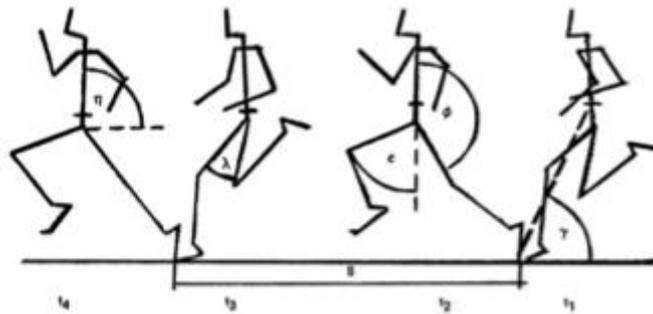


Figura 4: Definición de ángulo usado por Kunz y Kaufman (1981). λ = ángulo muslo. γ = ángulo aterrizaje de zancada. ϵ = aceleración angular media del muslo.

Hasta la fecha, gran parte de las investigaciones mencionadas anteriormente sólo han analizado asociaciones entre la cinemática y la velocidad horizontal y no han podido llevar a cabo un análisis estadístico sobre las relaciones entre estos dos parámetros. Aunque sí que se han realizado análisis en velocistas femeninas a una menor velocidad horizontal (promedio de velocidad horizontal de 8.06m / s). Este análisis fue llevado a cabo por Coh, Jost, y Stuhec (1998b), donde analizaron distintas variables cinemáticas y realizaron una correlación de estas con la velocidad máxima. Las variables que se correlacionan de manera significativa a la máxima velocidad de sprint son el tiempo de vuelo, el tiempo de contacto con el suelo, la velocidad de la oscilación de la pierna y velocidad angular del muslo durante la propulsión. Cuando miramos esta perspectiva desde la mirada del modelo determinístico, se puede identificar que cada una de estas variables significativas influyen en la frecuencia de zancada. Si bien, los datos en bruto no pueden ser comparados con la literatura en atletas de

élite, se propone la posibilidad de que las relaciones entre la cinemática y la velocidad horizontal son similares, independientemente de la magnitud de la velocidad, y garantiza además, el estudio de estas relaciones a velocidades superiores a 10.0m / s.

1.4. ANÁLISIS DE LA CARRERA DESDE EL PUNTO DE VISTA BIOMECÁNICO

Cinemática y cinética: fase de aceleración

Los principales parámetros cinemáticos y cinéticos que han sido investigados durante las fases de aceleración se discuten a continuación.

Cinemática

Tiempo de contacto y fase de vuelo

Los tiempos medios de contacto con el suelo durante la fase de aceleración en velocistas de élite varían desde 0,160 hasta 0,194 s para el primer contacto con el suelo fuera de los tacos de salida (Atwater, 1982; Mero y Komi, 1990; Coh, et al., 2006), y de 0,150 a 0,181 s para el segundo contacto con el suelo (Atwater, 1982; Coh, et al., 2006). Las fases de vuelo se caracterizan por una menor duración: de 0,06 a 0,07 s para el primer vuelo y de 0,044 a 0,090 s para la segunda fase de vuelo (Atwater, 1982; Coh, et al., 2006). Por el contrario, después de los primeros pasos, mientras se acelera, los tiempos de contacto tienden a disminuir y los tiempos de vuelo aumentan (Zernicke y Whiting, 2000).

Longitud de zancada

Es definida como la distancia entre el primer punto de contacto de un pie y el primer punto de contacto del pie contralateral. El aumento de la longitud del primer paso tras la salida de tacos, ha sido considerado como parte fundamental de un comienzo óptimo (Coh, et al., 2006). Sin embargo, las fuerzas de frenado asociadas cuando el COM está por delante del primer contacto con el suelo no fueron significativamente mayores que las generadas con pasos más cortos (Schot y Knutzen, 1992). Por otra parte, un primer paso demasiado largo puede afectar de manera negativa en el progreso del velocista. Además, ha sido demostrado que el grado de inclinación hacia delante del tronco tiene un efecto variable sobre la longitud del primer paso (Schot y Knutzen, 1992).

Hunter et al., (2004b) investigaron la influencia relativa de la longitud y frecuencia de zancada en carrera durante la fase de aceleración y determinaron las fuentes de interacción negativa entre estos dos parámetros. La longitud de las piernas, la altura del centro de gravedad (COM - center of mass), y la velocidad vertical del despegue del COM resultaron ser fuentes de interacción negativa entre la longitud y frecuencia de zancada. Las grandes longitudes y frecuencias de zancada alcanzadas por los velocistas de élite parecen ser posibles sólo mediante una técnica que involucre una alta velocidad horizontal y una baja velocidad vertical de despegue. Sin embargo, una mayor velocidad vertical de despegue puede ser una ventaja cuando un atleta está fatigado e intenta mantener una alta frecuencia de zancada. La media de frecuencia de zancada y los valores de longitud de zancada fueron recogidos sobre una frecuencia de 4,26 hz por segundo y una longitud de 1,91 m respectivamente (Hunter, et al., 2004b).

COM: posición

Una vez que el velocista ha comenzado a salir de los tacos, su tarea es prepararse para los posteriores contactos con el suelo y que realizará para alcanzar la máxima velocidad en el sprint. Si la posición horizontal del primer pie en contacto con el suelo, después de la salida del taco, es posterior al COM a lo largo de la dirección en el plano antero-posterior, el velocista estará en una posición favorable para maximizar la producción de fuerza horizontal. Coh y Tomazin (2006) determinaron que la posición de contacto del pie como crucial para una ejecución exitosa en la fase de aceleración, lo que minimiza las fuerzas de frenado durante la primera etapa de la aceleración. En el comienzo de las dos primeras fases de la aceleración, el COM está por delante del punto de contacto del pie con el suelo. Ya, a principios de la tercera fase está detrás del punto de contacto (Mero, Luhtanen, y Komi, 1983; Slawinski, Bonnefoy, y Levêque, 2010).

COM: desplazamiento vertical

Durante los primeros apoyos con el suelo tras la salida del taco, el COM cae verticalmente. Este desplazamiento vertical reduce la longitud de zancada debido a un aumento en el tiempo de contacto con el suelo y, a su vez, reduce la velocidad de carrera (Mero, Luhtanen y Komi, 1983). Se han analizado velocistas de élite que exhiben un desplazamiento vertical negativo ($0,017 \pm 0,016$ m)

durante la fase excéntrica en la primera fase del apoyo en comparación con los velocistas más lentos ($0,027 \pm 0,014$ m).

COM: desplazamiento y velocidad horizontal

Mero et al., (1983) reportaron una velocidad horizontal media del COM de $5,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en el despegue de los dedos en la salida de tacos para velocistas expertos.

Alineación del tronco

Este parámetro ha sido ampliamente estudiado, llegando a establecer que el tronco tiene una inclinación de 45 grados aproximadamente en relación a la horizontal después de la pérdida de contacto con el taco de salida delantero (Atwater, 1982; Van Coppenolle, et al., 1990; Slawinski, Bonnefoy, y Levêque, 2010). Sin embargo, no existe consenso entre los distintos estudios sobre que técnica es la más adecuada y qué trabajo específico puede analizar la orientación del tronco durante la fase de aceleración.

Cinética

La producción de fuerza

A pesar de la posición del avance del COM con respecto al primer punto de contacto con el suelo, se observa una fuerza horizontal negativa durante el primer paso, probablemente causado por el movimiento de las piernas hacia delante (Schot y Knutzen, 1992). Esto sugiere, que en el sprint, todas las fases de apoyo se caracterizan por elementos de frenado y propulsión de las fuerzas de reacción del suelo (ground reaction forces, GRF) (Hunter, et al., 2005), aunque las proporciones son diferentes de acuerdo con la fase de carrera. En particular, las fuerzas horizontales en la primera parte de la carrera son considerablemente mayores (526 N) con respecto a sus homólogos de frenado (153 N) (Mero, Komi, y Gregor, 1992). Curiosamente, Mero et al., (1992) determinaron que la fuerza de propulsión horizontal ejercida durante el primer paso después del taco de salida era un 46% mayor que la misma fuerza generada durante el contacto con la máxima velocidad. Estos resultados ponen en manifiesto la necesidad de que el atleta utilice un alto nivel de fuerza concéntrica durante la fase de aceleración.

Cinemática y cinética: fase de máxima velocidad

Debido a la dificultad de reproducir con exactitud un sprint real en un laboratorio, todavía hay muchas cuestiones abiertas sobre la cinemática y la cinética de carrera durante la fase de máxima velocidad. Sin embargo, un número de variables biomecánicas han sido identificadas en esta fase del sprint.

Cinemática

Frecuencia y longitud de zancada

Diferentes estudios han analizado estas dos variables, consistiendo en que un mismo sujeto corría a diferentes velocidades, y se determinó que tanto la frecuencia como la longitud de zancada aumentaron con la velocidad (Luthanen, y Komi, 1978). Este aumento en ambas variables se produce de manera lineal para velocidades de hasta 7 ms⁻¹. Cuando las velocidades son más altas, existe un menor incremento en la longitud del paso y un mayor incremento en la frecuencia de zancada para un determinado aumento en la velocidad. Esto significa que los corredores de alta velocidad tienden a aumentar su velocidad mediante el aumento de la frecuencia de zancada en un grado relativamente mayor que la longitud de zancada. Como consecuencia, se sugiere que la frecuencia tiene un papel más decisivo que la longitud de la zancada a velocidades máximas (Mero, Komi, y Gregor, 1992).

Tiempos de vuelo y apoyo

Se ha establecido que el tiempo de contacto disminuye significativamente con el aumento de la velocidad (Luthanen, y Komi, 1978), mientras que el tiempo de vuelo tiene el comportamiento opuesto. En la fase de vuelo, los tiempos de vuelo oscilan aproximadamente entre de 0.120 a 0.140 s (Moravec et al., 1988; Hobara et al., 2009).

COM: desplazamiento vertical

El pico de desplazamiento vertical del COM dentro de la duración de la zancada se ha demostrado que disminuye con el aumento de la velocidad de carrera (Cavagna, et al., 1971; Luthanen, y Komi, 1978). Mero et al., (1992) observaron desplazamientos verticales de 0.047, 0.050 y 0.062 m de "buen",

"medio" y "bajo" nivel respectivamente en velocistas masculinos. Resultados similares fueron observados por Hobara et al., (2009).

COM: velocidad

Según Bergamini, (2011), diferentes estudios encontraron que a una determinada velocidad constante se produce una disminución de la velocidad horizontal del COM después del contacto inicial del pie. Debido a esto, durante la fase de propulsión, la velocidad del COM aumenta. Cavenagh y Lafortune (1980) observaron una disminución de $0,18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en la velocidad de carrera durante la fase de frenado a $4,47 \text{ ms}^{-1}$, que fue seguida por un incremento de $0,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ durante la fase de propulsión. La velocidad de despegue del pie fue mayor que en el aterrizaje, esto se debe probablemente a la resistencia del aire, que durante la fase de vuelo la velocidad horizontal del COM disminuyó.

Cinética

La producción de fuerza

La producción de fuerza tiene un papel clave durante la fase de máxima velocidad. Se ha observado que las mayores velocidades de carrera se logran con mayores GRFs, en lugar de con rápidos movimientos de las piernas (Weyand, Sternlight, Bellizzi, y Wright, 2000). Sin embargo, también se ha informado de que las grandes GRFs así como altos impulsos propulsores verticales y horizontales están involucrados en las fracturas por estrés y lesiones relacionadas con la rodilla (Ferber, Kingma, Bruijn, y van Dieen, 2002; Grimston, Nigg, Fisher, y Ajemian, 1994). La capacidad del velocista para reducir las fuerzas horizontales de frenado y maximizar las fuerzas de propulsión es crucial para el rendimiento en la carrera (Hunter, et al., 2005). La fuerza horizontal de frenado y el tiempo de frenado debe ser muy pequeña para evitar la pérdida de velocidad durante la fase de impacto. Acorde con esto, se encuentra la investigación de Morin et al., (2015), donde resalta la importancia de la aplicación de la fuerza propulsora. Se encontraron correlaciones significativas entre la fuerza resultante promedio neta en la fase de propulsión y la velocidad, así como entre la fuerza de propulsión y la longitud de zancada.

El “stiffness” (la rigidez)

El concepto de rigidez tiene su origen en la física, como parte de la ley de Hooke. Los objetos que obedecen a esta ley son cuerpos deformables que almacenan y devuelven la energía elástica. La ley de Hooke, se define como $F=k \cdot \Delta y$ y establece que la fuerza (F) necesaria para deformar un material está relacionada con una constante de proporcionalidad (k) y la distancia (Y) el material que se deforma, siempre que su forma no es permanentemente cambiada. La constante de proporcionalidad, k, se define como la constante de resorte, y describe la rigidez de un sistema ideal de resorte y masa. La pierna es a menudo modelada como un resorte de apoyo a la masa del cuerpo. La rigidez de las extremidades inferiores fue demostrada como un factor importante y sensible en el rendimiento músculo-esquelético (Latash y Zatsiorsky, 1993; Butler, et al, 2003; Brughelli y Cronin, 2008). Parece, en efecto, que el aumento de la rigidez es beneficioso para el rendimiento y al mismo tiempo, poca o demasiada rigidez puede aumentar el riesgo de las lesiones musculoesqueléticas (Butler, et al., 2003). Aunque no hay en general consenso sobre el efecto del aumento o disminución de la rigidez en el riesgo de lesiones, existe evidencia de que el aumento de rigidez puede estar relacionado con lesiones óseas y también que la disminución de la rigidez puede estar asociada con lesiones de tejidos blandos (Burr, Martin, Schaffler, y Radin, 1985; Grimston, Nigg, Fisher, y Ajemian, 1994; Williams, McClay, y Hamill, 2001; Williams, Davis, Scholz, Hamill, y Buchanan, 2004). A pesar de lo anteriormente mencionado, parece que existe una cantidad óptima de rigidez que permite un elevado rendimiento con poca probabilidad de lesiones (Butler et al., 2003).

1.5. ANÁLISIS DEL SPRINT DESDE EL PUNTO DE VISTA FISIOLÓGICO

Fuentes de obtención de energía durante las carreras de velocidad

Nuestro conocimiento del metabolismo durante la actividad del sprint ha avanzado recientemente por la reintroducción de la técnica de biopsia con aguja para tomar muestras de músculo. Además, se ha desarrollado de manera fiable la ergometría en laboratorio para la medición de la potencia de salida generada durante el sprint. La técnica de la biopsia con aguja, permite tomar muestras de

músculo que han de tomarse al atleta y congelarla inmediatamente (4-6 s) después de la actividad. Por lo tanto, las muestras cuando se analizan, reflejan estrechamente el estado del músculo en el momento después de finalizar la actividad. Este corto período de tiempo es muy importante ya que el tiempo de recuperación medio en eventos metabólicos que tiene lugar en el ejercicio de velocidad es muy reducido.

La tabla 1 muestra los cambios en distintos metabolitos musculares antes y durante distintas etapas durante un sprint máximo de 30 s. Como puede verse, el glucógeno muscular tiene una reducción de aproximadamente un 32%, la fosfocreatina (PCr) una del 67% y el adenosín trifosfato (ATP) se reducen en un 28% después de sólo 30 s. Durante el mismo período de tiempo, el lactato muscular aumentó 20 veces sus valores iniciales. Estos datos indican que el metabolismo anaeróbico fue la principal fuente de energía para que el sprint fuese llevado a cabo. Se aprecia que la caída de la PCr está probablemente un poco subestimada ya que incluso realizando la biopsia muscular a los pocos segundos, es un tiempo suficiente para que se produzca una resíntesis significativa de la PCr.

Cuando se recogen datos en test realizados en cinta de correr y cicloergómetro (Tabla 1) nos permite examinar las adaptaciones metabólicas para diferentes segmentos de una carrera de velocidad. Analizando estos datos se puede ver que la mayoría de estos cambios ocurren dentro de los primeros 10 segundos, coincidiendo con unos valores máximos de potencia. Las reservas de fosfocreatina se redujeron en aproximadamente un 55% durante estos primeros 10 segundos, con solamente una reducción adicional del 18% durante los siguientes 10 segundos. Por lo tanto, aproximadamente el 75-85% de la disminución de la PCr durante una carrera de 30 segundos se produce durante los primeros 10 segundos, y la reducción restante de PCr ocurre durante el segundo período de 10 segundos. Esta observación sugiere que existe poca o ninguna energía disponible de PCr durante los últimos 10 segundos de una serie de 30 segundos de velocidad. Siguiendo con el comportamiento de la PCr, la reducción de las reservas de ATP son similares: la mayoría de la disminución de ATP se produce durante los primeros 10 segundos de una carrera, con poco margen

de cambio después de 20 segundos de carrera. Del mismo modo, el lactato se acumula a lo largo de los 20 segundos, siendo su pico máximo durante los 10 primeros segundos.

Tabla 1. La concentración de diversos muscular metabolitos en reposo y después de 6, 10 y 20 s de carreras de velocidad (Boobis et al 1982; Nevill et al., 1989; Bogdanis et al. 1994)

Metabolites	Rest	6 s	10 s	20 s	30 s
Glycogen	404	–	357	330	281
PCr	81	53	36	21	14
ATP	25.6	23.2	20.2	19.8	19.6
Pi	2.9	–	14.8	17.4	16.2
Lactate	5	28	51	81	108

ATP, adenosine triphosphate; PCr, phosphocreatine;
Pi, phosphate.
All values are expressed in mmol·kg⁻¹ dry muscle.

Para una mayor información sobre el estado del atleta durante este tipo de esfuerzos, es posible estimar la tasa anaeróbica de la utilización de ATP durante las carreras de velocidad utilizando una fórmula sugerida por Katz et al. (1986). El promedio de la tasa de utilización de ATP sobre los primeros 6 segundos es de aproximadamente 15 mmol · kg⁻¹ · s⁻¹ en el músculo, de los cuales aproximadamente el 50% se suministra por la degradación de PCr. Sin embargo, la tasa media de utilización de ATP es estimada sobre la totalidad de los 30 segundos, reduciendo esta cifra a unos 8 mmol · kg⁻¹ · s⁻¹ dm, con un suministro de PCr menor del 30% de la ATP total utilizada.

La discusión hasta ahora se ha centrado en los metabolitos, o su desaparición dentro del músculo. Es importante tener en cuenta que la contribución a la resíntesis del ATP durante una carrera de velocidad es diferente para las dos categorías principales de las fibras musculares. Las reservas de PCr

y glucógeno antes de una carrera de velocidad en las fibras de tipo II son mayores que para las fibras del tipo I. Después de 30 segundos de velocidad, las fibras de tipo II también muestran los mayores cambios en estos sustratos (94% y 27%, respectivamente), lo que indica que estas fibras contribuyen proporcionalmente más energía anaeróbica durante una carrera de velocidad que las fibras de tipo I.

En la figura 5 se puede observar la comparación de la tasa media de producción anaeróbica del ATP (Fig. 5a) y la potencia media de salida (Fig. 5b) durante carreras cortas de diferente duración. La tasa de producción de ATP para un sprint de 20 segundos es de aproximadamente un 50% menos a la de un sprint de 10 segundos, pero la diferencia en la potencia de salida es sólo de un 28% menos. Estos datos parecen indicar que existe una falta de coincidencia entre la energía suministrada al músculo y su potencia de salida. Esta discrepancia puede ser explicada por cualquier aumento de la eficiencia de producción de energía o por una mayor contribución al suministro de energía por fuentes aeróbicas durante la duración del sprint. Con respecto a esto, la mejora en la eficiencia se puede observar mediante los registros de la potencia-velocidad en relación al músculo (Fig. 6).

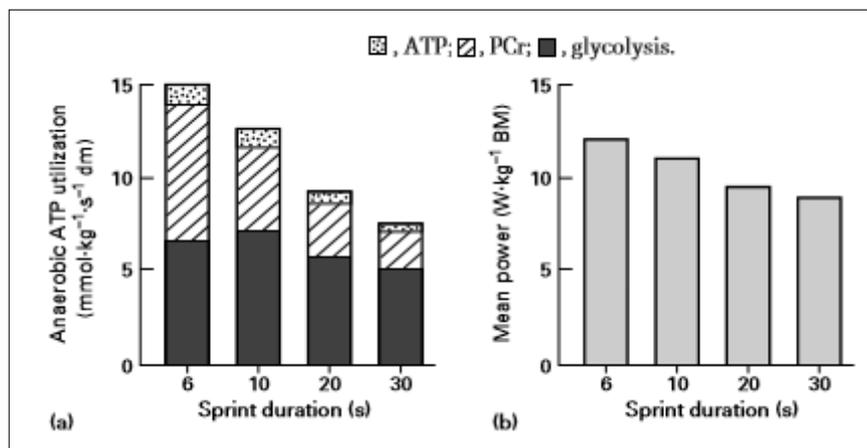


Figura 5: (a) La utilización del ATP derivada del metabolismo anaeróbico y (b) promedio de la potencia de salida durante un sprint en bici durante diferentes duraciones (datos citados de los estudios de la tabla 2)

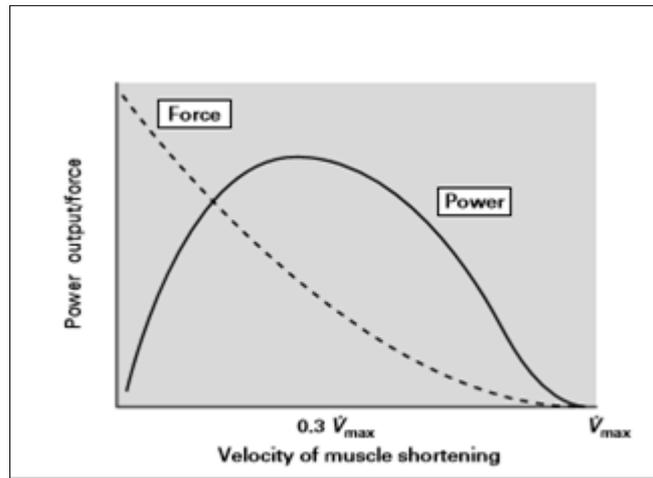


Figura 6: Las relaciones fuerza-velocidad y potencia-velocidad en el músculo (sólo acciones concéntricas)

Observando la figura expuesta anteriormente (Figura 6), se observa una región en la curva de potencia-velocidad cercana al aproximadamente 0,3 de la V_{max} (donde V_{max} es la máxima tasa posible de acortamiento de un músculo sin carga) donde la potencia de salida es óptima: a velocidades mayores o menores de este valor óptimo, la potencia declina rápidamente. Durante 10 segundos de sprint, los músculos se acortan a tasas superiores a la velocidad óptima y así se atenúa la potencia de salida. Por el contrario, en la fase de desaceleración de la velocidad media mantenida durante 20 s, los músculos están más cerca de la velocidad óptima y tienen una producción más eficiente de la potencia de salida. Esta mejora de la eficiencia puede explicar el aparente desajuste entre los suministros de energía durante la contra muscular y la potencia del músculo.

Previamente, se ha demostrado que al menos el 25% de la energía total requerida para la resíntesis de ATP durante un solo sprint de 30 segundos se proporciona a partir del metabolismo aeróbico (Bogdanis et al., 1994). A la luz de esta observación, está claro que el metabolismo aeróbico juega una parte significativa en la provisión de energía, incluso para el sprint más corto; esta contribución aumenta sustancialmente al igual que la distancia de los aumentos de velocidad. Sin embargo, hay un lapso significativo de tiempo entre el inicio del ejercicio y el sistema de energía aeróbica que funciona a la velocidad máxima.

Debido a esto, a medida que aumenta la duración del sprint, el sistema de potencia aeróbica es capaz de trabajar óptimamente, mientras que el suministro de energía de los sistemas anaerobios, en particular la degradación de PCr, se ve gravemente comprometido.

La figura 7 muestra la resíntesis de ATP estimada derivada de los sistemas de potencia aeróbica y anaeróbica de dos sprints. La altura de la columna refleja la potencia media generada durante cada sprint, donde se puede observar que la salida de potencia media durante el segundo sprint fue de un 20% menos que el primer sprint. Además, la proporción de energía a partir del metabolismo aeróbico aumentó de un 29% en el primer sprint a un 43% en el segundo. Este aumento en el metabolismo aeróbico estuvo acompañado por una disminución la contribución del metabolismo anaeróbico. El sprint, por tanto, no debe ser visto como exclusivamente como un esfuerzo anaeróbico. Además, al examinar los datos de los primeros 6 segundos de una carrera de velocidad (Tabla 1), se produce una cantidad sustancial de ácido láctico en el músculo que está realizando el esfuerzo. En pocas palabras, todos los sistemas de energía contribuyen a la resíntesis de ATP pero su contribución es diferente a medida que la duración del ejercicio varía.

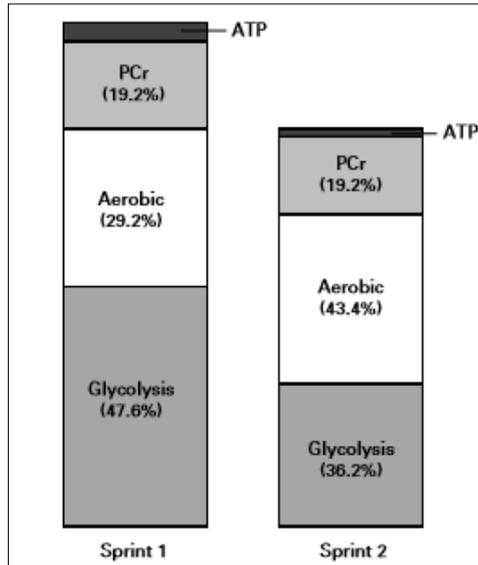


Figura 7: La estimación total de la utilización del ATP en el metabolismo anaeróbico y aeróbico durante dos sprints de 30s separados por 4 minutos de descanso. La altura de la columna representa el promedio de potencia de salida de cada sprint. Datos de Bogdanis et al. (1994).

Parámetros utilizados para el análisis fisiológico de la carrera de velocidad

Ácido láctico y fosfocreatina

Aunque una proporción significativa de la energía requerida para las carreras de velocidad es proporcionada por fuentes aeróbicas, la mayor contribución de energía proviene del metabolismo anaeróbico. Las dos principales fuentes anaeróbicas son la ruptura de PCr y la glucólisis anaeróbica. Por ejemplo, en un sprint de 30 segundos, el desglose de PCr suministrada es del 25 a 30% de la energía anaeróbica para la resíntesis de ATP, mientras que para la glucólisis anaeróbica se proporciona el 65-70% restante de la energía. En el análisis final, la velocidad máxima de un corredor de velocidad es esencialmente el producto de la energía anaeróbica que puede ser producida. En la figura 8 se puede observar la producción de fuerza máxima para un sprint de 30 segundos por velocistas y corredores de resistencia.

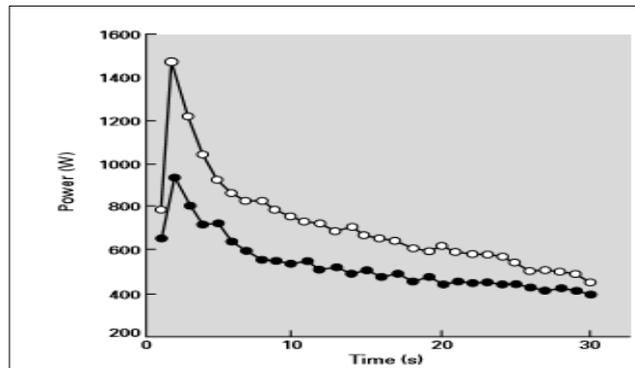


Figura 8: La potencia de salida en el sprint (○) y la resistencia del atleta (●) durante 30 s de sprint en bicicleta.

Como puede verse en la figura anterior (Figura 8), hay una marcada diferencia entre los dos perfiles; los velocistas producen una mayor fuerza a lo largo de todo el sprint, pero también muestran una mayor fatiga (la diferencia entre el pico de fuerza y la fuerza final de salida). Además, la capacidad de producir energía a partir del metabolismo anaeróbico parece ser más rápida en el velocista que en el atleta de resistencia, pero hace que nos surja una pregunta, ¿por qué conduce esto a una mayor fatiga? Para responder a esta pregunta es necesario entender los procesos por los cuales el organismo genera energía a través de la glucólisis.

La glucólisis es la degradación del glucógeno muscular para formar piruvato y ácido láctico en última instancia. El ácido láctico se disocia inmediatamente a lactato y de iones de hidrógeno (H^+). La mayor parte de H^+ producidos son 'tamponados'; sin embargo, algunos permanecen libres y son estos H^+ libres, en vez que el ácido láctico *per se*, los que pueden influir en la actividad muscular. Esto se debe a que el H^+ puede reducir el suministro de la energía de la glucólisis mediante la inhibición de la actividad de una enzima clave en la ruta metabólica, la fosfofructoquinasa. Mediante la inhibición de la actividad de la fosfofructoquinasa, la velocidad a la que las reacciones químicas en el músculo se llevan a cabo es sustancialmente reducida, disminuyendo de ese modo la tasa global de energía de suministro para la resíntesis de ATP. Además,

el H^+ puede interferir con los mecanismos de desarrollo de tensión dentro de los filamentos de actina. La consecuencia práctica de los eventos mencionados anteriormente es que los puntos de unión de la miosina con las cabezas de los filamentos de actina no queden expuestos en la forma normal, previniendo así, la formación de puentes cruzados. Los inactivos puentes cruzados resultantes previenen desarrollar la tensión óptima del músculo atenuando la fuerza y reduciendo la velocidad del sprint. Por lo tanto, la mayor tasa de glucólisis en el velocista provoca tanto una rápida producción de H^+ , como una mayor concentración de estos iones, lo que resultará en una mayor fatiga por los mecanismos descritos.

Las reservas de fosfocreatina se activan rápidamente durante el sprint, llegando a estar casi completamente agotadas después de los primeros 10 segundos de carrera máxima. Sin embargo, La PCr es resintetizada rápidamente durante la recuperación: al cabo de 60 segundos, los niveles de PCr del músculo se restauran aproximadamente un 50% y aproximadamente un 90% después de 200 segundos. Por lo tanto, la PCr está disponible para alimentar un subsecuente sprint después de un período de descanso relativamente corto. A diferencia del pH del músculo (indicador de la concentración de la libertad de H^+) la PCr muestra poca recuperación durante 5-6 minutos de descanso, manteniéndose en un valor de 6.8. La prolongada presencia de estos H^+ continuaría inhibiendo el desempeño en un sprint posterior. Si la restauración de las reservas musculares de PCr permite la continuación de ejercicio de alta intensidad y la presencia continuada de H^+ inhibe (papel dominante), cabe preguntarnos: ¿cómo afectarían estos factores a la repetición de sprints?

Para intentar dar respuesta a la pregunta anterior, se han realizado análisis de las relativas contribuciones de las dos vías anaeróbicas para la recuperación de la potencia de salida pueden ser estimadas examinando la capacidad de realizar un segundo sprint siguiendo diferentes períodos de descanso. En la siguiente figura (figura 9), se muestra la evolución temporal de la resíntesis de PCr, los cambios del pH muscular y la restauración de la potencia máxima de salida durante la recuperación de dos sprints de 30 segundos separados por 1,5, 3 o 6 min de recuperación (Bogdanis et al. 1996).

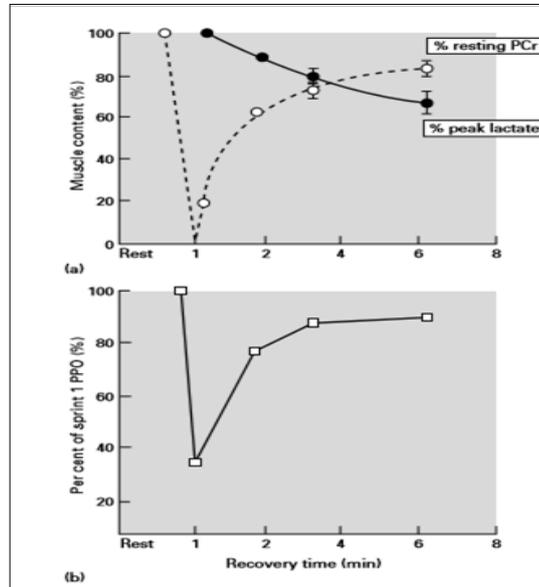


Figura 9: El curso temporal (a) de la resíntesis de la fosfocreatina (PCr) y la desaparición del lactato en el músculo y (b) la recuperación del pico de la potencia de salida (PPO) tras 30s de sprint en bicicleta. Datos de Bogdanis et al. (1996).

Es evidente que el pico de potencia de salida en el segundo sprint va paralelo a la resíntesis de PCr. Mientras, el lactato muscular aumentó alrededor de $120 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dm}$ inmediatamente después del primer sprint, cayendo en un 70% de este valor después de 6 minutos de recuperación. La concomitante acidosis muscular, que es estimada a partir del pH del músculo, se mantuvo en los niveles de los 3 primeros minutos de recuperación en el post sprint y sólo descendió muy ligeramente después de 3 minutos adicionales. En ese momento, existía todavía una alta concentración de H^+ a los 6 min de descanso. Sin embargo, a pesar de la concentración iónica predominante, el rendimiento de velocidad fue casi completamente restaurado. Esto demuestra que la recuperación después de un sprint de 30 segundos se produce en paralelo con la resíntesis de PCr a pesar de la bajada del pH muscular. Por lo consiguiente, es posible que la resíntesis de PCr fuera el factor dominante que influye en el rendimiento en sprints repetidos.

Amonio

El ejercicio conlleva un incremento de la concentración de amonio en sangre (Babij et al., 1983; Banister et al., 1983; Lo y Dudley, 1987; Harris y Dudley, 1989; MacLean y col., 1991). Durante el ejercicio de alta intensidad, donde el ratio ATP/ADP es bajo y la mayor fuente de amonio es la desaminación de AMP (adenosín monofosfato) (Meyer et al., 1980) por la adenilato deaminasa (Goodman y Lowenstein, 1977; Lowenstein, 1972; Lowenstein y Tornheim, 1971).

La producción de amonio durante la actividad física intensa a menudo se ha asociado a la aparición de fatiga (Banister et al., 1983, 1985; Mutch y Banister, 1983). Los cambios de intensidades, duraciones y los diferentes tipos de ejercicio muscular han manifestado producir incrementos en la concentración sanguínea de amonio. El amonio, durante el ejercicio, se puede producir por dos vías principales: 1) como resultado de la desaminación del adenosín monofosfato (AMP), dentro de lo que se ha denominado “ciclo de los nucleótidos de purina” (Lowenstein, 1972), una sucesión de reacciones químicas que se pone en marcha cuando las concentraciones de los fosfágenos musculares (ATP/PCr) caen por debajo de cierto límite crítico; y 2) mediante el catabolismo de los aminoácidos de cadena ramificada (Maclean et al., 1994).

De forma similar a lo que ocurre con el lactato, la cantidad de amonio presente en la sangre durante el ejercicio físico es el resultado de un equilibrio entre su producción por el músculo esquelético y su eliminación, fundamentalmente por el propio músculo y el hígado (Dudley et al., 1983). Aunque normalmente temporal, la producción de amonio en el músculo va seguida de un descenso en el conjunto total (pool) de mononucleótidos de adenina, ya que el nivel de nucleótidos de adenina se restablecerá más tarde durante el descanso y la recuperación. El ritmo de degradación debe estar en equilibrio con el de producción para que el pool de nucleótidos de adenina se pueda mantener (Brault y Terjung, 2001), pero si la intensidad del ejercicio es demasiado alta este equilibrio tiende a romperse. Una de las principales funciones del “ciclo de las purinas” es, precisamente, la regulación de los niveles relativos de los nucleótidos de adenina AMP, ADP y ATP (Lowenstein, 1972; Tornheim y Lowenstein, 1972) y, en particular, sirve como mecanismo de control para mantener un elevado ratio ATP/ADP (Lowenstein, 1990). El ciclo de las

purinas actúa, pues, como una vía de urgencia para preservar el contenido de nucleótidos de purina del músculo (Sabina et al., 1980).

1.6. REVISIÓN A LOS MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DEL SPRINT

El notable incremento del número de corredores en los últimos años tiene implicaciones obvias para los profesionales como médicos, fisioterapeutas y entrenadores que ofrecen servicios dirigidos a la evaluación, rehabilitación de lesiones y mejora en el rendimiento de la carrera. Los recientes avances tecnológicos facilitan una mayor gama de individuos capaces de proporcionar estos servicios. Debido a este aumento de demanda, viene la necesidad de tener un pleno conocimiento de la tecnología aplicada para el análisis de la carrera (Bergamini, 2011).

Muchas de las herramientas se han desarrollado para ayudar en la evaluación del rendimiento en el sprint. Entre estas herramientas se incluyen los sistemas de captura de movimiento más tradicionales que se utilizan para describir el movimiento del cuerpo, las placas de fuerza que cuantifican las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y la electromiografía (EMG), utilizada para estimar el nivel de la actividad muscular durante el movimiento.

Recientemente se han desarrollado sensores portátiles más pequeños y se han utilizado con éxito para medir parámetros de la carrera. Entre estos se incluyen acelerómetros, electrogoniómetros, giroscopios, y sensores de presión en la suela. Estas herramientas han sido utilizados con precisión para la medición de la pisada (Verdejo y Mills, 2004; Butler, Davis, y Hamill, 2006; Clinghan, Arnold, Drew, Cochrane, y Abboud, 2008; Dixon, 2008) y ortesis (Mündermann, Nigg, Humble, y Stefanyshyn, 2003), factores de riesgo de lesión (Milner, Davis, y Hamill, 2006), rendimiento en la carrera (Stafilidis y Arampatzis, 2007), los efectos de la fatiga (Derrick, Dereu, & McLean, 2002; Le Bris et al., 2006), y las adaptaciones de la carrera (Karamanidis, Arampatzis, y Brüggemann, 2004). En la siguiente tabla (Tabla 2), se resumen los parámetros de la marcha específicos medidos por cada sistema y sensores.

Tabla 2: Resumen de los parámetros de la carrera medido por los sistemas o sensores que actualmente se utilizan (de Higginson, 2009).

SISTEMA/SENSOR	PARÁMETROS QUE MIDE
Motion analysis system (análisis sistema de movimiento)	Ej. 3D posición y orientación de segmentos, velocidades lineales y angulares y aceleración.
Plataformas de fuerzas	Fuerza de reacción con el suelo, centro de presión, momento articular potencia.
Sensores de presión	Distribución de la presión de fuerza, fuerza vertical, parámetros espacios-temporales.
EMG (Electromiografía)	Activación muscular, y patrones de sincronización, fatiga muscular.
Acelerómetros	Aceleración y orientación de segmentos. Parámetros espacio-temporales.
Electrogoniómetros	Ángulos relativos de las articulaciones.
Giroscopios	Orientación de segmentos, velocidad angular y aceleración.

A continuación se proporciona una breve descripción de las tecnologías actuales utilizadas para la evaluación del rendimiento en la carrera.

La electromiografía

La electromiografía (EMG) es una técnica utilizada para medir los niveles de la actividad eléctrica del músculo durante la marcha, caminando o corriendo. El tiempo, la activación del músculo y la intensidad relativa son típicamente las

medidas primarias de interés y pueden ser recogidas a través del uso de agujas muy finas o electrodos. A través de esta técnica se puede detectar el comportamiento anormal de la marcha y evaluar el control neuromuscular de un corredor (Dugan y Bhat, 2005).

Utilizando esta herramienta, se ha podido estudiar la activación muscular normal durante la zancada (Cavenagh, 1990; Novacheck, 1998) y el sprint (Mero, et al., 1992), así como la activación muscular y la influencia por cambios en la marcha y la velocidad de carrera (Cappellini, Ivanenko, Poppele, y Lacquaniti, 2006). Además de proporcionar información sobre el músculo y sus niveles de activación, el tiempo y el contenido de frecuencia de la señal de EMG puede ser analizado para determinar la fatiga muscular (Wakeling, Pascual, Nigg, y von Tschärner, 2001), y que además puede utilizarse en la detección temprana de lesiones.

Asimismo, los parámetros EMG se han encontrado altamente reproducibles entre los ciclos de zancada cuando se compararon a través de diferentes técnicas de carrera (velocidad de carrera y frecuencia de zancada), pero tienden a ser menos reproducibles cuando se comparan a través de músculos individuales, por ejemplo los músculos de la pierna distal muestran mayor reproducibilidad que músculos proximales de la pierna durante la carrera (Karamanidis et al., 2004). Dependiendo del músculo en el que se quiere centrar la medición, se deben tener en cuenta los protocolos de análisis debido a la disminución o aumento del número de ciclos de zancada.

Uno de los mayores inconvenientes de los sistemas de EMG es que los datos se transmiten a través de un cable, y esto podría limitar el movimiento del sujeto. Actualmente, los sistemas más modernos incorporan tecnología que permite que los datos se transmitan de forma inalámbrica o que sean almacenados en un registrador de datos acoplado al sujeto, aumentando enormemente la funcionalidad de estos sistemas. Otras limitaciones incluyen la diafonía entre los músculos y el ruido eléctrico de fuentes externas (Harris y Wertsch, 1994). Para solucionar estas limitaciones, se ha incluido una línea de preamplificación en los dispositivos, lo que ha producido una reducción en gran medida del ruido ambiental en la señal subyacente miográfica, permitiendo una mayor relación señal-ruido. Aunque la selección de técnicas de procesamiento de

señal y de normalización apropiada, la selección del músculo y la determinación de algoritmos, y la interpretación de datos es un trabajo complicado para operadores inexpertos, muchos sistemas actuales están diseñados para adaptarse a diferentes niveles de dominio del usuario.

Análisis de movimiento (estereofotogrametría)

El método más común para la recogida de información sobre la posición y la orientación de distintos segmentos del cuerpo en el espacio en dos o tres dimensiones es el uso de la tecnología de captura de movimiento (a menudo referido como estereofotogrametría), en la que se utilizan unos marcadores fácilmente visibles adheridos en el sujeto y por los cuales se puede seguir el movimiento de interés. Estos marcadores pasivos que reflejan ambiente o luz infrarroja a través de técnicas de digitalización manual o automática, se puede determinar la ubicación de las coordenadas (en dos o tres dimensiones) de los marcadores. A partir de los datos de posición, la velocidad y aceleración se pueden calcular mediante la adopción de la derivada temporal de la posición y velocidad, respectivamente.

Aun siendo sistemas precisos, existen limitaciones inherentes en ambos sistemas ópticos ya que es necesario que las imágenes sean tratadas por expertos operadores, pueden ser excesivamente caros, tienen un volumen relativo de captura pequeña, y requieren un ambiente controlado en el que operar (Sabatini, Martelloni, Scapellato, y Cavallo, 2005). Además, el movimiento de los tejidos blandos, y a su vez los marcadores en la piel en relación a los huesos subyacentes (softtissueartefact - STA), parece ser una de las principales fuentes de error en la estimación de la cinemática y, en particular, de los parámetros cinéticos en el análisis de las técnicas deportivas (de Leva y Cappozzo, 2006). Con respecto a este punto, hay una necesidad de investigación en el desarrollo de nuevas metodologías diseñadas específicamente para aplicaciones deportivas.

Para superar los problemas relacionados con el pequeño volumen de captura, el uso de pequeñas y nuevas tecnologías portátiles parecen ser la solución ideal.

Placas de fuerza

Las placas de fuerza se utilizan comúnmente para medir las fuerzas de contacto entre el pie y el suelo (ground reaction forces - GRF). Esta información puede ser utilizada para cuantificar las fuerzas de impacto, las tasas de carga, fuerzas de propulsión y de ruptura, y para realizar un seguimiento de los cambios en el centro de presión (center of pressure -CoP) a través del tiempo.

Estas placas tienen un tamaño relativamente pequeño, siendo esto una limitación para la colocación de los pies, por lo que puede dar lugar a que los sujetos adopten una "orientación" mientras corren, alterando la mecánica natural de la marcha (Paolini, DellaCroce, Riley, Newton, y Case y Kerrigan, 2007). Esta estrategia de focalización puede conducir a un aumento de la variabilidad de la longitud del zancada (Wearing, Urry, y Smeathers, 2000) y a menudo tiene como resultado la exclusión del ensayo (Milner, Ferber, Pollard, Hamill, y Davis, 2006).

Recientemente, el desarrollo de cintas de correr instrumentadas ha permitido la recogida rápida de GRFs, lo que permite controlar la velocidad de la carrera al tiempo que elimina posibles errores introducidos por estrategias de focalización. Uno de los principales inconvenientes de estos sistemas, es que al incorporar unas placas de fuerza debajo de la cinta, estas pueden ser susceptibles al ruido debido a la fricción de la cinta móvil sobre la placa.

Sensores de presión: baropodometría

El uso de sensores de presión en el calzado proporciona facilidad en su uso debido a su portabilidad y ligereza, convirtiéndose así en una alternativa para analizar la marcha. A diferencia de las plataformas de fuerza, que son capaces de cuantificar la distribución de la fuerza sobre la superficie plantar del pie, los sensores de presión proporcionan información de forma más detallada sobre la carga del pie durante la marcha. Debido a que este dispositivo se coloca en el zapato, las cargas que actúan sobre la superficie del pie se pueden medir directamente, sin embargo, en las plataformas estándar de fuerza se mide la fuerza que actúa en la parte inferior del zapato (Dixon, 2008). Por esta razón, los sensores de presión en el calzado se utilizan comúnmente para cuantificar el efecto del diseño del calzado y la carga del pie. Además, se han utilizado para comparar la carga del pie entre los tipos de calzado similares (Clinghan et al.,

2008) y entre los zapatos de diferentes diseños de media suela (Dixon, 2008), así como los cambios en la absorción de impactos (Verdejo y Mills, 2004).

Los sensores de presión también proporcionan la capacidad de medir las fuerzas verticales experimentadas por el pie durante la carrera (Karamanidis et al., 2004) y detectan parámetros típicos de la marcha necesarios para el análisis de la carrera, como el golpe de talón y el despegue de los dedos necesaria para definir la fase de apoyo de la marcha (Catalfamo, Moser, Ghousayni, y Ewins, 2008). A pesar de que las plataformas de fuerza son consideradas como *el gold standard* para recoger estas mediciones, están limitadas en el número de pasos que pueden ser muestreada y típicamente su uso está restringido a un entorno controlado de laboratorio. Por el contrario, los sensores de presión en el calzado dan al investigador o médico la facilidad para recopilar datos de zancadas continuas en un entorno que facilita la marcha normal de carrera, como por ejemplo la pista.

Otro de los aspectos positivos es que los parámetros de la carga plantar obtenida a partir de los sensores de presión en el calzado tienen una alta fiabilidad a través de múltiples ensayos de la misma materia, con baja variabilidad entre las zancadas (Murphy, Beynnon, Michelson, y Vacek, 2005), y son repetibles entre los días de prueba (Putti, Arnold, Cochrane, y Abboud, 2007). Los análisis de los parámetros de GRF indican que estas medidas son fiables, a través de una gama de velocidades de carrera y frecuencias de zancada (Karamanidis et al., 2004), también cuando se reciben por medio de sensores de presión. Sin embargo, la comparación de los dos más populares sistemas de medición de presión indican que la exactitud y precisión de estos sistemas puede ser sensible a los niveles de presión aplicada, procedimiento de calibración, la duración de aplicación de presión, y el tiempo de uso de la plantilla (Hsiao, Guan, y Weatherly, 2002).

Acelerómetros

El uso de sensores fijados al cuerpo, como son los acelerómetros, se están convirtiendo rápidamente en una alternativa viable a las técnicas de análisis de la marcha más tradicionales para el uso en la evaluación del movimiento humano. Los acelerómetros son sensores inerciales que proporcionan una medición directa

de la aceleración a lo largo de ejes individuales o múltiples, y de manera efectiva reducen el error asociado a la diferenciación del desplazamiento y la velocidad.

Los sistemas basados en acelerómetros se han utilizado con éxito para cuantificar el impacto experimentado por las extremidades inferiores al caminar y correr (Lafortune, Henning, y Valiente, 1995; Butler et al., 2006; Milner, Davis et al., 2006), evaluar el efecto del calzado (Butler et al., 2006) y las plantillas (O'Leary, Vorpahl, y Heiderscheit, 2008) el impacto que recibe el tibial durante la marcha, determinar la atenuación del impacto entre los segmentos del cuerpo durante la marcha (Mercer, Bates, Dufek, y Hreljac, 2003), e investigar los efectos de la fatiga después de ejecutar patrones de marcha (Le Bris, et al., 2006).

Quizás, la ventaja más atractiva, es la capacidad de los acelerómetros para ser utilizados en la estimación de los parámetros de la marcha espacio-temporales (Sabatini, et al., 2005), que hasta hace poco requerían el uso de plataforma de fuerzas, sistemas de análisis de movimiento o pedales. Como se aborda en las descripciones anteriores, una limitación principal de los sistemas *stereophotogrammetric* y plataformas de fuerza en el análisis de la carrera, es su capacidad limitada para medir pasos sucesivos. Debido a su peso ligero y la portabilidad, los acelerómetros son capaces de grabación de datos que pueden ser recogidos de manera continua durante muchos ciclos de zancada durante un período prolongado de tiempo. Esta tecnología se ha utilizado eficazmente para detectar alteraciones en los patrones de carrera después de la aparición de la fatiga en corredores de media distancia mientras están corriendo en pista, sin la alteración de los patrones de carrera (Le Bris et al., 2006).

A pesar de las pruebas mecánicas que han confirmado la validez y la fiabilidad de los acelerómetros en la medición de las aceleraciones dentro de la frecuencia y rango de amplitud de movimiento del cuerpo humano (Bouten, Koekkoek, Verduin, Kodde, y Janssen, 1997), la evidencia indica que son sensibles al sitio y el modo de colocación. Cuando los acelerómetros son colocados en la piel, se dan como resultado unas mayores aceleraciones máximas comparadas con las aceleraciones resultantes de acelerómetros colocados en el hueso (Lafortune, 1991). Otro inconveniente de estos sensores es que la señal de aceleración se ve afectada por un desplazamiento fluctuante (sesgo) y ruido blanco aleatorio, que puede poner en peligro el resultado del proceso de

integración numérica cuando sea necesario estimar la velocidad o desplazamiento (Woodman, 2007).

Giroscopios

Los giroscopios son sensores en miniatura que se pueden conectar a segmentos individuales del cuerpo, proporcionando una medida directa de la velocidad angular producida por el segmento corporal. Esta tecnología de detección es una alternativa económica a los sistemas de análisis de movimiento (Mayagoitia, Nene, y Veltink, 2002), y recientemente, se han desarrollado distintos para el cálculo de los parámetros espacio-temporales en base a la velocidad angular, datos proporcionados por los propios giroscopios (Aminian, Najafi, bula, Leyvraz, y Robert, 2002; Sabatini et al., 2005). Además, poseen un porcentaje muy bajo de error durante la medición en comparación con las mediciones realizadas con sensores de presión colocados en el pie (Aminian, et al., 2002).

Otro de los aspectos positivos de la utilización de los giroscopios, aparte de permitir la medición directa de la velocidad angular de los segmentos corporales y el cálculo de parámetros espacio-temporales, es su pequeño tamaño que permite una mejor portabilidad, necesita de menos potencia para su funcionamiento (Wong, Wong, y Lo, 2007), y una menor o nula sensibilidad a la influencia de la gravedad (Sabatini et al., 2005). Sin embargo, el uso conjunto de giroscopios con acelerómetros, produce una disrupción en la integridad de la señal debido a una mala fijación o selección del sitio y por el sesgo y el ruido blanco aleatorio.

Aun teniendo los problemas mencionados anteriormente, la utilidad de los giroscopios y los acelerómetros puede mejorarse a través del uso concurrente de los dos sensores. La teoría de la fusión de sensores, tomada del campo aeroespacial, se ha aplicado para la estimación de la orientación del sensor, utilizando los acelerómetros para compensar la desviación que afecta al desplazamiento angular. Este desplazamiento angular es hallado mediante la integración numérica de las señales ruidosas del giroscopio, usando la gravedad como una dirección de referencia absoluta. Este último ajuste hace referencia a las unidades de medida inerciales (inertial measurement unit-IMU). Cuando se combina con tasas de giroscopios, los acelerómetros pueden llegar a registrar el

ángulo de la articulación, la velocidad angular y la aceleración angular, siendo el registro similar a los sistemas de captura de movimiento bajo condiciones dinámicas (Mayagoitia et al., 2002). Este uso concurrente de los dos sistemas ha sido utilizado eficazmente para estimar la velocidad de marcha y la superficie de inclinación de los ángulos de los segmentos corporales (Sabatini et al., 2005).

Electrogoniómetros

Los electrogoniómetros permiten la medición directa de los ángulos articulares durante actividades dinámicas continuas. Estos aparatos son una alternativa sencilla y asequible como sistemas de captura del movimiento, y permiten que los datos de los ángulos de las articulaciones sean recogidos y visualizados instantáneamente. Para su colocación, normalmente los extremos de los bloques de los electrogoniómetros son fijados en la piel y a cada lado del eje de articulación mediante adhesivo de cinta de doble cara, según lo especificado por el fabricante. Cuando se producen movimientos no deseados debido a la vibración o movimientos durante la actividad analizada, el sensor puede ser efectivamente reducido mediante el uso de cinta adhesiva adicional (Piriyaprasarth, Morris, Winter, y Bialocerkowski, 2008). Asimismo, para períodos prolongados de colección de datos se han fabricado trajes especiales, lo que facilita la fijación del electrogoniómetro debido a los fijadores de velcro que incluye el traje (Pierre et al., 2006). Si no se evita el movimiento del sensor y existe una alineación incorrecta del sensor durante el procedimiento, estos inconvenientes serán los mayores factores para que se produzca un error potencial en la medición (Rowe, Myles, Hillman, y Hazelwood, 2001; Wong et al., 2007; Piriyaprasarth et al., 2008).

El error de medición del electrogoniómetro ha demostrado ser muy bajo, siendo estimado en 0.04 grados (Piriyaprasarth et al., 2008), por lo tanto ha sido validado para su utilización en análisis humano (Rowe, Myles, Hillman, y Hazelwood, 2001) y mecánico (Piriyaprasarth et al., 2008) en protocolos de prueba, con resultados comparables a los obtenidos utilizando sistemas de captura de movimiento (Rowe, Myles, Hillman, y Hazelwood, 2001). Aunque los estudios han mostrado una inter e intra fiabilidad relativamente alta, se ha sugerido que se debe utilizar el mismo aparato y mismo observador/colocador del sistema, siempre y cuando sea posible, para garantizar una repetitividad más

alta (Piriyaprasarth et al., 2008). Cuando se colocan correctamente, los electrogoniómetros han demostrado ser muy precisos y altamente sensibles para detectar cambios en los ángulos de la articulación a través del tiempo, siendo una simple, asequible y pequeña alternativa portátil para los sistemas de captura de movimiento (Rowe, Myles, Hillman, y Hazelwood, 2001).

1.7. NUEVAS PERSPECTIVAS PARA EL ANÁLISIS DEL SPRINT

Tapiz instrumentado

El tapiz instrumentado (ADAL3D-WR, Médico Desarrollo-HEF Tecmachine, Andre'zieux-Bouthe'on, Francia) ha sido validado para el uso del sprint (Morin et al., 2010). Se monta en un marco de metal fijado al suelo a través de cuatro transductores de fuerza piezoeléctricos (KI 9077b, Kistler, Winterthur, Suiza), y se instala en una losa de hormigón diseñado para asegurar la rigidez máxima del apoyo al suelo. El par motor constante se establece en un 160% del par predeterminado, es decir, el par motor necesario para superar la fricción en la cinta debido al peso del sujeto. El par predeterminado se midió al exigir a los sujetos que se detuviesen y luego aumentarían el par motor hasta observar un movimiento de la cinta superior a 2 cm más de 5 s. Este ajuste predeterminado del par como una función de la correa de fricción, está en línea con los estudios de cinta de correr motorizada anteriores (por ejemplo, Chelly y Denis 2001; Jaskolska et al., 1999; Morin et al., 2011a, b). Este dispositivo (Fig. 10) se ha utilizado en los estudios acerca de la mecánica de carrera (Morin et al., 2005, 2007, 2009) y es similar al validado para caminar por Belli et al., (2001), con una sola correa grande.



Figura 10: Imagen del tapiz instrumentado para el sprint. (A) Carril de metal anclado a la pared que permite individualizar la altura del punto de fijación (B), anclaje para mantener la cuerda horizontal. (C) Cuerda de escalada inextensible. (D) Cinturón de pesas. (E) Cinta de correr y tapiz montados con los cuatro transductores piezoeléctricos de cristal.

Radar

En su más simple forma, las pistolas radar son un transceptor de radio: envían una señal de radio, y luego reciben la misma señal que se ha reflejado en un blanco. En el retorno, la frecuencia es diferente, y esas dando la velocidad del objeto en cuestión, se pueden calcular. Su haz de radar es similar al haz de luz que se expande con la distancia a medida que la señal de origen se incrementa, y algunos reflejos del haz desde el objeto vuelven a la pistola, y ésta usa el efecto Doppler para calcular su velocidad. Se detecta la velocidad usando la comparación del cambio de frecuencia entre lo enviado y lo recibido.

El radar es usado en actividades deportivas, ya que es un instrumento capaz de medir de forma directa e inmediata la velocidad de los objetos en movimiento. Es muy fácil de usar y el aporte rápido de información que proporciona, hace de él un instrumento útil para el ámbito deportivo. Las pistolas radar, son las más utilizadas, ya que se pueden sujetar simplemente con la mano o sobre un trípode. Como principal ventaja del radar como instrumento de medida en el ámbito deportivo, resaltamos la rápida aportación de la

información y su posibilidad de ser utilizado en situaciones próximas a la realidad competitiva, incluso en competición, y su facilidad de uso que apenas requiere formación.

Este dispositivo ha sido validado y utilizado en el sprint (por ejemplo Chelly y Denis 2001; Di Prampero et al., 2005; Morin y Se`ve, 2011) y miden la velocidad de avance del corredor en una frecuencia de muestreo de 35 Hz.

1.8. PERFIL FUERZA-VELOCIDAD

Aproximación teórica

Existe un factor clave en las acciones explosivas en la realización de numerosas actividades deportivas, (Samozino et al., 2008), las cuales pueden ser definidas como la habilidad para acelerar una masa tanto como sea posible en el menor tiempo, ya sea el propio cuerpo (sprints o saltos) o una masa externa (lanzamientos). Al éxito de estas acciones se le vincula una potencia máxima (P_{max}) desarrollada por los miembros. Dicha potencia es la resultante de multiplicar la fuerza por la velocidad en un ejercicio determinado ($P = F \times v$), así que un idéntico valor de potencia también se puede conseguir desplazando poco peso con mucha velocidad o también con el desplazamiento de mucho peso a poca velocidad (Cuadrado-Peñafiel y Jiménez-Reyes, 2014). De manera reciente, a través de un modelo integrador, se establece que el resultado del salto viene determinado principalmente por la potencia máxima de las extremidades inferiores y también por la relación mecánica de fuerza-velocidad (lo que denominaremos como "Perfil Fuerza-velocidad"), este perfil describe el equilibrio entre la fuerza y la capacidad de velocidad que los miembros inferiores son capaces de generar (Samozino et al., 2008, 2010, 2012). Esta reciente teoría muestra que tales acciones explosivas, con independencia de la P_{max} , también están influenciadas, como se acaba de mencionar, por el Perfil mecánico de F-v del sistema neuromuscular de los miembros inferiores. Este Perfil F-v normalizado al peso corporal, representa la ratio entre la fuerza externa desarrollada y la capacidad máxima de velocidad y puede ser determinada por el descenso en esta relación de F-v. Se establece a su vez, una relación curvilínea entre rendimiento y perfil, con un pico que se corresponde con el Perfil óptimo

de F-v. Por ello, para cada individuo, existe un Perfil óptimo F-v, que puede ser determinado con exactitud y que representa el mejor equilibrio posible entre sus capacidades de fuerza y velocidad, ya que para una Pmax dada, un desfavorable balance entre estas dos capacidades, puede llevar a un descenso del rendimiento de hasta un 30 %.

Las relaciones que pueda haber entre el rendimiento en el salto y las características mecánicas del tren inferior como la fuerza o la capacidad de potencia sólo se han establecido a través de correlaciones. Esta capacidad mecánica del sistema neuromuscular de los miembros inferiores ha sido descrita por la relación inversa entre fuerza y velocidad, así como la relación parabólica entre potencia y velocidad durante varios tipos de movimientos concéntricos (Samozino et al., 2012), describiendo los cambios en la generación de fuerzas externas y potencia, por medio del incremento de la velocidad de movimiento. En su artículo (Samozino et al., 2010), propusieron un enfoque a través de una expresión matemática mediante la cual se hallaba la altura máxima de salto que cualquier individuo es capaz de alcanzar a través de tres características mecánicas de sus extremidades inferiores, como son la máxima cantidad de fuerza que pueda producir a velocidad nula (potencia máxima de los miembros inferiores durante la extensión) (F_0), la máxima velocidad a la cual pueda realizar la extensión, bajo la acción muscular con una carga 0 (V_0) y por último, la distancia de producción de fuerza determinada por el rango habitual de extensión (H_{po}), la distancia de empuje, calculada como la diferencia de medir desde el trocánter mayor hasta el pie en decúbito supino y desde el trocánter en la posición de 90° y el suelo. Parámetros que influyen la altura de salto máxima, como se ha mencionado con anterioridad. Las ecuaciones matemáticas utilizadas permiten afirmar que los saltos máximos están determinados por la capacidad de las extremidades de los miembros inferiores para producir fuerza o potencia (Samozino et al., 2010).

Como se ha mencionado anteriormente, una aproximación teórica recientemente validada sobre el salto mostró que el rendimiento balístico está influenciado por el "Perfil mecánico de F-v" del sistema neuromuscular de los miembros inferiores, independientemente de la potencia máxima (Samozino et

al., 2012, 2013). En la figura 11 podemos observar la relación de fuerza-velocidad y el desequilibrio que se muestran entre ambas capacidades físicas.

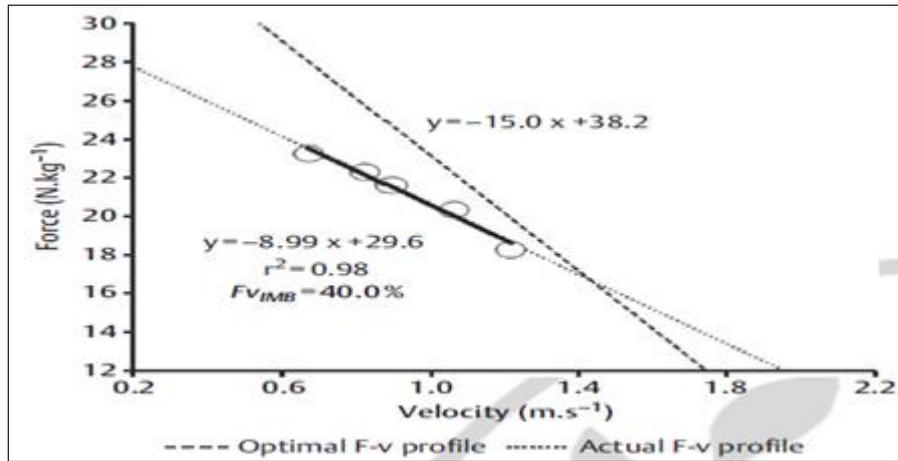


Figura 11: desequilibrio en el Perfil mecánico F-v. Cada círculo representa un SJ con su carga adicional dada. (Samozino et al., 2013).

Estos tres parámetros mencionados (F_0 , v_0 y H_{po}) representan las capacidades mecánicas de los miembros inferiores para generar fuerza externa, potencia y velocidad de contracción. La relación entre la fuerza externa desarrollada y las capacidades máximas de fuerzas, queda determinada por este Perfil F-v, normalizado respecto a la masa corporal, y puede ser representada por la pendiente de la relación F-v (S_{fv}) (Samozino et al., 2008, 2010, 2012 y 2013).

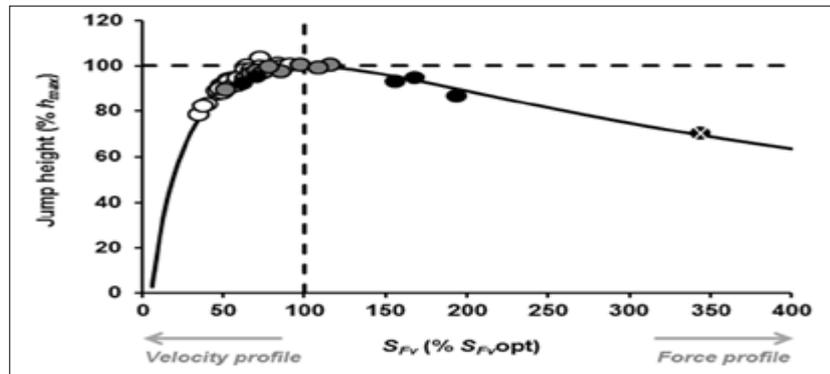


Figura 12: altura (h) en el SJ, expresada en relación a la altura máxima (h_{max}) de acuerdo con el Perfil F-v (pendiente de la relación F-v (S_{fv}) relacionado con su ($S_{fv, opt}$) (Samozino, Edouard, Sangnier, Brughelli, Gimenez, & Morin 2013).

En el artículo de (Samozino, Edouard, Sangnier, Brughelli, Gimenez, & Morin 2013), se habla de una relación positiva entre producción de potencia, peso corporal y altura de salto. Además en este estudio, la distancia de empuje se presenta como un nuevo parámetro para la realización del salto, no tenido en cuenta hasta la fecha, lo que es diferente a la angulación de la rodilla, considerado hasta ahora. Samozino, Morin, Hintzy, & Belli, (2008), señalan un método para evaluar la producción de potencia y es mediante un Squat Jump (SJ), un simple método de campo preciso y reproducible, que sirve para evaluar la producción de la potencia en los músculos extensores de los miembros inferiores, lo que lo convierte en un método conveniente para el uso en el propio terreno deportivo, porque sólo se requiere de varios saltos SJ (estandarizados y ejecutados con exactitud, sin carga y con varias cargas adicionales) y tres parámetros bastante fáciles de medir: peso corporal, altura de salto y distancia de despegue.

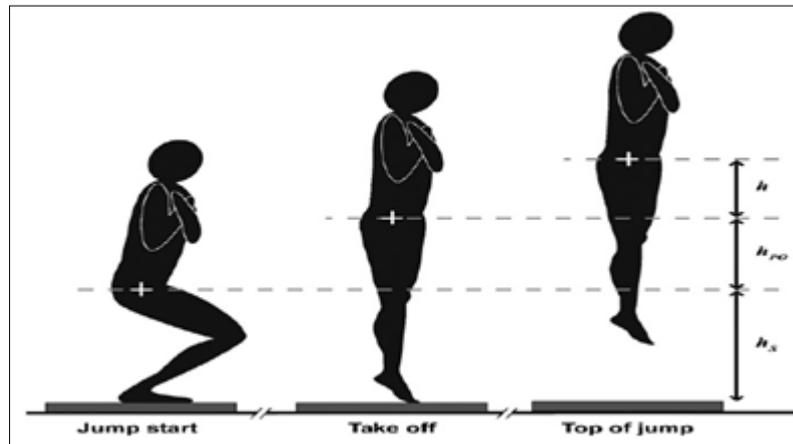


Figura 13: las tres posiciones clave durante un SJ vertical y las tres distancias utilizadas para los cálculos propuestos. (Samozino, Morin, Hintzy, & Belli 2008)

En el ya mencionado artículo, (Samozino, Edouard, Sangnier, Brughelli, Gimenez, & Morin 2013), hallaron un Perfil normalizado de F-v, en la ejecución del salto, así como la existencia de un Perfil óptimo F-v, que maximiza el resultado de cada individuo, ya que seleccionando las cargas del entrenamiento en base al desajuste individual de F-v del atleta, dicho perfil puede ser entrenado específicamente, lo que llevaría a mejorar el rendimiento, tanto en un incremento de la Pmax, como a una optimización del Perfil F-v. Esto es, movilizandocargas ligeras (por ejemplo, menos del 30% de 1 repetición máxima (RM)) con máximo esfuerzo, se orientaría dicho perfil hacia la velocidad y movilizandocargas pesadas (por encima del 75-80% de 1RM), se mejoraría las capacidades de fuerza. Esta relación entre rendimiento y perfil F-V es curvilínea, (“U” invertida), con un pico correspondiente al Perfil óptimo F-v (que equivale al máximo rendimiento). De esta manera, se puede determinar con precisión, un Perfil óptimo F-v para cada individuo y representa el equilibrio entre sus capacidades de fuerza y velocidad, ya que para una potencia máxima dada, un equilibrio desfavorable entre estas cualidades de fuerza y velocidad puede llevar hasta un 30% menos de rendimiento en el salto (Samozino et al., 2013). En la siguiente figura se puede observar la existencia de un Perfil óptimo de F-v, así como la pérdida de

rendimiento, en función de lo alejado que un deportista se encuentre de su Perfil óptimo de F-v.

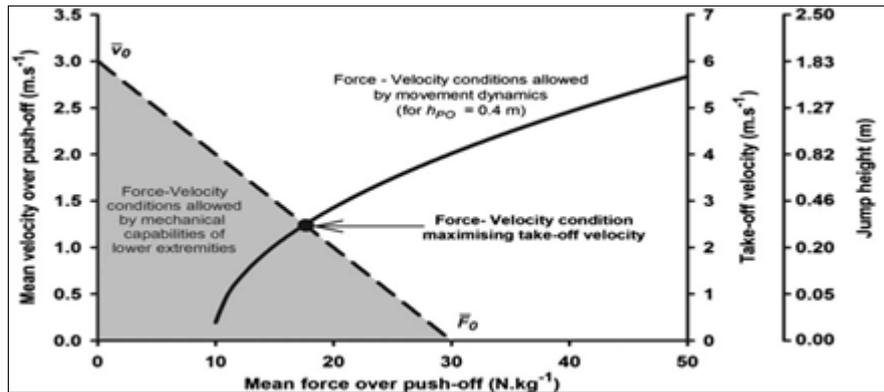


Figura 14: relación matemática de las variables del Perfil F-v. Aquí, los valores de h_{po} , F_0 y V_0 son 0.4 m, 30 $N \cdot kg^{-1}$ y 3 $m \cdot s^{-1}$, respectivamente. (Samozino, Morin, Hintzy, & Belli 2010)

Esta pérdida de rendimiento viene determinada por la diferencia que hay entre el Perfil F-v real de un deportista y el óptimo, determinado por lo que se denomina como “desequilibrio de fuerza-velocidad”. Con todo esto, se puede afirmar que un sujeto que presenta un desequilibrio F-v (en relación a la pendiente óptima) significa que no desarrolla su potencia máxima contra su masa corporal durante el salto vertical (Samozino et al., 2012 y 2013). Afirmación ésta que puede ser muy beneficiosa para la optimización del rendimiento deportivo y el entrenamiento, teniendo en cuenta el Perfil F-v individual, además de la potencia máxima.

Asimismo, otro artículo que corrobora y profundiza en lo descrito hasta ahora es el de (Jiménez-Reyes, Samozino, Cuadrado-Penafiel, Conceicao, Gonzalez-Badillo & Morin, 2014), en el cual comprobaron la influencia del Perfil F-v en la máxima ejecución del salto, en este caso en el salto con contramovimiento (CMJ - countermovement jump), en lugar del salto sin contramovimiento desde media sentadilla (SJ - squat jump), como se ha hablado hasta el momento. Como en el SJ, el rendimiento en el CMJ depende del desequilibrio de la relación entre F-vimp, independientemente del efecto de la

P_{max} , con la ya comentada existencia de un Perfil óptimo individual de F-v. Los hallazgos novedosos de este estudio con respecto a los anteriores estriban en que las relaciones F-v en el CMJ son lineales, como en el SJ, pero con valores de P_{max} , F_0 y v_0 mayores en el CMJ, en comparación con el SJ, así como este valor F_0 es casi dos veces mayor que en v_0 en el CMJ.

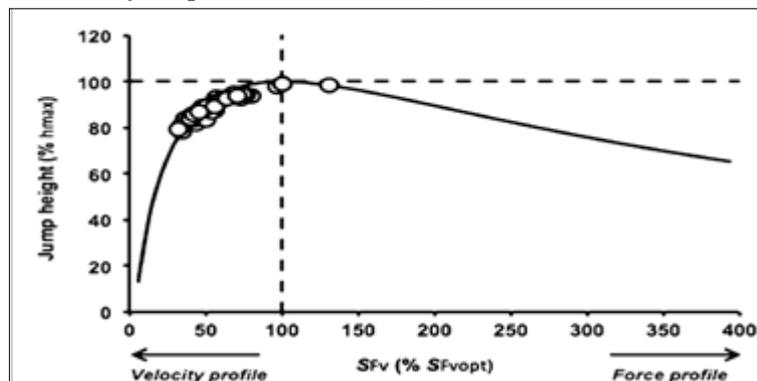


Figura 15: altura (h) en el CMJ, expresada en relación a la altura máxima (h_{max}) de acuerdo con el Perfil F-v (pendiente de la relación F-v (Sfv) relacionado con su (Sfv_{opt})) (Jimenez-Reyes, Samozino, Cuadrado-Penafiel, Conceicao, Gonzalez-Badillo & Morin, 2014).

En línea con lo citado anteriormente, en esta tesis incorporaremos el Perfil F-v también para las acciones de sprint, siguiendo a Morin et al., (2012) y Samozino et al.,(2013), debido a la importancia que los parámetros relacionados con la aplicación de fuerza horizontal tienen sobre el rendimiento en sprint, ya que en la fase de aceleración del sprint, la orientación hacia adelante de la fuerza de reacción contra el suelo (GRF), es más determinante para el rendimiento en el sprint, que la magnitud total de la vertical o resultante y sugiere que los músculos posteriores del muslo ejercen mayor influencia en el control de la dirección de las fuerzas externas. Estos autores midieron la ejecución de los sprints mediante la utilización de un radar y así, establecer la habilidad para producir y aplicar grandes cantidades de fuerza sobre el suelo de forma horizontal como parte importante de la velocidad de carrera, lo que se describe por las relaciones de F-v y potencia-velocidad. Teniendo en cuenta que la potencia mecánica es el producto de la fuerza y la velocidad, la pendiente de esta relación lineal de fuerza-velocidad puede indicar la importancia relativa de

dichas cualidades (fuerza y velocidad) para determinar la máxima producción de potencia horizontal (P_{max}) y el Perfil individual F-v de cada sujeto. Y esta relación describe los cambios en la generación de fuerza externa horizontal cuando se incrementa la velocidad de carrera. Recientemente, se ha propuesto un método de campo sencillo que cuantifica estos parámetros a partir de un modelo biomecánico que requiere sólo mediciones de tiempo y velocidad durante un sprint, test que incorporaremos a los utilizados en esta tesis para intentar acercarnos a la problemática que se plantea en relación a los factores determinantes del rendimiento en sprint.

Fuerza horizontal y GFR

Durante una carrera, existe una fase típica de apoyo que se caracteriza por una fase de frenado (fuerzas de reacción negativas horizontales (GRF)) seguido de una fase de propulsión (positivo horizontal GRF) (Hunter et al., 2013 y Roberts y Escalas, 2002). Por lo tanto, una aceleración positiva hacia delante será el resultado de un valor positivo (es decir, postura promediada) de fuerza horizontal (FH), donde a más altas FH, mayores aceleraciones. Desde este punto de vista básico, parece lógico centrar el interés en la aceleración (por lo tanto, de la aplicación alta FH al suelo), considerándola como un factor importante determinante el rendimiento de la velocidad. Asimismo, Hunter et al., (2005) demostraron que el predictor más fuerte de la velocidad en el sprint medido en la marca de 16m durante la aceleración (61% de la varianza explicada) fue el impulso horizontal relativo.

Por otro lado, Weyand et al., (2000) mostraron que la fuerza vertical de soporte producida en el suelo por unidad de peso corporal (BW) a la máxima velocidad fue un factor determinante en esta velocidad. El conocimiento de los factores determinantes de la velocidad máxima humana y sus límites biológicos es de reciente interés. Sin embargo, en muchos deportes, si no todos, los atletas casi nunca alcanzan su real velocidad máxima individual. Sin embargo, sus capacidades de aceleración hacia delante a menudo son necesarias para una ejecución exitosa, como es el caso de deportes de equipo (fútbol o rugby).

La aceleración de masa corporal y la producción de la velocidad de avance requieren la producción de grandes cantidades de FH. Sin embargo, durante la aceleración hacia delante, el cuerpo humano está en una situación mecánica en la

que las constantes gravitacionales son tales que la fuerza total que se produce predominantemente en una dirección no es la de su desplazamiento. Por tanto, sólo el componente horizontal de la fuerza total se dirige hacia adelante, y el otro componente (vertical) puede ser considerado como ineficaz en la producción de la aceleración, aunque necesaria para seguir adelante (Fig. 16). En el pedaleo mecánico, donde la fuerza total aplicada es sobre el pedal, ha sido también analizado a través de sus componentes (Davis y Hull, 1981), siendo sólo un componente de la fuerza total (que orienta perpendicular al brazo de la manivela el propulsor y necesario para la rotación de la unidad. Por lo tanto, la eficacia de aplicación de la fuerza de pedaleo ha sido definida como la relación de esta fuerza efectiva de la fuerza total aplicada sobre el pedal (Davis y Hull, 1981; Ericson y Nisell; 1988; Patterson y Moreno, 1990; Roberts y Scales, 2002). Desde entonces, la eficacia se ha relacionado con la técnica de pedaleo de los sujetos (Dorel et al., 2010) y eficiencia mecánica en el ciclismo (Zameziati et al., 2006). Extrapolando estos resultados a la fase de apoyo durante el sprint, la relación media de las fuerzas aplicadas sobre el suelo (RF) podría objetivamente representar la técnica de aplicación de la fuerza en corredores. Esto también podría ser independiente de la cantidad total de fuerza aplicada, es decir, de sus capacidades físicas. Debido a lo anterior, se estudia la RF en carreras de velocidad como la relación de FH a la GRF total correspondiente promediada en la fase de apoyo (F_{tot}). Como consecuencia y en teoría, para el mismo F_{tot} aplicada sobre el suelo a través de una determinada la fase de apoyo, se pueden utilizar diferentes estrategias de aplicación de la fuerza (por lo tanto, diferentes valores RF) dando a lugar diferentes cantidades de FH y, a su vez, diferentes aceleraciones netas hacia delante (Figura 16).

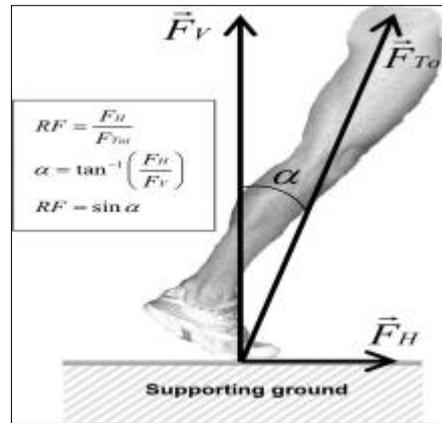


Figura 16: representación esquemática de la relación de fuerzas (RF) y expresión matemática como una función del total (F_{tot}) y (F_H) (es decir, el contacto promediado) las fuerzas de reacción del suelo netas positivas horizontales. La orientación hacia delante del vector total de GRF está representado por el ángulo.

Sin embargo, contrario al ciclismo en el que el objetivo de un buena técnica de pedaleo es alcanzar RF máxima (es decir, la eficacia de 100%), el componente vertical necesario del total de la fuerza en la carrera hace que sea mecánicamente contraproducente maximizar RF. De hecho, un RF de 100% significa que la fuerza total que se aplica horizontalmente, sin componente vertical, hace que el movimiento sea imposible. Entre esta RF máxima inverosímil y RF igual a cero (lo que teóricamente significa que no hay red se produce una aceleración hacia adelante y la fuerza total sobre la posición se aplica verticalmente).

Hasta donde sabemos, no se ha llevado a cabo tal enfoque que permita el cálculo de RF a través de la fase de aceleración en el sprint (Morin et al., 20011). Esto podría explicarse por el hecho de que RF requiere mediciones de la GRF total y tanto en sus componentes vertical y horizontal. Hasta la fecha, algunos de los estudios realizaron mediciones utilizando placas de fuerza (Bezodis et al., 2008; Hunter et al., 2005; Kugler y Janshen, 2010; Mero, 1988; Mero et al., 1992; Nummela et al., 2007), pero ninguno informó de los valores de RF. Dicho esto, algunos estudios informaron de los ángulos de inclinación del total de los vectores de GRF respecto a la vertical (Kugler y Janshen, 2010 y Mero, 1988), que están matemáticamente cerca de la expresión de RF propuesta en la figura 16.

Estos estudios sugieren que el ángulo de inclinación hacia delante de la fuerza total vector respecto a la vertical (y por tanto de RF; Fig. 16) disminuye con el aumento de la velocidad de carrera durante una aceleración típica de velocidad. Las características de esta disminución en RF y si su limitación puede mejorar el rendimiento de velocidad, son desconocidos.

De hecho, hasta la fecha, este tipo de relaciones entre la fuerza producción / aplicación y el rendimiento en la aceleración o sprint se han abordado principalmente a través de la comparación entre la velocidad constante (es decir, no acelerado) y la velocidad máxima (Brughelli et al., 2011; Mero y Komi, 1986; Nummela et al., 2007; Weyand et al., 1991).

La reciente validación de un tapiz rodante instrumentado permitiendo mediciones de GRF continuas durante la carrera de velocidad (incluyendo la fase de aceleración) a partir de un típico comienzo del sprint agachado (Morin et al., 2010 y 2011) hace que sea posible medir ambos componentes horizontales y verticales instantáneos de la GRF total y por lo tanto calcular RF para cada paso de una carrera de velocidad. De hecho, esta cinta permite muestreos de alta tasa de ambas GRF y velocidad de la correa (Morin et al., 2010), lo que permite el cálculo instantáneo y averiguar el promedio de la potencia propulsora y RF. Además, permite a los sujetos adoptar una posición de velocidad de salida estándar y comenzar la carrera en una posición equilibrada antes de su primer empuje. Después, los sujetos pueden correr "libremente" debido a que la velocidad de la cinta no está preestablecida y depende de los sujetos, especialmente de su producción de fuerza horizontal.

1.9. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA CARRERA DE VELOCIDAD

Fuerza y carrera de velocidad

En el ser humano, la fuerza ocupa un lugar esencial, ya sea como capacidad física fundamental, limitante del rendimiento, o bien para garantizar la realización de cualquier acción motora (García, 1999; Siff y Verkhoshansky, 2000).

Generalmente, la fuerza es la capacidad de producir la tensión que tiene el músculo o un grupo de músculos a una velocidad específica, desde cero a la máxima o absoluta. En relación con el tiempo, la fuerza es la capacidad de

producir tensión que tiene el músculo en un tiempo determinado (Goldspink, 1992).

Debido a los cambios de los tiempos de apoyo a lo largo de la carrera, la participación de los músculos de las piernas y sus respectivos regímenes de contracción, así como la fuerza y la potencia producida, difieren en las tres fases de una carrera de velocidad (Delecluse, 1997). Los tiempos de apoyo durante la salida y la primera parte de la fase de aceleración son los más altos de toda la prueba, por lo que el sujeto tendrá más tiempo para aplicar fuerza, pero la velocidad de acortamiento muscular será menor. Por tanto, la aceleración dependerá de la capacidad del sujeto para alcanzar grandes picos de fuerza en la unidad de tiempo a velocidades de acortamiento intermedias. Durante la fase de velocidad máxima, el factor determinante será la capacidad del sujeto para producir fuerza en la unidad de tiempo en espacios de tiempo muy cortos y a máxima velocidad de acortamiento muscular. Los movimientos que se producen antes y durante la fase de amortiguamiento (fase excéntrica del tiempo de apoyo) son importantes para incrementar la fuerza y potencia del movimiento en la fase propulsiva (fase concéntrica) (Mero et al., 1992). Por consiguiente, la función muscular del ciclo estiramiento-acortamiento, particularmente de los flexores plantares del tobillo, se acentúa durante esta fase de la carrera. Se ha demostrado que el pico vertical de las fuerzas de reacción contra el suelo durante el contacto del pie en la fase de máxima velocidad (menos de 0.1s) puede ser equivalente a cinco veces el peso corporal (Mero et al., 1992), lo que pone de manifiesto la importancia de alcanzar una elevada producción de fuerza en la unidad de tiempo. La fase de desaceleración se caracteriza por una disminución del pico de fuerza alcanzado por un aumento del tiempo de apoyo y una menor producción de fuerza en la unidad de tiempo.

Según lo indicado anteriormente, el éxito en las pruebas de velocidad está determinado por la fuerza muscular (Chevront et al., 2005). Kristensen et al., (2006) proponen que la capacidad para desplazarse rápidamente (sprint de corta duración) puede ser mejorada de forma eficaz a través del entrenamiento de la fuerza. Parece obvio que para cubrir rápidamente distancias cortas, la fuerza muscular es determinante, especialmente durante la fase de aceleración (Kristensen et al., 2006). Algunos estudios han mostrado correlaciones

significativas entre la fuerza muscular del tren inferior y el sprint (Nesser et al., 1996).

Siguiendo esta línea, numerosos estudios han investigado las relaciones entre la fuerza y el sprint, demostrando que, en general, los atletas más fuertes realizan mejor sus actuaciones en velocidad (Comfort et al., 2012). Aun así, la mayoría de los estudios coinciden que las mejoras significativas del rendimiento en acciones como los saltos, carreras de velocidad, desaceleraciones, cambios de dirección, lanzamientos, etc. Vienen acompañadas de un entrenamiento de fuerza integrado adecuadamente junto con los trabajos específicos de cada deporte o especialidad (Baker y Nance, 1999; Jonhagen, 2005; Siff, 2004; Verkhoshansky, 2002; Young y Prior, 2001; Gorostiaga et al., 2006; McBride et al., 2002).

Baker y Nancer (1999), encontraron que la relación entre la fuerza medida a través de 3 repeticiones máximas (RM) en sentadilla y el rendimiento en el sprint 10m ($r=-0.06$) y 40m ($r=-0.19$) no fue significativa en jugadores profesionales de rugby. Sin embargo, Meckel et al., (1995), obtuvieron una relación altamente significativa ($r= -0.88$; $p<0.001$) entre 1RM en sentadilla y el tiempo en el sprint en 100m en 20 mujeres corredoras de velocidad y 10 mujeres moderadamente entrenadas. Además, Wisloff (2004) halló una correlación entre 1RM en media sentadilla y 10m ($r=0.94$ y $p<0.001$), 30m ($r=0.71$ y $p<0.01$) y 10m de lanzado ($r=0.68$ y $p<0.02$) en jugadores profesionales de fútbol. Sleivert y Taingahue (2004) hallaron una correlación entre la sentadilla y el tiempo en 5m ($r=-0.64$), y entre la media sentadilla y el tiempo en 5m ($r=-0.68$). Para apoyar lo anteriormente citado, McBride et al., (2009) hallaron relaciones significativas entre el tiempo en 40 y 10 yardas y la relación entre 1RM y el peso corporal de ($r=-0.6$) y ($r=-0.54$) respectivamente. Mientras que con 5 yardas no encontraron una relación significativa siendo $r=-0.45$.

Para la valoración de la fuerza, los estudios llevados a cabo han utilizado diversos métodos; incluyendo isocinéticos (Baker y Nance, 1999), con máquina de sentadilla (Harris et al., 2008) y sentadillas con peso libre (Comfort, Bullock y Pearson, 2012) (Cronin y Hansen, 2005), en la investigación de la relación entre la fuerza y el rendimiento en sprint.

Otros autores también han realizado las mediciones mediante múltiples pruebas, por lo general, incluidas en la evaluación de la fuerza, para desarrollar un modelo para predecir el rendimiento en el sprint (Blazevich y Jenkins, 1998) (Nesser et al., 1996). Las correlaciones más fuertes se han observado entre las sentadillas con peso libre y sprints cortos (McBride et al., 2009). Con respecto a estos hallazgos, Wisloff et al., (2004) hallaron una fuerte correlación ($r = -0.94$) entre una repetición máxima (1-RM) en media sentadilla y el tiempo en 10 metros sprint. Sin embargo, estos resultados van en contra de los obtenidos por Harris et al., (2008), quienes encontraron una correlación débil y no significativa entre las sentadillas con máquina y los tiempos en 10 y 40 metros en sprint de atletas.

Algunas de las conclusiones que se extraen de las mejoras en la fuerza y la potencia, es que influyen en el rendimiento en sprint a través de la longitud de zancada (Ecker, 1996), mientras que las mejoras en la frecuencia de zancada se atribuye a factores neuronales (Mero, 1998).

Los investigadores han identificado la cadera como productor dominante de la fuerza en los sprint de corta duración (Mero y Komi, 1990; Mero, Komi, y Gregor, 1992; Mero y Peltola, 1989). Wilk et al., (1996) examinaron la actividad electromiográfica de los cuádriceps y los músculos isquiosurales durante un ejercicio de prensa de piernas sentado y se encontró un alto grado de actividad del cuádriceps, lo que sugiere contribuciones significativas de energía a partir de la articulación de la rodilla. Cuando se compara con la posición en sentadilla, la prensa de piernas en posición de sentado permite que las fuerzas de compresión seas más pequeñas de la articulación tibio-femoral (Escamilla et al., 1998), por lo que se convierte en una actividad ideal para los participantes no entrenados.

Salto y carrera de velocidad

El rendimiento en el salto se ha convertido en una parte importante de los test de capacidades físicas en los deportes y en ciertas áreas médicas. Concretamente, se ha demostrado que la altura de varios tipos de salto vertical podría servir para la valoración de la fuerza muscular y potencia (Vandewalle y col., 1987) e incluso de la composición de fibras musculares (Bosco et al., 1983)

Las pruebas de salto vertical y horizontal, que son ampliamente aceptados como las pruebas para evaluar la capacidad de potencia de los miembros inferiores y son válidos para la evaluación de la fuerza muscular. Además, son

importantes para la predicción del sprint y han sido revisadas en la literatura. Con respecto a lo anterior, los test de salto vertical pueden determinar la potencia muscular de las extremidades inferiores (Bosco y Komi, 1979; Cronin y Hansen, 2005; Reilly et al., 2000; Vandewalle et al., 1989). Asimismo, se han determinado los factores que afectan al rendimiento en el salto vertical, siendo la fuerza desarrollada por los músculos extensores de la rodilla, la coordinación intramuscular y coactivación de los músculos agonistas-antagonistas las variables que están más relacionadas con el rendimiento en el salto (Bencke et al., 2002; Bobbert et al., 1987).

El acervo probatorio de examinar las relaciones entre las actuaciones en el sprint y pruebas de laboratorio, ha demostrado que para los velocistas de élite, el salto en squat (SJ) y la altura del salto con contramovimiento (CMJ), está correlacionada con la velocidad máxima y el tiempo en 100 metros (Faul et al., 2009). Al analizar la relación entre sprint y capacidad de salto, podemos comprobar que existe una alta correlación ($r=0.75$, $p<0.001$) entre el tiempo en recorrer 60 metros y la capacidad de salto en el CMJ en jugadores de voleibol de 16 años (Bosco, 1992). Mero, 1987 (en González Badillo, 1995) en un estudio con velocistas de diferentes niveles de marca (A=12"22, B=10"96, C=10"62) analiza la evolución de la curva fuerza-velocidad en el test de CMJ con cargas progresivas, mostrando que las evoluciones de las curvas en los distintos grupos reflejan que los valores de salto vertical son más elevados en el grupo de mejor marca en 100 metros y que la evolución de las curvas son paralelas. En la misma línea, Bret et al., (2002) y Kukolj et al., (1999) observaron una alta correlación entre el CMJ y la fase de aceleración. Otros estudios han hallado que las relaciones entre el tiempo en recorrer ciertas distancias de sprints y el CMJ y el SJ oscilaron entre valores de $r=-0.43$ hasta unos valores de $r=-0.76$, en distancias desde 5 hasta 100 metros (Cronin y Hansen, 2005; Hennessy y Kilty, 2001; Young et al., 1996; Mero et al., 1981; Baker y Nance, 1999; Hernández y Salazar, 2000; McBride et al., 2002; Vescovi y McGuigan, 2007).

Wisloff et al., (2004) analizaron si la fuerza máxima estaba relacionada con el rendimiento en el sprint y la altura del salto vertical en jugadores de élite de fútbol. Encontraron una alta correlación entre fuerza máxima (1RM) en media sentadilla y el rendimiento en sprint de 10 metros ($r=0.94$, $p<0.001$), 30 ($r=0.71$,

$p < 0.01$) y 10 metros de lanzado $r = 0.68$, $p < 0.02$). También hallaron relación significativa entre la altura de salto en jugadores de fútbol entrenados y el rendimiento en sprint de 10 metros ($r = 0.72$, $p < 0.001$) y 30 metros ($r = 0.60$, $p < 0.01$).

Similares resultados obtuvieron Chamari et al., (2004), donde encontraron que el tiempo en 30 metros no se correlacionó de forma significativa con la altura de salto en CMJ pero sí con el pico de velocidad durante el salto. Según este mismo autor, esto no es sorprendente ya que se ha demostrado que el nivel de fuerza máxima y la RFD tienen influencia sobre la altura del salto y el rendimiento en sprint (Hoff et al., 2002; Schmidtbleicher, 1992).

Por otra parte, la aceleración en el sprint hasta 10 metros, se ha demostrado que se correlaciona con la potencia media en CMJ, potencia máxima en CMJ, fuerza media en CMJ y fuerza máxima en CMJ para los velocistas de élite (Ronnestad et al., 2008). Además, las correlaciones entre la altura del dropjump (DJ), velocidad máxima y tiempo de 100 metros también se han demostrado para velocistas de élite (Faul et al., 2009). En un estudio utilizando un enfoque de múltiples análisis de regresión, mostró que la velocidad media durante un sprint de 100 metros para los velocistas de elite regional y nacional, se relaciona tanto con la fuerza máxima medida a través de SJ con un máximo de 90° , y la altura alcanzada durante el CMJ (Brzycki, 1993). En este estudio se divide la carrera de 100 m en tres partes, de 0 a 30 metros, de 30 a 60 metros, y de 60 a 100 metros, los resultados mostraron que la altura en CMJ era el mejor para predecir resultados en 0 a 30 metros.

Markström y Olsson (2013), en su estudio en el que analizaban la altura del salto en CMJ en relación con el peso corporal, describieron que la fuerza variable CMJ pico de fuerza (PF) en relación con el peso corporal predice significativamente en el rendimiento de sprint la máxima velocidad de carrera a través de 10 metros y de 60 metros. El V_{max10m} también fue predicho por la altura del CMJ. Cambiar alturas de SJ y DJ no predijo actuaciones de velocidad. Al construir programas para los velocistas, el objetivo debe ser la mejora de CMJ PF y la altura de CMJ debido a la predicción de V_{max10m} de 60 metros, presumiblemente a causa de los componentes de especificidad de la velocidad.

Seguir investigando en esta área podría proporcionar a los atletas y entrenadores recomendaciones adicionales sobre la evaluación del rendimiento en velocidad.

Los estudios han demostrado la relación entre los parámetros en el sprint, tales como la velocidad en la salida, la velocidad media y V_{max} durante la carrera de velocidad, y tanto en saltos verticales como horizontales (Bret et al., 2002; Hennessy y Kilty, 2001). Osinski (1988) declaró que la V_{max} en 100 metros lisos se correlacionó con el salto de longitud (SH) y de triple salto (STJ), que son tipos de saltos horizontales. Además, Bagirgan (1992) informó que la V_{max} en 100 metros sprint, tenía relaciones con el triple salto, el decasalto y el quíntuple salto.

Young et al., (1995), establecieron que el CMJ está relacionada con la $V_{máx}$, ya que contiene el ciclo estiramiento-acortamiento en su patrón de movimiento. También, Katja y Coh (2003) declararon que la V_{max} medida en cualquier distancia durante un sprint de 60 metros y las velocidades entre los intervalos de 0 a 10, 10 a 20, y 20 a 30 metros se relacionaron con la altura en el salto en SJ .

Miguel y Reis (2004) han demostrado que la V_{max} y el tiempo de sprint se correlacionaron con el rendimiento en 30 segundos de salto con rebote que incluye características anaeróbicas lácticas en comparación con el squat, el salto con contramovimiento y saltos con caída.

1.10. EFECTOS DE LA REPETICIÓN DE SPRINT SOBRE FACTORES MECÁNICOS, METABÓLICOS Y PROPIOCEPTIVOS

Un efecto agudo durante la repetición de sprint es la incapacidad para mantener un rendimiento mecánico similar durante los sprint sucesivos (Balsom et al., 1992b; Dupont et al., 2005). La fatiga durante el sprint puede tener un componente neural debido a que la fatiga de origen neural ocurre a los pocos segundos de la máxima producción de fuerza por la alteración de la respuesta óptima de la corteza motor (Gandevia et al., 1996) lo que conlleva una activación muscular por debajo de la óptima (fatiga central).

La fatiga, a menudo, se ha descrito como la reducción de la capacidad de generar fuerza del sistema neuromuscular. La duración de la contracción muscular aumenta con el incremento de la fatiga, lo que produce un tiempo de contacto mayor en la carrera de velocidad (Chapman, 1982; Sprague y Mann, 1983). La acidosis muscular disminuye la producción de fuerza, aunque los mecanismos exactos que lo provocan se desconocen. El problema es que existen diversos cambios, tanto bioquímicos como biofísicos, que ocurren al mismo tiempo que la fatiga se está produciendo (Nummela et al., 1992). Se ha comprobado que la repetición de sprints tiene consecuencias sobre el deterioro fisiológico (Gorostiaga et al., 2010) y esto conlleva fatiga neuromuscular.

La fatiga neuromuscular (FN) se define como un descenso de la fuerza máxima o potencia de un músculo relacionada con el ejercicio realizado, tanto si la tarea puede ser mantenida en el tiempo o no (Bigland-Ritchie y Woods, 1984).

Autores como Bigland-Ritchie et al., (1986); Macintosh y Rassier, (2002), han diferenciado entre una fatiga de origen central y otra de origen periférico. El deterioro de la función muscular es en general causado por los cambios en los mecanismos centrales (procesos a nivel espinal y supraespinal) y periféricos (propagación neuromuscular, proceso de contracción-relajación, actividad miofibrilar) (Abbiss y Laursen, 2005; Millet y Lepers, 2004). Esta distinción no parece suficiente para explicar el problema, ya que en la actualidad se defiende que las causas de la fatiga son muy diversas y dependientes de la tarea a realizar (Westerblad et al., 1991; Enoka y Stuart, 1992; Barry y Enoka, 2007).

Efectos mecánicos

Salto vertical y pérdida de rendimiento

Durante décadas los profesionales del entrenamiento de fuerza y acondicionamiento físico mostraron gran interés por pruebas validadas para predecir el rendimiento físico de sus deportistas. Los saltos verticales son un método común usado por los entrenadores para evaluar la potencia muscular de la capacidad de impulsión vertical. Por ello, en los test de capacidades físicas, el rendimiento en salto se ha convertido en una parte importante en los deportes y en ciertas áreas médicas. En particular, la altura de varios tipos de salto vertical,

se ha mostrado como recurso para la valoración de la fuerza muscular y la potencia (Vandewalle et al., 1987) e incluso de la composición de fibras musculares (Bosco et al., 1983).

El salto vertical forma parte del llamado “rendimiento explosivo” en numerosas actividades atléticas. Son diferentes razones las que determinan la importancia del rendimiento en el salto vertical (Matavulj et al., 2001; Lees et al., 2004). En primer lugar, el éxito deportivo en el alto rendimiento deportivo depende en muchos casos de la capacidad explosiva del tren inferior de los sujetos. En deportes individuales como el atletismo, la capacidad de producir rápidamente fuerza es un factor importante para alcanzar el máximo rendimiento (Lees et al., 2004). Finalmente está bien aceptado que la altura del salto es un buen predictor de la potencia muscular, y, por tanto, varios tipos de saltos verticales se han empleado como tests estandarizados del rendimiento deportivo (Bosco et al., 1983; Driss et al., 1998; Vandewalle et al., 1987). Basándose en la relación del CMJ con los rendimientos deportivos indicados, este ejercicio se ha utilizado para estimar la producción de fuerza en la unidad de tiempo (estimación de la RFD), la capacidad de reclutamiento de unidades motoras, la distribución de fibras musculares, y, tal vez, pueda servir para ponderar la contribución de la energía acumulada en los elementos elásticos (González-Badillo y Ribas, 2002).

A pesar de las fuertes relaciones entre la velocidad máxima en sprint y la altura de salto (Vescovi y McGuigan, 2008; Kale et al., 2009), la relación entre sprints repetidos y la capacidad de salto tras estos esfuerzos no ha sido estudiada en profundidad hasta el momento.

Mientras que la capacidad de salto y sprint podrían compartir algunos factores comunes determinantes neuromusculares (Wisloff et al., 2004; Vescovi y McGuigan, 2008; Kale et al., 2009), se apunta a que podrían responder de manera diferente a la fatiga periférica y alteraciones metabólicas (acumulación de lactato (Rusko et al., 1993) y que el salto tendría mayor fatigabilidad comparado con la capacidad de sprint (Buchheit, 2010). Los cambios biomecánicos (frecuencia y longitud de paso) o la participación del ciclo estiramiento-acortamiento (CEA) tienen la capacidad de compensar de manera aguda el descenso de la función neuromuscular (Perrey et al., 2010) y los cambios en el patrón de la coordinación

intermuscular (Billaut et al., 2005) durante sprints repetidos, y por tanto, limitar el deterioro del rendimiento en carrera. La altura de salto, por el contrario, está directamente relacionada con el estado funcional de la actividad contráctil (Rusko et al., 1993) y por consiguiente, se ve más afectada por la fatiga. (Buchheit, 2010).

En diferentes estudios se puede observar que han usado diferentes variables mecánicas para comprobar el efecto de la fatiga al realizar una tarea determinada. Igual que en algunos estudios la fatiga se ha medido a través del descenso de la contracción voluntaria máxima (Maximum voluntary contraction-MVC), en otros se ha encontrado un descenso en la aplicación de fuerza en carrera (Bundle y Weyand, 2012; Morin et al., 2011, 2012), mientras que en otros estudios ha sido la disminución de las fuerzas verticales de reacción contra el suelo (GRFs) (Morin et al, 2011, 2012), la orientación de aplicación de la fuerza en el sprint (Morin et al., 2011, 2012), el índice técnico de aplicación de fuerza (Morin et al., 2011, 2012) y el stiffness vertical durante el sprint (Morin et al., 2006, 2011, 2012). Esta fatiga mecánica también ha sido evaluada a través de la disminución de la capacidad de salto.

Se sabe que el efecto de la fatiga también se produce por la disminución en la producción de fuerza en la unidad de tiempo, por lo que la altura de salto después de un sprint podría servir como resultado que refleje el efecto del entrenamiento o la carga de trabajo. Los movimientos que implican el CEA incorporan elementos metabólicos, mecánicos y neuronales relacionados con la fatiga junto con el deterioro de la activación del reflejo de estiramiento (Nicol et al., 2006). Aunque el CMJ se ha usado normalmente para evaluar el CEA y el rendimiento atlético (Cormack et al., 2008; Hoffman et al., 2005; Hoffman et al., 2002; Thorlund et al., 2009), hay datos limitados sobre el uso del CMJ para determinar el efecto de las típicas sesiones de entrenamiento de velocidad sobre la fatiga neuromuscular en el entrenamiento. Sólo hemos encontrado 3 trabajos (Gorostiaga et al., 2010; Nummela et al., 1992; Rusko et al., 1993) en los que usen el salto para evaluar el efecto de diferentes series de carrera de velocidad sobre la fatiga neuromuscular, y sólo en dos de ellos (Gorostiaga et al., 2010; Rusko et al., 1993) han usado el CMJ, mientras que en otro de los estudios han utilizado el drop jump (Nummela et al., 1992). Otros estudios (Smilios, 1998; Rodacki et al.,

2002; Skurvydas et al., 2000; Nummela et al., 1992; Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011) han utilizado el CMJ para comprobar el efecto de diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza sobre la fatiga neuromuscular a través del CMJ. También hemos encontrado otros estudios en fútbol, fútbol americano y balonmano en los que usan el CMJ como indicador del grado de fatiga provocado por un partido en los respectivos deportes (McLellan et al., 2010; Cormack et al., 2008; Hoffman et al., 2005; Hoffman et al., 2002; Thorlund y col., 2009). Los resultados presentan cierta controversia, ya que mientras en fútbol americano (Cormack et al., 2008) observaron cambios significativos tras un partido en el pico de potencia, el pico de fuerza y la RFD en un CMJ tras un partido, en balonmano (Thorlund et al., 2009) no se registraron cambios significativos en estas variables, y en fútbol tampoco (McLellan et al., 2010) observaron diferencias significativas en dichas variables.

Podríamos resaltar, por tanto, que el rendimiento en un test inmediatamente antes y después de un partido amistoso ha mostrado que el rendimiento en la capacidad de salto (Andersson et al., 2008; Mohr et al., 2010) y el rendimiento en sprint (Krustrup y et al., 2006, 2010; Mohr et al., 2010) se deteriora.

Los factores neuromusculares también pueden tener un efecto sobre la fatiga durante sprints repetidos. Para mantener la potencia deseada en este tipo de ejercicios el sistema nervioso necesitaría reclutar todo el "pool" de unidades motoras con una tasa muy alta de descarga (James et al., 1995; Krustrup et al., 2004; Karatzaferi et al., 2001).

En todas las definiciones y acepciones de la fatiga provocada por esfuerzos de alta intensidad absoluta y corta duración podemos observar que existe un elemento común que es el descenso de la capacidad muscular para generar fuerza y esto incrementa el grado de esfuerzo requerido para seguir realizando ejercicio (sánchez-medina y gonzález-badillo, 2011; Williams y Ratel, 2009; Enoka y Stuart, 1992). Por tanto, todas las acepciones de fatiga consideran que esta situación se manifiesta cuando se da un descenso de la fuerza, la velocidad o la potencia (Williams y Ratel, 2009). Lo que confirma el uso de la pérdida de velocidad y capacidad de salto como indicadores del grado de fatiga provocado por la repetición de esfuerzos.

Efectos metabólicos

En el ámbito de la realización de sprints y su repetición, las concentraciones de amonio por encima de los niveles normales o de reposo (47-65 μ mol/L; Banister et al., 1985), serían indicativo de que se está soportando un alto grado de estrés metabólico. En estas situaciones de esfuerzo, el amonio producido muscular intenso, contribuiría a la fatiga muscular local, pudiéndose ver afectado el sistema nervioso central (Mutch y Banister, 1983).

Es de destacar también que la producción de amonio procedente de la desaminación del AMP parece positivamente relacionada con la proporción de fibras rápidas de un músculo (Meyer y Terjung, 1979; Dudley et al., 1983). Si bien diferentes estudios han examinado el papel del amonio como marcador metabólico del estrés inducido por el ejercicio (Bouckaert y Pannier, 1995; Graham et al., 1990; Meyer y Terjung, 1979; Roeykens et al., 1998; Yuan y Chan, 2004), son escasos los trabajos que han empleado mediciones de amonio al examinar la respuesta fisiológica ante diferentes sesiones de entrenamiento relacionadas con el sprint (Itoh y Okhuwa, 1990; Gorostiaga et al., 2010).

El uso del amonio es importante en los ejercicios de alta intensidad por la información sobre el efecto negativo del funcionamiento del organismo (Yuan et al., 2002). Por ello, los iones de amonio producidos durante el ejercicio alteran la actividad neuromuscular y pueden contribuir a la fatiga muscular local. Además, el amonio puede llegar al cerebro y tener un efecto sobre el descenso de la función del sistema nervioso central (Mutch y Banister, 1983).

Por tanto, se propone la concentración de lactato como un indicador para determinar la intensidad del ejercicio (Nicholson y Sleivert, 2001; Wiswell et al., 2000) y cuantificar en qué medida interviene la vía metabólica de la glucólisis en los esfuerzos desarrollados. Así, que otra manera de controlar la intensidad del ejercicio, sería observar el incremento del nivel de concentración de amonio en sangre.

Efectos propioceptivos

Estabilidad postural y pérdida de rendimiento

El mantenimiento y control de la postura y el equilibrio, ya sea en condiciones estáticas o dinámicas, son requisitos esenciales para las actividades físicas y cotidianas. El mantenimiento del equilibrio se consigue mediante la información de tres fuentes sensoriales: somatosensorial, vestibular y entradas visuales. La información aferente se procesa en el tronco cerebral y cerebelo, a partir de la cual se inician órdenes motoras. Los tres sistemas sensoriales contribuyen al control postural, y el daño de cualquiera de ellos, o del tronco cerebral o el cerebelo, afectaría al funcionamiento del control motor en general.

Según Shumway-Cook y Woollacott (2007), la estabilidad postural permite el mantenimiento de la proyección vertical del centro de gravedad en la base de sustentación. El sistema propioceptivo, sistema visual y vestibular son componentes clave en la consecución de la estabilidad postural, siendo esta la principal razón por la que la estabilometría es uno de los métodos más empleados para valorar la estabilidad postural y una manifestación importante de la capacidad propioceptiva. Esta misma justificación da sentido a la realización de trabajo con superficies inestables como el entrenamiento propioceptivo más efectivo en la prevención de lesiones y rendimiento deportivo (Hrysomallis, 2011).

Si nos centramos en la estabilidad estática, durante la bipedestación, hay múltiples balanceos posturales que son también contrarrestados por la actividad muscular, la cual ayuda a mantenernos dentro de los límites de la base de sustentación y evitar así la caída (Mello, 2007). Dichos balanceos no sólo son el resultado de las perturbaciones externas, sino también de los propios procesos internos como la frecuencia respiratoria o cardíaca. Esto supone que la estabilidad postural sea un proceso de restablecimiento continuo de equilibrio, nunca definitivo (Conforto et al., 2001; De Luca et al., 1982; Hodges et al., 2002) y siempre presente aunque sólo sea de forma muy ligera. El cuerpo se somete a constantes deformaciones, lo cual contribuye a modificar su estado de descanso siendo necesario el continuo mantenimiento del equilibrio.

La estabilidad postural estática puede ser cuantificada midiendo los desplazamientos del centro de gravedad o del centro de presiones, usualmente a través de estabilometría (Caron et al., 2000). El test más frecuente en laboratorios para determinar la estabilidad postural es la monitorización del movimiento del centro de presiones durante una duración específica que puede variar mientras el atleta se mantiene en apoyo bipodal o unipodal y con ojos abiertos o cerrados lo más inmóvil posible. El mínimo desplazamiento del centro de presiones será indicador de buena estabilidad postural (Hrysomallis, 2011). Por ello, las variables que se obtengan siempre indicarán una mejor estabilidad postural cuanto más bajos sean sus valores.

Si nos referimos a la estabilidad postural dinámica, donde el centro de gravedad se mantiene dentro de la base de sustentación en condiciones en las que el sujeto o la superficie están en movimiento, los test más utilizados para medir son los que se van a describir a continuación. El "Star Excursion Balance Test" también llamado SEBT, mide la capacidad de mantener la postura con una sola pierna mientras la otra se aleja lo máximo posible en diferentes direcciones sin comprometer a la pierna de apoyo (Gribble y Hertel, 2003) y es una de esas pruebas que ofrecen un reto importante al sistema de control de la postura de un atleta (Earl y Hertel, 2001; Gray, 1995; Hertel, Miller, y Denegar, 2000; Kinzey y Armstrong, 1998; Miller, 2001; Olmsted, Carcia, Hertel, y Shultz, 2002). La prueba de "Y-balance test" o YBT, surge del SEBT, ya que es una simplificación del mismo evaluando los límites de la estabilidad dinámica y el equilibrio asimétrico en tan sólo tres direcciones (anterior, posteromedial y posterolateral) (Kinzey y Armstrong, 1998; Plisky et al., 2009). Consiste en una prueba de tres partes que se utiliza para evaluar el balance y el control neuromuscular de las extremidades inferiores para predecir futuras lesiones (Gribble et al., 2012). Otros test utilizados para medir la estabilidad postural dinámica, serían el "Side-Hop Test" y "Figure-of-8 Hop Test". En el "Side-Hop Test" los sujetos saltan lateralmente sobre una distancia de 30 centímetros y vuelven a la posición inicial unas 10 veces (Docherty, 2005). En "Figure-of-8 Hop Test" los participantes realizan un trazado en forma de 8 saltando lo más rápido posible sobre una pierna. (Caffrey, 2009)

No podemos olvidar, que la estabilidad postural estática está muy relacionada con las lesiones deportivas. En 1965, Freeman describió por primera vez alteraciones estabilométricas en pacientes que sufren de esguince de tobillo y se correlacionó la inestabilidad lateral del tobillo con una falta de control postural. Después de Freeman, varios autores analizaron los efectos de las lesiones deportivas en la estabilidad postural de los atletas y llegaron a la conclusión de que su deterioro puede causar una nueva lesión.

En el estudio de Romero-Franco et al., (2014), donde analizaron la estabilometría en los atletas durante una temporada de pista cubierta con el fin de determinar si los atletas lesionados muestran diferentes valores estabilométricos antes de la lesión que los atletas no lesionados. Los resultados mostraron que los atletas con los valores más pobres para la longitud de centro-de-la presión y la velocidad en apoyo bipodal al final de la pretemporada fueron los que resultaron lesionados en los dos meses siguientes.

Teniendo en cuenta la importancia de la estabilidad postural en las lesiones, el control de la estabilidad postural del deportista puede suponer un aspecto importante a considerar. McGuineet al., (2000) determinaron que la estabilidad postural era un factor predictor de lesiones en jugadores de baloncesto. Romero-franco et al., (2014c) reportaron que los atletas que se lesionaron durante la temporada, previamente habían mostrado peores valores estabilométricos. También mostraron que el deterioro estabilométrico podía facilitar lesiones posteriores (Thacker, 1999; Trojian y Mckeag, 2006). Además, lo anterior concuerda con lo demostrado por Tropp y Ekstrand (1984), donde vieron que los atletas con las puntuaciones más altas en estabilometría demostraron tener un mayor riesgo de sufrir una lesión en el tobillo.

En base a los resultados mostrados por las investigaciones citadas anteriormente, muchos autores han analizado la influencia del ejercicio físico en la consecución de la estabilidad postural, concluyendo que los sujetos deportistas poseen mejores valores de estabilidad que los no deportistas. Como explicación, los autores sugieren una modificación del huso neuromuscular, único receptor propioceptivo con capacidad para modificarse con el entrenamiento (Thorpe y Ebersole, 2008; Taube et al., 2007). Parece ser que los estímulos sensoriales son altamente estimulados durante una carrera: se ha demostrado que los husos

musculares, órganos tendinosos, receptores articulares y los aferentes cutáneos en la planta de los pies se activan en cada zancada (Merton, 1964), el sistema vestibular es sensible a cada aceleración de la cabeza (Kornhuber, 1974), y los ojos son estimulados por el movimiento de los campos visuales (Lestienne et al., 1977).

Si nos referimos a los efectos de ejercicios extenuantes en la estabilidad postural de los deportistas, varias investigaciones han mostrado que en corredores el equilibrio se deterioró tras finalizar una carrera, un triatlón, un partido de fútbol o cualquier protocolo de alta intensidad (Nagy et al., 2004; Pendergrass et al., 2003; Vuillerme y Hintzy, 2007). El principal objetivo de estas investigaciones era determinar la influencia de la fatiga en la estabilidad postural y la duración de estos efectos que deterioran la estabilidad postural, poniendo en riesgo lesivo al deportista. Por lo general, los ejercicios más intensos afectan la estabilidad del deportista, aunque muchos autores también valoraron la influencia del ejercicio prolongado reportando deterioros estabilométricos. Aunque la recuperación del estado basal siempre se completó antes de las 24 horas, los ejercicios extenuantes precisaban más tiempo para que la estabilidad postural se reparara por completo (Romero-Franco et al., 2014a; Viullerme y Hintzy, 2007; Susco et al., 2005).

Crowell et al., (2001) demostraron la disminución de la estabilidad postural después de un protocolo de ejercicio que consistía en saltos en cuclillas, sprints y carrera en cinta rodante. Del mismo modo, Wilkins et al., (2004) encontraron una disminución en la estabilidad postural después de un protocolo de 20 minutos de ejercicios. Aunque ambos grupos investigaron la fatiga como una función combinada de actividad anaeróbica y la aeróbica, no delinear claramente los efectos de la fatiga relacionados del uno contra el otro. Por otro lado, Fukushi et al., (2012) determinaron en su estudio grandes disminuciones en los índices generales de estabilidad antero-posterior del miembro inferior dominante en jóvenes jugadores después de un partido de fútbol.

Además, algunos autores han investigado el tiempo de recuperación inmediata de las medidas de control postural para volver a la línea de base después de la fatiga. La investigación limitada disponible mostraron disminución de la estabilidad postural inmediatamente después del ejercicio, pero no hay

déficit ya a los 20 minutos post ejercicio (Nardone et al., 1998; Susco et al., 2004). Más importante aún es que estos autores combinaron ejercicio aeróbico y anaeróbico en los protocolos con una duración de 20 minutos o más. La línea de tiempo de recuperación puede ser diferente cuando un protocolo de ejercicio aeróbico se compara con un protocolo de ejercicio anaeróbico. Hasta donde sabemos, todavía no se han establecido los efectos inmediatos de un protocolo de ejercicio anaeróbico en el control postural. Asimismo, los efectos de la fatiga inducida por un protocolo de ejercicio anaeróbico no han sido comparados con un protocolo de ejercicio aeróbico.

El hallazgo más importante de Zachary et al., (2008) fue que los efectos de la fatiga parecen persistir hasta 8 minutos después del ejercicio, independientemente del protocolo de ejercicio, con el control postural de volver a la línea de base en promedio entre 8 y 13 minutos después del ejercicio. Este dato es importante para los entrenadores y profesionales del deporte.

Aunque muchos autores evaluaron los efectos de ejercicios extenuantes a corto plazo, pocos estudios determinaron la influencia de la carga de entrenamiento a largo plazo. Para nuestro conocimiento, el único trabajo llevado a cabo hasta la fecha fue el de Romero-Franco et al., (2014b), quienes realizaron un seguimiento de la estabilidad postural de los deportistas durante una temporada invernal completa. Estos autores determinaron que la estabilidad postural del deportista se deterioraba en los periodos de mayor volumen de entrenamiento y se recuperaba cuando el deportista estaba en periodo de pretemporada y también competitivo, en los cuales la carga de trabajo es menor.

Tras analizar los factores determinantes del sprint, los métodos para su análisis y sus efectos sobre factores mecánicos, metabólicos y propioceptivos, parece necesario comprobar la relación con el entrenamiento y la posibilidad de aplicar el conocimiento de dichos factores sobre la preparación y la evaluación del velocista.

II - JUSTIFICACIÓN

II - JUSTIFICACIÓN

Una vez analizada la bibliografía, se puede deducir que la situación problemática existe y que se dan las condiciones necesarias para justificar la formulación de uno o varios problemas relevantes de investigación. Las consideraciones pertinentes podrían ser las que se indican a continuación:

⊙ Los estudios precedentes no se centran en la relación entre los factores determinantes del rendimiento en sprint evaluados a través del Perfil F-v y la aplicación de los test habitualmente utilizados en atletismo para entrenar y evaluar la capacidad explosiva de los atletas y la influencia en el rendimiento, lo que significa que el problema no está resuelto y se puede abordar.

⊙ Existen diversas opiniones y en algunos casos opuestas acerca de los parámetros determinantes del sprint, considerando algunas de ellas la importancia de la fuerza máxima y potencia para la mejora del rendimiento en sprint, el uso de test específicos de salto por su relación con el rendimiento específico, por lo que parece necesario abordar esta problemática en relación a evaluación y entrenamiento.

⊙ Existe gran controversia acerca del uso de las carreras con arrastre para el entrenamiento y desarrollo de la fuerza en las carreras de velocidad, por lo que se hace necesario profundizar en esta temática para aportar una información útil para la programación del entrenamiento.

⊙ No hemos encontrado estudios en los que se analice desde una perspectiva global el análisis del sprint a través del Perfil F-v y el uso de parámetros específicos utilizados habitualmente por los entrenadores de esta especialidad.

El área problemática planteada puede ser objeto de estudio, pues las variables que habrá que analizar son susceptibles de medir y cuantificar, y existe la posibilidad de comprobar la asociación en función del parámetro a desarrollar en una carrera de velocidad.

Dada la necesidad de resolver estas cuestiones, nos planteamos las siguientes interrogantes:

- ⊗ ¿Qué valores en los tests específicos de salto en atletismo predicen en mayor medida el rendimiento en acciones de sprint?
- ⊗ ¿Qué relación existe entre las principales variables mecánicas del perfil F-v en sprint y los tests de salto específicos?
- ⊗ ¿Qué relación existe entre las variables mecánicas del Perfil F-v en sprint y el Perfil F-v en salto?
- ⊗ ¿Existe una carga óptima para el entrenamiento con arrastre? ¿Existe una relación entre la pérdida de capacidad de salto y fuerza específica horizontal en un entrenamiento específico con arrastre?
- ⊗ ¿Existe relación entre las pérdidas de velocidad, la capacidad de salto y el estrés metabólico cuando se realizan esfuerzos repetidos de corta duración a la máxima velocidad posible y la capacidad de propiocepción?

HIPÓTESIS

Teniendo en cuenta la información disponible, y expuesta en páginas anteriores, en relación con las características y factores determinantes de las pruebas de velocidad, así como la influencia de las relaciones fuerza-velocidad, proponemos las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1. Las variables mecánicas del Perfil F-v horizontal determinan la capacidad de aceleración y máxima velocidad y tienen una relación significativa con los tests específicos de salto utilizados en atletismo.

Hipótesis 2. El contexto específico de aplicación de fuerza y velocidad determina las variables a seleccionar para el diseño de los ejercicios de entrenamiento de un velocista a lo largo de la temporada.

Hipótesis 3. La carga a utilizar durante un entrenamiento con arrastre debe ser individualizada en función del Perfil F-v horizontal, existiendo una

carga óptima para cada velocista en función de las variables mecánicas del Perfil F-v.

Hipótesis 4. Existe una relación directa y significativa entre la pérdida de velocidad, la pérdida de altura de salto, la concentración de lactato, amonio y estabilidad postural cuando se realizan carreras repetidas de 80 m a la máxima velocidad.

III - OBJETIVOS

III - OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Analizar las variables determinantes del rendimiento en el sprint en función de los Perfiles de Fuerza-velocidad en sprint y salto y su relación con los test específicos de salto.
- Determinar la carga óptima en el entrenamiento específico de arrastre.
- Analizar los efectos metabólicos y mecánicos producidos por la fatiga en esfuerzos intensos, así como determinar la estabilidad postural de los atletas, como parámetros importantes en el gesto de carrera y la prevención de lesiones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ⊙ Determinar qué variables mecánicas del Perfil F-v horizontal explican en mayor medida el rendimiento deportivo en acciones de sprint, diferenciando la fase de aceleración y máxima velocidad (estudio I).
- ⊙ Comprobar qué variables mecánicas del Perfil F-v horizontal están relacionadas con los test específicos de salto (estudio I).
- ⊙ Comprobar cuál es el grado de pérdida de fuerza horizontal en un entrenamiento específico con arrastre y la pérdida de capacidad de salto (estudio II).
- ⊙ Comprobar la influencia del grado de fuerza en la pérdida de fuerza horizontal durante un entrenamiento específico con arrastre (estudio II).
- ⊙ Determinar la relación entre las pérdidas de velocidad, la capacidad de salto y el estrés metabólico cuando se realizan esfuerzos de corta duración a la máxima velocidad posible y los efectos en la estabilidad postural (estudio III).

IV - MATERIAL Y MÉTODOS

IV - MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron 3 estudios diferentes en relación al Perfil F-v tanto vertical como horizontal en el caso de las dos primeras investigaciones, y más centrada en parámetros metabólicos y mecánicos en el caso de la tercera. Cada uno de los estudios se centró en la descripción de los parámetros mecánicos de dicho perfil, tanto en hombres como en mujeres si nos referimos al estudio I, la influencia y correlación de un entrenamiento específico de velocidad con sobrecargas con arrastres realizado en el estudio II, y para finalizar, en el estudio III, se describió la influencia y relación para un entrenamiento de carreras de velocidad repetidas en el salto vertical, la estabilidad postural y las principales variables metabólicas. A continuación se detallan las metodologías específicas para la consecución de cada uno de los citados estudios.

ESTUDIO I RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DETERMINANTES DEL PERFIL MECÁNICO DE FUERZA-VELOCIDAD EN SPRINT Y SALTO Y LOS TEST ESPECÍFICOS DE SALTO EN LA MODALIDAD DE VELOCIDAD

Diseño

Se trata de una investigación cuantitativa de tipo descriptiva, con un análisis de datos correlacional debido a las diferentes conexiones que se han realizado entre las variables y se ha complementado viendo las diferencias que existen entre ellas. Además, es un estudio de tipo transversal ya que se vio los efectos de distintos protocolos en un momento determinado de tiempo, sin tener en cuenta los posibles efectos a largo plazo.

Sujetos

La muestra estuvo compuesta por 100 atletas de nivel nacional (50 hombres y 50 mujeres) en pruebas de velocidad (tabla 3). Todos los participantes fueron informados detalladamente sobre el contenido, objetivos, posibles riesgos y beneficios del estudio, además, este estudio fue realizado de acuerdo con la Declaración de Helsinki. Como criterios de inclusión, todos debían competir a nivel nacional en pruebas de velocidad (100, 200 y 400 metros), tener entre 18 y 30 años, no tener ningún tipo de lesión en el momento del estudio, además de estar libre de lesiones en los 6 meses previos al estudio. Como criterios de exclusión se consideraron haber tenido cualquier intervención quirúrgica en miembro inferior o padecer cualquier tipo de trastorno visio-vestibular.

Tabla 3: características generales de la muestra del estudio I

Género	Edad (años)	Altura (m)	Peso (kg)
Hombres (n=50)	22,48 ± 3,41	1,79 ± 0,07	71,61 ± 7,89
Mujeres (n=50)	21,67 ± 3,56	1,68 ± 0,06	55,60 ± 4,34

Variables

Las variables primarias consideradas en este estudio fueron:

- Variables mecánicas del Perfil F-v en sprint:
 - F0
 - v0
 - Pmax
 - RF
 - RFmax
 - DRF
 - Pico de velocidad
 - Tiempos en 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 y 80 metros.
- Variables mecánicas del Perfil F-V en salto:
 - F0
 - v0
 - Pmax
 - Sfv
 - Sfvopt
 - FVimb
- Altura salto CMJ, SJ, CMJc y SJc.
- Distancia en metros de PJ, TPJ, QPJ, DCJ, 10HZT.
- Tiempo en 30 metros.
- Tiempo en 60 metros.
- Tiempo en 80 metros.
- Tiempo entre 60 y 80 metros.

Control de variables extrañas

En estudios como los que se han llevado a cabo, las posibles variables extrañas que pudieran intervenir en los resultados estarían provocadas debido a distintos factores como son la validez del instrumento de medida, la ejecución técnica o el cumplimiento el protocolo en los ejercicios que se aplicaron como tests. En este caso los instrumentos de medida que se utilizaron eran complementarios, y por lo tanto se pueden ser validados mutuamente. Cada uno

de los instrumentos utilizados, medía directamente las variables citadas anteriormente, con lo que estaba garantizada su validez con respecto a esas variables ya que los instrumentos medían lo que se pretendía medir. Por otro lado, para asegurar la precisión de estos instrumentos, se calibró y comparó con instrumentos validados. Las variables medidas indirectamente quedaron validadas por la validez concurrente, que calculamos al relacionarlas con las variables que medían directamente cada uno de los instrumentos.

El protocolo en la ejecución de los ejercicios se controló debidamente en el momento de realización de los tests. Para asegurar la validez y fiabilidad de los protocolos aplicados, los sujetos realizaron los tests en las mismas condiciones y con las mismas indicaciones, y de esta forma, no existieron variables situacionales. El efecto de aprendizaje no existió o se eliminó porque los sujetos estaban familiarizados con los ejercicios requeridos en los test. Aun así, se realizó una semana de familiarización para evitar cualquier interferencia debido al aprendizaje.

Test

Antes del comienzo de los test, todos los sujetos realizaron un calentamiento estándar previo dirigido por el investigador. Este calentamiento estandarizado consistió en 10 minutos de jogging, ejercicios de técnica de carrera y 3 progresivos de 50 metros con un descanso de 3 minutos entre cada progresivo. Los test llevados a cabo fueron:

Perfil Fuerza-velocidad horizontal, Perfil Fuerza-velocidad en salto vertical, carrera de 80 metros, salto máximo vertical con contramovimiento sin carga, salto máximo vertical con contramovimiento con carga, salto máximo vertical sin contramovimiento con carga, saltos horizontales y sentadilla completa.

Perfil Fuerza-Velocidad Horizontal (F-V Hzt)

Después del calentamiento mencionado anteriormente, se procedió a la medición del Perfil F-v en carrera de velocidad con el radar Stalker ATS System (Radar Sales, Minneapolis, MN, US) con una frecuencia de muestreo de 35 Hz.

Se les indicó a los sujetos previamente que debían partir de una posición de pie con una pierna adelantada y colocada inmediatamente por detrás de la marca

de salida. Los sujetos realizaron una salida hacia delante sin contramovimientos hacia atrás hasta una distancia de 40 metros. Se realizaron dos intentos con un descanso de 5 minutos entre cada intento. El mejor de los intentos se utilizó como resultado de la prueba y para los análisis posteriores.

Para hallar las distintas variables que se derivan de este test, se debe tener en cuenta la altura y peso del atleta. Además, se debe tener en consideración la velocidad del viento, la temperatura ambiente y la presión para estimar con precisión la fuerza de aire-fricción. A partir de esto, la totalidad de la relación fuerza-velocidad puede calcularse a partir del modelado simple, a través de la derivación de la curva velocidad-tiempo se extraen los datos de aceleración horizontal. Del mismo modo, la efectividad mecánica de la aplicación de la fuerza puede determinarse a través de la relación lineal entre la relación de la fuerza (RF) y la velocidad de carrera (Morin y Samozino, 2016).

Las variables que se obtienen de este test son las siguientes:

- HZT-F0 (N/kg): Máxima fuerza horizontal teórica producida.
- HZT-v0 (m/s): Máxima velocidad de carrera teórica.
- HZT-Pmax (W/kg): Máxima potencia mecánica en dirección horizontal.
- RF (%): Ratio de fuerza.
- RFmax (%): Máximo valor de ratio de fuerza.
- DRF. Ratio de descenso del ratio de fuerza a medida que incrementa la velocidad de aceleración en la carrera.
- Pico de velocidad (m/s).
- Tiempos en 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 y 80 metros.

Perfil Fuerza-velocidad en salto vertical (Perfil F-VVtc)

El protocolo de medida que se ha llevado a cabo en los tests realizados para la medición del perfil es el descrito por (Samozino, Morin, Hintzy, & Belli 2008). Las mediciones de entrada necesarias para determinar correctamente el perfil vertical son la masa corporal del atleta, la longitud de la extremidad inferior en la posición totalmente extendida, la altura de inicio y la altura de salto (medida bajo distintas cargas). La altura de salto debe medirse a través de al menos 5 saltos con cargas adicionales (entre 0 kg y la carga adicional con la que el atleta es capaz de saltar alrededor de 10 cm) (Morin y Samozino, 2016).

Para proceder con el tests, en primer lugar se midió a los sujetos desde el trocánter mayor hasta la punta del pie en decúbito supino y en máxima extensión. Para completar las medidas necesarias para el cálculo del perfil vertical, el sujeto se colocó en decúbito supino y se midió la longitud correspondiente entre el trocánter y el suelo (figura 17).

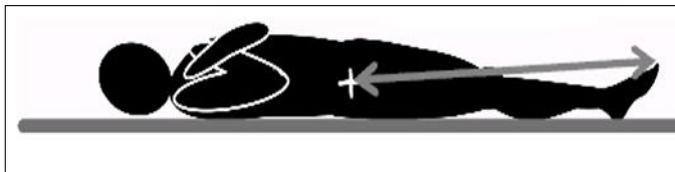


Figura 17: posición del sujeto para tomar las medidas necesarias para el cálculo del perfil vertical.

A continuación se realizaron una serie de saltos, escogiendo para el estudio, el mejor resultado de cada uno de ellos, empezando con el SJ, es decir con piernas flexionadas en 90° con respecto al suelo y sin poder realizar contramovimiento, siguiendo la siguiente sucesión de cargas:

- 1) Sin carga adicional (0 kg).
- 2) Con carga adicional (20 kg)
- 3) Con carga adicional (30 kg).
- 4) Con carga adicional (40 kg) (figura 18).
- 5) Con carga adicional (50 kg).

La altura de salto fue recogida mediante el sistema de medición óptica OptoJump (Microgate, Bolzano, Italia).

Una vez obtenidos todos estos datos, además del peso y altura, se procederá a realizar los cálculos necesarios para establecer el Perfil de F-v así como el perfil óptimo de F-v. Los parámetros medios mecánicos se calcularon para cada carga utilizando el método de Samozino (Samozino et al., 2008), basado en la segunda ley de movimiento de Newton. Este método establece que la fuerza media (F), la velocidad (v) y la potencia (P) se pueden calcular durante un salto vertical desde la altura del salto y la medición de las posiciones de salto en cuclillas.



Figura 18: imagen de un atleta realizando un SJ con carga adicional de 40kg.

Las variables resultantes de este test son las siguientes:

- VT-F0 (N/kg): Máxima fuerza teórica producida por los miembros inferiores.
- VT-v0 (m/s): Máxima velocidad de extensión de los miembros inferiores.
- VT-Pmax (W/kg): Máxima potencia mecánica de salida.
- Sfv: Inclinación de la relación lineal de F-v.
- Sfvopt: Para una distancia de empuje, masa corporal y Pmax, el valor único de Sfv que maximiza la altura de salto.
- FVimb (%): Magnitud de la diferencia relativa entre Sfv y Sfvopt para un individuo dado.

Carrera de 80 metros

Se midió el tiempo en recorrer 80 metros utilizando unas células fotoeléctricas Racetime2 (Microgate, Bolzano, Italia). Las mediciones se realizaron en una recta de 80m de tartán en la pista de atletismo adecuada para ello. Para la

medición del test, se situaron 4 marcadores a 0m, 30m, 60m y 80m a la altura del pecho. Después del calentamiento, los sujetos pasaron a realizar el test de 80m, con la medición del tiempo parcial al paso por los 30m y los 60m. Cada sujeto realizó 3 intentos con un descanso de 3 minutos entre cada intento y partían de una posición de pie con una pierna adelantada y colocada a 0,5m de la línea de salida. Todos los sujetos fueron instruidos y animados previamente para que dieran lo mejor de sí en cada intento y tuvieran una salida correcta hacia delante.

Las variables analizadas en este test son las siguientes:

- Tiempo en 30 metros.
- Tiempo en 60 metros.
- Tiempo en 80 metros.
- Tiempo entre 60 y 80 metros.

Salto con contramovimiento sin carga (CMJ: countermovement jump)

El CMJ es un salto vertical en el que se pretende alcanzar la máxima elevación del centro de gravedad realizando una flexión-extensión rápida de piernas en la mínima parada entre ambas fases. Este salto se realiza por una flexión-extensión rápida de piernas con la mínima parada entre las fases concéntrica-excéntrica. La flexión de rodillas tiene que llegar a un ángulo de 90°, aunque el grado de flexión no parece determinante si los saltos son “normales” o “naturales” (González-Badillo, 2005). No se permite la ayuda de los brazos, por lo que las manos quedan fijas pegadas a las caderas. El tronco debe estar próximo a la vertical, sin un adelantamiento excesivo. Las piernas deben permanecer rectas durante la fase de vuelo, tomando contacto con el suelo con las puntas de los pies, y las rodillas estiradas. Después de tomar contacto con el suelo se puede flexionar las piernas hasta un ángulo aproximado de 90° en las rodillas. La posición inicial del sujeto es de pie con el cuerpo estirado y guardando la vertical (sin flexión de caderas o rodillas y sin inclinación hacia los lados o delante-atrás).

La medición del CMJ se realizó con una plataforma de infrarrojos Optojump (Microgate, Bolzano, Italia). Este test se ejecutó simultáneamente con el test de 80 metros, ya que los sujetos ejecutaban un salto previo al test de 80m, otro salto justo al finalizar cada serie de 80m y otro antes de volver a realizar el siguiente intento de 80m.

Salto con contramovimiento con carga (CMJl: countermovementjump load)

El test de CMJ también se hizo con pesos adicionales con el fin de obtener información sobre toda la fuerza-velocidad-potencia. Los sujetos realizaron 4 saltos con cargas progresivas. Los atletas comenzaron realizando un salto CMJ sin carga y seguidamente con 10kg, 20kg y 30kg de carga adicional para realizar los siguientes saltos. El tiempo de vuelo se midió con la plataforma de infrarrojos Optojump (Microgate, Bolzano, Italia). Todos los atletas tenían experiencia en los saltos con carga, por lo que la instrucción para este test fue breve y concisa. Los atletas experimentados saltaban manteniendo una postura correcta y aterrizaban dentro de la plataforma de infrarrojos.

Salto vertical sin contramovimiento con carga(SJl: squatjump load)

El SJ es un salto vertical en el que se pretende alcanzar la máxima elevación del centro de gravedad desde una flexión de rodillas sin realización de contramovimiento. Los atletas fueron instruidos para que la flexión desde la que realizaban el salto fuera de 90° en ambas rodillas, aunque el grado de flexión no parece determinante si los saltos son “normales” o “naturales” (González-Badillo, 2005). No se permitía la ayuda de los brazos, por lo que las manos quedaban acopladas las caderas, sin posibilidad de moverlas de esta región. De este modo, se evita la acción de los brazos durante el salto (Kurokawa et al., 2001). El tronco debía estar próximo a la vertical, sin un adelantamiento excesivo. Las rodillas debían ser extendidas durante la fase de vuelo, tomando contacto con el suelo con las puntas de los pies, y las rodillas extendidas. Después de tomar contacto con el suelo, a los atletas les era permitido flexionar hasta unos 90° las rodillas.

La posición inicial se debe mantener hasta 5 segundos para eliminar la mayor parte de la energía elástica acumulada durante la flexión, evitando cualquier acción de contramovimiento. De este modo, se elimina el mecanismo eficiente para generar más potencia, que es el almacenamiento de energía elástica durante la fase de flexión de piernas (Kurokawa et al., 2001).

El protocolo de este test fue el mismo utilizado para el CMJ con carga, con la diferencia, de que el sujetopartía de una posición estable de 90° de flexión de rodillas.

Salto horizontal

Con el objetivo de medir la fuerza explosiva del tren inferior, se realizó un test de salto horizontal que se llevó a cabo en un foso de arena típico del salto de longitud, en la pista de atletismo. Los atletas realizaron dos intentos de salto a pies juntos, dos intentos de triple salto y dos intentos de pentasalto. Se midió la distancia a la que llegaron en cada intento con una cinta métrica homologada, cogiendo la huella más próxima a la línea de salida. Los sujetos recibieron unas instrucciones previas para la correcta realización del test y partían de una posición de parado con los pies a la anchura de los hombros. Podían ayudarse de los brazos para el impulso.

También se realizó un test en una superficie firme de tartán, donde los participantes intentaron cubrir la mayor distancia posible realizando 10 saltos horizontales seguidos. Los sujetos partían de una posición en la que tenían una pierna adelantada flexionada y la otra apoyando la rodilla.

Sentadilla completa

Con el test de sentadilla se analizó la fuerza, velocidad y potencia de los extensores de las piernas y caderas ante todas las cargas.

El ejercicio se realizó en una máquina tipo Smith (Modelo Adam Sport, Granada, España). Los sujetos se colocaban la barra por detrás de la cabeza apoyada sobre la parte superior de la espalda. A partir de esta posición, ejecutaban una flexión profunda de las piernas, hasta sobrepasar la horizontal del muslo con respecto al suelo, y a continuación una extensión inmediata de las piernas a la máxima velocidad posible hasta la completa extensión de las mismas. Se permitía que los atletas elevaran los talones al final del recorrido pero no que saltaran. La mayor o menor flexión depende de la movilidad del sujeto, pero siempre deberá ser la suficiente como para que el muslo pase de la horizontal indicada. El sujeto se mantenía de pie sobre la plataforma de fuerza y el medidor lineal estaba enganchado en un lateral de la barra, entre una de las manos del sujeto y los discos de pesas. Después de un calentamiento con 17kg, la barra se iba cargando progresivamente con aumentos de 10kg en cada serie, hasta que se alcanzaba la RM. Si la ejecución no se realizaba de acuerdo con el protocolo indicado, el sujeto repetía hasta que conseguía la ejecución adecuada. El tiempo

de recuperación entre series fue de 3 minutos. Una vez terminado el test se seleccionó la carga con la que el sujeto alcanzaba 1m/s de velocidad. Si no se utilizaba ninguna carga con la que se alcanzara exactamente esta velocidad, se interpolaba entre la carga de mayor y menor velocidad. Se eligió esta velocidad porque es una velocidad próxima a la carga de máxima potencia (González-Badillo, 2000). Para registrar las variables mecánicas se usó un medidor lineal independiente y la plataforma de fuerza y otro medidor lineal sincronizado con ella. La velocidad de ejecución siempre era la máxima posible para cada carga (González-Badillo 2005).

Instrumentos de medida

Células fotoeléctricas

El tiempo se midió con células fotoeléctricas Racetime2 (Microgate, Bolzano, Italia). Estas células constan de un transmisor de rayo de luz y detector. Un haz de luz se establece entre el emisor y un espejo catadióptrico. Cuando el deportista atraviesa el haz de luz, situado perpendicularmente a la dirección del movimiento, ésta deja de recibirse en el receptor. Como consecuencia, se interrumpe la corriente y éste suceso queda detectado electrónicamente determinándose con gran exactitud el momento de la interrupción (figura 19).



Figura 19: imagen de un atleta realizando el test de 80metros con células fotoeléctricas.

Plataforma de infrarrojos

Se trata de una plataforma OptoJump (Microgate, Bolzano, Italia) sin contactos que utiliza rayos infrarrojos modulados paralelos, invisibles y que no se ven afectados por la luz ambiental. Dichos rayos, cubren la superficie del suelo situada entre dos zócalos (emisor y receptor). Cuando la radiación es interrumpida al pisar la zona comprendida entre los zócalos emisor y receptor, se emite una señal que es transmitida al circuito del control, que a su vez, manda una señal al dispositivo de procesamiento, que es un microprocesador (figura 20).



Figura 20: imagen de un atleta realizando el test de CMJ con la plataforma de infrarrojos OptoJump.

El equipo está formado por un zócalo emisor (TX), otro receptor (EX) y un módulo de control o microprocesador (Racetime 2) en el que se influyen dos baterías de 12 voltios de alta capacidad y larga duración. Sólo se inicia la toma de datos cuando se presiona el botón de “start” desde el teclado del módulo de control. En la pantalla del microprocesador aparecen datos de variables tales como altura del salto (cm), número de salto, tiempo de vuelo y tiempo de contacto cuando hacen saltos repetidos o en caída.

Radar

Las pistolas radar son, en su más simple forma, un transeceptor de radio: envían una señal de radio, y luego recibe la misma señal que se ha reflejado en un blanco. La frecuencia de radar es diferente cuando retorna, y esas diferencias pueden calcularse dando la velocidad del objeto en cuestión. Su haz de radar es similar al haz de luz que se expande con la distancia a medida que la señal de origen se incrementa, y algunos reflejos del haz desde el objeto vuelve a la pistola, y ésta usa el efecto Doppler para calcular su velocidad. Usando la comparación del cambio de frecuencia entre lo enviado y lo recibido se detecta su velocidad.

El radar es un instrumento capaz de medir de forma directa e inmediata la velocidad de los objetos en movimiento de las actividades deportivas. Su facilidad de uso y el rápido aporte de información, hace de él un instrumento útil para el ámbito deportivo. Los sistemas de radar más utilizados, son las denominadas pistolas radar, que pueden ser empleadas sujetándolas con la mano o sobre un trípode. La principal ventaja del radar como instrumento de medida en el ámbito deportivo, reside precisamente en la rápida aportación de la información, su posibilidad de ser utilizado en situaciones próximas a la realidad competitiva, incluso en competición, y su facilidad de uso que apenas requiere formación (figura 21).



Figura 21: imagen de una atleta realizando un test de velocidad con radar.

En este estudio, el radar utilizado fue un Stalker ATS System (Radar Sales, Minneapolis, MN, US) con una frecuencia de muestreo de 35 Hz para la medición del perfil F-V en sprint de 40m.

Procedimiento

El primer paso para la realización de este primer estudio fue la selección de sujetos y búsqueda de la muestra. Se eligió a un grupo numeroso de atletas especialistas en pruebas de velocidad. Se explicó detenidamente en qué consistía el estudio y se informó de los posibles riesgos y beneficios del mismo. En este

caso, la muestra quedó dividida en dos grupos, hombres y mujeres, compuestos de 50 sujetos cada uno. Los sujetos, dadas sus características como atletas, eran físicamente activos y estaban familiarizados con el entrenamiento de fuerza.

La toma de datos se realizó en las instalaciones del Estadio de Atletismo Monte Romero durante el mes de noviembre, justo antes del comienzo de la temporada de pista cubierta y se midió a los atletas en dos jornadas diferentes con un descanso de 48 horas entre ellas. En la primera jornada, se realizaron las pruebas de carrera (40m, 80m). En la segunda jornada, los test realizados fueron los de salto y fuerza mediante los ejercicios de CMJ (countermovementjump) y SJ (squatjump) con cargas progresivas, saltos horizontales y media sentadilla.

La duración total de los test se programó para dos horas. Se realizó la medición a un grupo por día, teniendo en cuenta que la franja horaria, de 18:00 a 20:00 horas, para cada uno de los grupos. Los sujetos fueron informados del orden de ejecución de los test y la orden de participación de cada uno de ellos en los distintos tests. El orden de ejecución de los tests fue el mismo para todos los grupos. El calentamiento que se realizó ha sido descrito en el apartado de tests.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico se empleó el programa estadístico SPSS v 20.0 (Chicago, EEUU). En todos los casos se consideró estadísticamente significativo si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ($p \leq 0,05$).

Análisis descriptivo

Para la descripción de los resultados se utilizaron los cálculos clásicos de tendencia central: medias, de variabilidad: desviaciones típicas, el número de casos, los valores máximos y mínimos y los porcentajes de cada grupo de valores según los casos.

Fiabilidad de las medidas

Se analizó la fiabilidad de las medidas aplicando el coeficiente de correlación intraclass (CCI), el error típico de medida (ETM) y su expresión en términos relativos, es decir, el coeficiente de variación (CV). La fiabilidad refleja la

confianza que se puede conceder a los datos en términos absolutos o relativos, y se expresa como la consistencia, estabilidad y precisión con la que una medida valora o evalúa una característica dada. Los resultados de un test serán fiables en la medida en que proporcionen con precisión el mismo valor de medida para un mismo sujeto en dos o más ocasiones, cuando éste es medido en las mismas condiciones y no se espera que exista una causa que debiera modificar los resultados de la medición (González Badillo, 2004).

El CCI es el único aceptado para realizar análisis de fiabilidad por estabilidad debido a que es univariado (compara dos medidas del mismo test o de la misma variable). Por esta razón, se trata de un coeficiente intraclase, y además, tiene en cuenta los cambios en la media de un grupo entre intentos o mediciones del mismo test en un mismo día o entre días diferentes. Por otro lado, puede ser utilizado cuando se aplican más de dos mediciones al mismo grupo (Baumgartner, 1989). Se entiende que cuanto mayor sea su valor mayor es la fiabilidad, es decir, más capacidades tiene el test para establecer las diferencias entre sujetos (González Badillo, 2004). En el ámbito de la actividad física se considera que valores por encima de 0,90 son altos, de 0,80 a 0,89 son moderados y por debajo de 0,80 son cuestionables (Vincent, 1999).

Además de la fiabilidad media e individual se expresó el intervalo de confianza del coeficiente al 95%. Aunque el cálculo del coeficiente de fiabilidad es una estimación de la fiabilidad del test en la población, en la práctica se realiza sobre una muestra generalmente pequeña en relación con la población a la que pertenece dicha muestra. Esto puede influir en la interpretación del valor del coeficiente, porque aunque la variabilidad de los sujetos es el factor que más influye en el valor de la fiabilidad, también el número de sujetos hace que varíe dicho valor. Por ello, los valores de la fiabilidad variarán entre distintas muestras de la misma población tanto por la distinta variabilidad de los sujetos como por el número de sujetos incluidos en el estudio. Por tanto, según el número de sujetos estudiados, los valores de la fiabilidad obtenidos pueden oscilar más o menos con respecto al valor o parámetro de la población. Esto es, ante un mismo valor de correlación, cuanto mayor sea el número de sujetos sobre el que se ha calculado el coeficiente, menor será la oscilación de dicho valor dentro de los límites de intervalo del 95 %. Siguiendo lo anterior, cuanto menor sea el número de sujetos, mayor será el valor del límite superior para un coeficiente dado, pero por la

misma razón, el límite inferior resultaría ser muy bajo, cuestionando así la posibilidad de aplicar dicho valor de fiabilidad a la población de la que procede la muestra. Por ello, cuando se informa de un coeficiente se considera necesario añadir los intervalos de confianza (IC) entre los que se podría encontrar dicho coeficiente en la población con una probabilidad del 95%. Este dato es ofrecido por los programas informáticos dedicados al cálculo estadístico.

El ETM es una estimación de la variabilidad intra-sujeto. Es una desviación típica de los errores de medida alrededor de una medida observada. Nos informa sobre el grado de error esperado por azar en dos o más mediciones de una misma persona, o el grado en que las puntuaciones de un sujeto fluctúan como resultado de los errores de medida, no está influido por la variabilidad entre los sujetos (Statford y Goldsmith, 1997), ni por los cambios en las medias de las mediciones (Hopkins, 2000) –aunque esto depende del procedimiento seguido para el cálculo– y expresa el error de medida en las mismas unidades originales. Una interpretación habitual del ETM es que cuanto más pequeño sea su valor, más fiables es el test o más fiables son las mediciones (Baumgartner, 1989; Atkinson y Nevill, 1998). Estas propiedades del ETM no se cumplen en la misma medida con todos los métodos de cálculo que se utilizan. Precisamente, la incorporación de nuevas formas de cálculo tiende a justificarse porque contribuyen a reducir algunas de las deficiencias que presentan los métodos ya existentes.

Para finalizar el análisis de los datos, se realizó el cálculo del CV, que es la expresión del ETM en términos relativos (en porcentajes). Esto permite comprar el ETM de dos variables con media distinta. Se calcula dividiendo el ETM por la media de todas las puntuaciones y multiplicando el cociente por 100. En la literatura se dan, en cierto modo de manera arbitraria, valores del 10 por ciento o menos como valores aceptables de CV, y en algunos casos se busca una mayor precisión y se dan valores desde más a menos calidad.

Análisis de la relación entre variables

Dado que las medidas que se manejaron fueron de nivel de razón y continuas, la relación entre variables se analizó con el coeficiente de correlación bivariado de Pearson.

Análisis de medidas repetidas

Para analizar las diferencias entre grupos se utilizó el análisis de la varianza de medidas repetidas (ANOVA), con el contraste de F de Snedecor. En el caso de obtener diferencias significativas, se realizaron los análisis post hoc aplicando el contraste de Scheffé o Bonferroni para determinar entre qué pares de grupos se dieron las diferencias.

ESTUDIO II PERFIL FUERZA-VELOCIDAD EN CARRERAS CON ARRASTRE: INFLUENCIA DE LA FUERZA HORIZONTAL

Diseño

Se realizó un estudio experimental transversal en el que se evaluaron los efectos inmediatos de un entrenamiento específico de velocidad con sobrecargas con arrastres.

Sujetos

La muestra estaba compuesta por 16 atletas varones de nivel nacional especializados en pruebas de velocidad (desde 100 a 400 metros) (tabla 4). Todos los participantes fueron informados detalladamente sobre el contenido, objetivos, posibles riesgos y beneficios del estudio, y este fue realizado de acuerdo con la Declaración de Helsinki. Como criterios de inclusión, todos debían competir a nivel nacional en pruebas de velocidad (100, 200 y 400 metros), tener entre 18 y 30 años, no tener ningún tipo de lesión en el momento del estudio y estar libre de lesiones en los 6 meses previos al estudio. Como criterios de exclusión se consideraron haber tenido cualquier intervención quirúrgica en miembro inferior o padecer cualquier tipo de trastorno visio-vestibular.

Tabla 4: características generales de la muestra del estudio II

	Edad (años)	Altura (m)	Peso (kg)
Hombres (n=16)	23,58 ± 3,11	1,81 ± 0,05	76,53 ± 10,86

Variables

Las variables consideradas en este estudio fueron:

- Variables mecánicas del Perfil F-v horizontal en sprint y arrastres con cargas de 20, 40, 60, 80 y 100 % del peso corporal (PC) (figura e24):

- F0
- v0
- Pmax
- RF
- RFmax
- DRF
- Pico de velocidad
- Tiempos en 5, 10, 15 y 20 metros.
- Carga óptima de arrastre (kg y % peso corporal (PC))
- Altura salto CMJ antes y después del sprint y de cada arrastre con cargas del 20, 40, 60, 80 y 100 % del PC.
- Porcentaje de pérdida de salto por carga de arrastre
- 1RM en sentadilla completa

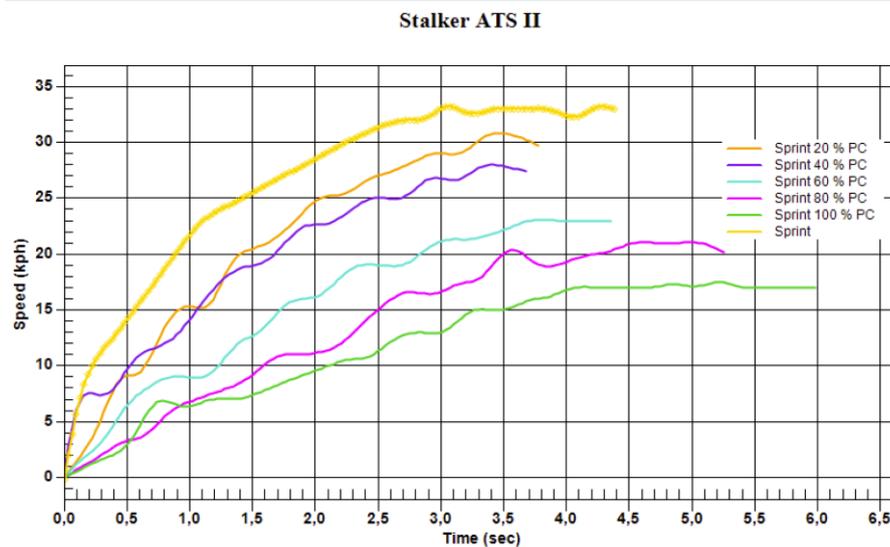


Figura 22: curva de velocidad-tiempo registrada con el radar para cada una de las carreras del entrenamiento específico con sobrecargas desde 0 hasta 100% del peso corporal.

Control de variables extrañas

En estudios como los que se han llevado a cabo, las posibles variables extrañas que pudieran intervenir en los resultados estarían provocadas debido a distintos factores como son la validez del instrumento de medida, la ejecución técnica o el cumplimiento el protocolo en los ejercicios que se aplicaron como tests. En este caso los instrumentos de medida que se utilizaron eran complementarios, y por lo tanto se pueden ser validados mutuamente. Cada uno de los instrumentos utilizados, medía directamente las variables citadas anteriormente, con lo que estaba garantiza su validez con respecto a esas variables ya que los instrumentos medían lo que se pretendía medir. Por otro lado, para asegurar la precisión de estos instrumentos, se calibró y comparó con instrumentos validados. Las variables medidas indirectamente quedaron validadas por la validez concurrente, que calculamos al relacionarlas con las variables que medían directamente cada uno de los instrumentos.

El protocolo en la ejecución de los ejercicios se controló debidamente en el momento de realización de los tests. Para asegurar la validez y fiabilidad de los protocolos aplicados, los sujetos realizaron los tests en las mismas condiciones y con las mismas indicaciones, y de esta forma, no existieron variables situacionales. El efecto de aprendizaje no existió o se eliminó porque los sujetos estaban familiarizados con los ejercicios requeridos en los test. Aun así, se realizó una semana de familiarización para evitar cualquier interferencia debido al aprendizaje.

Tests

Antes del comienzo de los test, todos los sujetos realizaron un calentamiento estándar dirigido por el investigador. Este calentamiento estandarizado consistió en 10 minutos de trote continuo, ejercicios de técnica de carrera y 3 progresivos de 50 metros con un descanso de 3 minutos entre cada progresivo.

Parte de los test realizados fueron comunes a aquellos incluidos en el estudio I, por lo que su procedimiento es idéntico y puede ser consultado en el apartado metodología referente al estudio I. Además de los comunes ya descritos

en el anterior estudio, los participantes realizaron el test de 1 RM de sentadilla completa.

Test comunes

- Perfil Fuerza-velocidad Horizontal (F-v Hzt)
- Salto con contramovimiento sin carga (CMJ)

1 RM de sentadilla completa

Con el test de sentadilla se analizó la fuerza, velocidad y potencia de los extensores de las piernas y caderas ante todas las cargas.

El ejercicio se realizó en una máquina tipo Smith (Modelo Adam Sport, Granada, España). Los sujetos se colocaban la barra por detrás de la cabeza apoyada sobre la parte superior de la espalda. A partir de esta posición, ejecutaban una flexión profunda de las piernas, hasta sobrepasar la horizontal del muslo con respecto al suelo, y a continuación una extensión inmediata de las piernas a la máxima velocidad posible hasta la completa extensión de las mismas. Se permitía que los atletas elevaran los talones al final del recorrido pero no que saltaran. La mayor o menor flexión depende de la movilidad del sujeto, pero siempre deberá ser la suficiente como para que el muslo pase de la horizontal indicada. El sujeto se mantenía de pie sobre la plataforma de fuerza y el medidor lineal estaba enganchado en un lateral de la barra, entre una de las manos del sujeto y los discos de pesas. Después de un calentamiento con 17kg, la barra se iba cargando progresivamente con aumentos de 10kg en cada serie, hasta que se alcanzaba la RM. Si la ejecución no se realizaba de acuerdo con el protocolo indicado, el sujeto repetía hasta que conseguía la ejecución adecuada. El tiempo de recuperación entre series fue de 3 minutos. Una vez terminado el test se seleccionó la carga con la que el sujeto alcanzaba 1m/s de velocidad. Si no se utilizaba ninguna carga con la que se alcanzara exactamente esta velocidad, se interpolaba entre la carga de mayor y menor velocidad. Se eligió esta velocidad porque es una velocidad próxima a la carga de máxima potencia (González-Badillo, 2000). Para registrar las variables mecánicas se usó un medidor lineal. La velocidad de ejecución siempre era la máxima posible para cada carga (González-Badillo, 2005).

Instrumentos de medida

Algunos de los instrumentos de medida han sido empleados y descritos en el estudio I. Se podrán consultar en el apartado metodología del mencionado estudio. Además de los instrumentos comunes, en este estudio II se empleó el medidor lineal.

Instrumentos comunes

Plataforma de infrarrojos y radar (véase metodología estudio I).

Medidor lineal

Para realizar el test de 1 RM en sentadilla completa se utilizó un medidor lineal con el que se obtenía la velocidad a la que se desplazaba la barra. En este estudio se utilizó el transductor lineal de velocidad (T-Force System, Ergotech, Murcia, España). Este transductor se compone de un generador de alta precisión por el cual mide a qué velocidad se está moviendo el cable de 2 metros que está sujeto a este. El movimiento medido es tanto de estiramiento como de retracción. Cuando se mueve el cable, el sensor da una señal eléctrica de salida que se corresponde a la velocidad con la que el cable es estirado o retraído. La frecuencia de muestreo está fijada en 1.000 Hz, es decir, obteniendo en cada milisegundo un dato de velocidad.

Procedimiento

Para la realización de este segundo estudio se procedió como primer paso a la selección de sujetos y la búsqueda de la muestra. Se eligió a un grupo de atletas especialistas en pruebas de velocidad. Posteriormente, se explicó detenidamente en qué consistía el estudio y se informó de los posibles riesgos y beneficios del mismo. En este estudio, la muestra quedó dividida en un grupo de 16 sujetos. Los sujetos, dadas sus características como atletas, eran físicamente activos y estaban familiarizados con el entrenamiento de fuerza.

La toma de datos se realizó en las instalaciones del Estadio de Atletismo Monte Romero durante el mes de abril justo antes del comienzo de la temporada de competiciones de aire libre y se midió a los atletas en dos jornadas diferentes

con un descanso de 48 horas entre ellas. En la primera jornada, se realizó la prueba de estimación del 1 RM en sentadilla completa. En la segunda jornada, los test realizados fueron los de sprint con cargas progresivas en arrastres.

La duración total de los test se programó para tres horas. Se realizó la medición teniendo en cuenta la franja horaria de 10:00 a 13:00 horas. Los sujetos fueron informados del orden de ejecución de los test y la orden de participación de cada uno de ellos en los distintos tests. El orden de ejecución de los tests fue el mismo para todos los sujetos. El calentamiento que se realizó ha sido descrito en el apartado de tests.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico se empleó el programa estadístico SPSS v 20.0 (Chicago, EEUU). En todos los casos se consideró estadísticamente significativo si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ($p \leq 0,05$).

Se realizó un análisis descriptivo y correlacional entre las distintas variables (véase el apartado “análisis de datos” del estudio I, en los subapartados correspondientes).

ESTUDIO III EFECTOS MECÁNICOS, METABÓLICOS Y ESTABILOMÉTRICOS DE UN ENTRENAMIENTO ESPECÍFICO DE RESISTENCIA A LA VELOCIDAD

Diseño

Se realizó un estudio experimental, transversal donde se evaluaron los efectos inmediatos de un entrenamiento de carreras de velocidad repetidas.

Sujetos

La muestra estuvo compuesta por 12 atletas varones de nivel nacional, especializados en pruebas de velocidad desde 100 a 400 metros (tabla 5). Todos los participantes fueron informados detalladamente sobre el contenido, objetivos, posibles riesgos y beneficios del estudio, y este fue realizado de acuerdo con la Declaración de Helsinki. Como criterios de inclusión, todos debían competir a nivel nacional en pruebas de velocidad (100, 200 y 400 metros), tener entre 18 y 30 años, no tener ningún tipo de lesión en el momento del estudio y estar libre de lesiones en los 6 meses previos al estudio. Como criterios de exclusión se consideraron haber tenido cualquier intervención quirúrgica en miembro inferior o padecer cualquier tipo de trastorno visio-vestibular.

Tabla 5: características generales de la muestra del estudio III

	Edad (años)	Altura (m)	Peso (kg)
Hombres (n=12)	22,43 ± 2,98	1,78 ± 0,05	75,51 ± 10,16

VARIABLES

Las variables que se consideraron en este estudio fueron:

- Tiempos parciales en 20, 40, 60 y 80 metros.
- Altura salto CMJ antes y después de cada sprint.
- Porcentaje de pérdida de salto después de cada sprint.
- Valores de amonio
- Valores lactato

- 1RM en sentadilla completa
- Variables de estabilidad postural
 - Longitud del recorrido del centro de presiones
 - Área del recorrido del centro de presiones
 - Velocidad del centro de presiones
 - Xmedia: posición media del centro de presiones en plano mediolateral
 - Ymedia: posición media del centro de presiones en plano anteroposteriorTodas ellas fueron medidas en apoyo monopodal derecho (d) e izquierdo (i).

Control de variables extrañas

En estudios como los que se han llevado a cabo, las posibles variables extrañas que pudieran intervenir en los resultados estarían provocadas debido a distintos factores como son la validez del instrumento de medida, la ejecución técnica o el cumplimiento del protocolo en los ejercicios que se aplicaron como tests. En este caso los instrumentos de medida que se utilizaron eran complementarios, y por lo tanto se pueden ser validados mutuamente. Cada uno de los instrumentos utilizados, medía directamente las variables citadas anteriormente, con lo que estaba garantizada su validez con respecto a esas variables ya que los instrumentos medían lo que se pretendía medir. Por otro lado, para asegurar la precisión de estos instrumentos, se calibró y comparó con instrumentos validados. Las variables medidas indirectamente quedaron validadas por la validez concurrente, que calculamos al relacionarlas con las variables que medían directamente cada uno de los instrumentos.

El protocolo en la ejecución de los ejercicios se controló debidamente en el momento de realización del test. Para asegurar la validez y fiabilidad de los protocolos aplicados, los sujetos realizaron los tests en las mismas condiciones y con las mismas indicaciones, y de esta forma, no existieron variables situacionales. El efecto de aprendizaje no existió o se eliminó porque los sujetos estaban familiarizados con los ejercicios requeridos en los tests. Aun así, se realizó una semana de familiarización para evitar cualquier interferencia debido al aprendizaje.

Tests

Antes del comienzo de los test, todos los sujetos realizaron un calentamiento estándar dirigido por el investigador. Este calentamiento estandarizado consistió en 10 minutos de trote continuo, ejercicios de técnica de carrera y 3 progresivos de 50 metros con un descanso de 3 minutos entre cada progresivo.

Parte de los test realizados fueron comunes a aquellos incluidos en el estudio I, por lo que su procedimiento es idéntico y puede ser consultado en el apartado metodología referente al estudio I. Además de los comunes ya descritos en el anterior estudio, los participantes realizaron carreras de 80 metros, donde se midieron los tiempos parciales de 20, 40, 60 y 80 metros y una prueba de estabilidad postural en apoyo monopodal.

Tests comunes

- Salto con contramovimiento sin carga (CMJ) (véase metodología estudio I).

Carrera de 80 metros (tiempo en 20, 40, 60 y 80 metros)

Se midió el tiempo en recorrer 80 metros utilizando unas células fotoeléctricas Racetime2 (Microgate, Bolzano, Italia). Las mediciones se realizaron en una recta de 80 metros de tartán en la pista de atletismo adecuada para ello. Para la medición del test, se situaron 5 marcadores a 0, 20, 40, 60 y 80 metros a la altura del pecho. Después del calentamiento, los sujetos pasaron a realizar el test de 80 metros, con la medición del tiempo parcial al paso por los 20, 40 y 60 metros. Cada sujeto realizó 8 carreras con un descanso de 4 minutos entre cada serie y partían de una posición de pie con una pierna adelantada y colocada a 0,5 m de la línea de salida. Todos los sujetos fueron instruidos y animados previamente para que dieran lo mejor de sí en cada intento y tuvieran una salida correcta hacia delante.

Estabilidad postural monopodal

Para esta prueba, todos los atletas debían permanecer lo más inmóviles posible en apoyo monopodal izquierdo y derecho durante 15 segundos cada uno. Para ello, los atletas se posicionaban en el centro de la plataforma, con la pierna libre flexionada a 90° y ambos miembros superiores a lo largo del cuerpo. Debían fijar la mirada en un punto ubicado a un metro de distancia durante la prueba para evitar posibles distracciones. La consecución del test con apoyo monopodal derecho e izquierdo era siempre aleatorizada.

Instrumentos de medida

Algunos de los instrumentos de medida han sido empleados y descritos en el estudio I. Se podrán consultar en el apartado metodología del mencionado estudio. Además de los instrumentos comunes, en este estudio III se emplearon el analizador portátil de lactato, analizador portátil de amonio, plataforma baropodométrica

Instrumentos comunes

Plataforma de infrarrojos y células fotoeléctricas (véase metodología del estudio I).

Analizador portátil de lactato

Las tomas de lactato se realizarán con el analizador de lactato modelo Lactate Scout (LS, SensLab GmbH, Germany). Es un pequeño aparato con unas medidas de 9,1 x 5,5 x 2,3 cms y un peso de 85 gramos, incluidas baterías (2 pilas LR03). Utiliza tiras reactivas para el análisis de lactato, utilizando un Biosensor enzimático-amperométrico como elemento de medición. El rango de medición va desde 0,5 hasta 25,0 mmol/l y como volumen de sangre precisa solo 0,5 microlitros para su proceso analítico y el tiempo que precisa en dar el resultado son 10". Estas muestras se toman tras finalizar cada una de las series de 80 metros.

Analizador portátil de amonio:

De la misma manera que el lactato, el amonio también fue medido después de cada una de las series de 80 metros. Para esto se utilizó el analizador de amonio PocketChem™ BA - PA-4130 (Arkray, Kyoto, Japón) (figura 23). Se trata de un analizador portátil que elimina el proceso de centrifugado de la sangre de otros analizadores y proporciona los resultados en 3min 20s. El proceso consiste en la extracción de 20µl de sangre (pulpejo del dedo o lóbulo de la oreja) con una micropipeta, deposición sobre la zona indicada de la tira reactiva (Ammonia test Kit II, Arkray, Kyoto, Japón) e introducción en el analizador. Este instrumento está calibrado para dar valores de amonio en un rango de entre 10 – 400 µg/dL (8 – 285µmol/L) y tiene la capacidad de almacenar 100 resultados.



Figura 23: imagen del analizador portátil de amonio.

Los dos aparatos (analizador de lactato y analizador de amonio) emplean tiras reactivas que vienen en kits desechables; son de manejo relativamente sencillo y funcionan con una mínima muestra de sangre capilar total (5-20 µL) obtenida mediante punción en el pulpejo del dedo, procedimientos todos con los que el personal investigador estaba ampliamente familiarizado. La calibración de los mismos se realizó al comienzo de la sesión de toma de datos. Dicha calibración, que es sencilla y rápida, se realizó empleando unas muestras o patrones de concentración fija siguiendo las instrucciones proporcionadas por el fabricante.

Plataforma baropodométrica

Para la medición de estabilidad postural se utilizó una plataforma baropodométrica Sensormédica MAXI Freemed (Sevilla, España) de 624 x 555 x 8 cm y una frecuencia de adquisición de 400 Hz. El software empleado fue el FreeStep para informes de equilibrio de Sensormédica (Sevilla, España).

Procedimiento

El primer paso para la realización de este tercer estudio fue la selección de sujetos y búsqueda de la muestra. Se eligió a un grupo de atletas especialistas (12 hombres) en pruebas de velocidad. Se explicó detenidamente en qué consistía el estudio y se informó de los posibles riesgos y beneficios del mismo. En este caso, la muestra quedó compuesta por 12 hombres. Los sujetos, dadas sus características como atletas, eran físicamente activos y estaban familiarizados con el entrenamiento de fuerza.

La toma de datos se realizó en las instalaciones del Estadio de Atletismo Monte Romero durante el mes de mayo, cuando la temporada de aire libre comenzaba y se midió a los atletas en un solo día. La duración total del test se programó para tres horas en total. Los sujetos fueron informados del orden de participación de cada uno de ellos en los distintos tests.

El calentamiento que se realizó ha sido descrito en el apartado de tests. Después de ello, se realizaba la prueba de estabilidad postural en apoyo monopodal. A continuación, los atletas realizaban un salto máximo CMJ antes y después de la 1ª, 2ª, 4ª, 6ª y 8ª carrera de 80 metros. Junto con el salto, se realizaban las mediciones de amonio y lactato. Al finalizar las ocho carreras de 80 metros, los atletas repetían la prueba de estabilidad postural monopodal.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico se empleó el programa estadístico SPSS v 20.0 (Chicago, EEUU). En todos los casos se consideró estadísticamente significativo si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ($p \leq 0,05$). El tamaño del efecto (TE) fue calculado y considerado como bajo ($TE < 0,20$), medio ($TE = 0,21-0,6$), alto ($TE = 0,61-0,80$) y muy alto ($TE > 0,81$) (Cohen et al., 1962).

Se llevaron a cabo análisis correlacionales y del tamaño del efecto (véase subapartados correspondientes del estudio I).

V - RESULTADOS

V - RESULTADOS

ESTUDIO I RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DETERMINANTES DEL PERFIL MECÁNICO DE FUERZA-VELOCIDAD EN SPRINT Y SALTO Y LOS TEST ESPECÍFICOS DE SALTO EN LA MODALIDAD DE VELOCIDAD

Los análisis muestran que el salto vertical CMJ mostró buena estabilidad (fiabilidad): CCI de 0,97 (intervalo de confianza del 95%: 0,93-0,98) y CV de 2,5%.

Por su parte, el salto vertical SJ mostró buena estabilidad (fiabilidad): CCI de 0,96 (0,93-0,97) y CV de 3,4%.

En lo que a las carreras se refiere, el CCI en la carrera de entre 0-30 m fue de 0,88 (0,77-0,94), el CCI en la carrera de entre 0-60 m fue de 0,96 (0,92-0,97), el CCI en la carrera de entre 0-80 m fue de 0,98 (0,94-0,99) y el CCI en la carrera de entre 60-80 m fue de 0,98 (0,95-0,99). El CV de estas distancias fue: 1,9% (0-30m), 1,2% (0-60m), 0,8% (0-80m) y 0,1% (60-80m).

La tabla 6 muestra los parámetros determinantes del Perfil F-v horizontal y vertical en velocistas mujeres y hombres. Destacan los parámetros F0 y v0, además de los resultados en los test de salto específicos (PJ, TPJ, QPJ y 10HZT).

Asimismo, se presentan de forma gráfica las correlaciones más relevantes, en las que podemos observar una tendencia similar tanto en velocistas mujeres como hombres. En cuanto a la F0, se observa una relación directa significativa de todos los test de salto específicos, que tiende a ser superior en los test de menor número de contactos y caracterizados por una menor velocidad de ejecución como el PJ, el TPJ o en el 10HZT, tanto en mujeres (figura 24) como en hombres (figura 25). En cuanto a la v0, esta relación significativa se observa principalmente en los test de salto que contienen mayor número de contactos y caracterizados por una mayor velocidad de ejecución como QPJ y DCJ en mujeres (figura 26) y en hombres (figura 27). En referencia a la F0 vertical, las figuras 28 y 29 muestran las correlaciones con los diferentes saltos en mujeres y hombres, respectivamente. De forma similar, en las figuras 30 y 31 se muestran las mismas correlaciones pero en este caso con la F0 horizontal y la efectividad en la aceleración para mujeres y

hombres, respectivamente. De forma adicional, las figuras 32 y 33 muestran las correlaciones de la F0 y los tiempos parciales (mujeres y hombres) y las figuras 34 y 35 muestran esta misma correlación pero para la v0 y los tiempos parciales (hombres y mujeres).

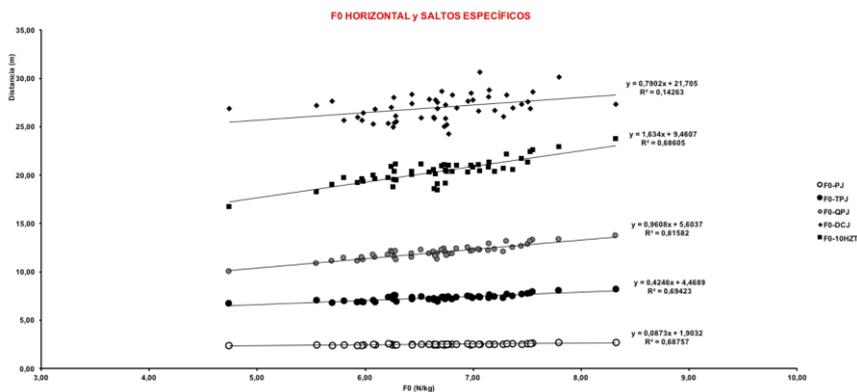


Figura 24: correlación de F0 horizontal y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en mujeres.

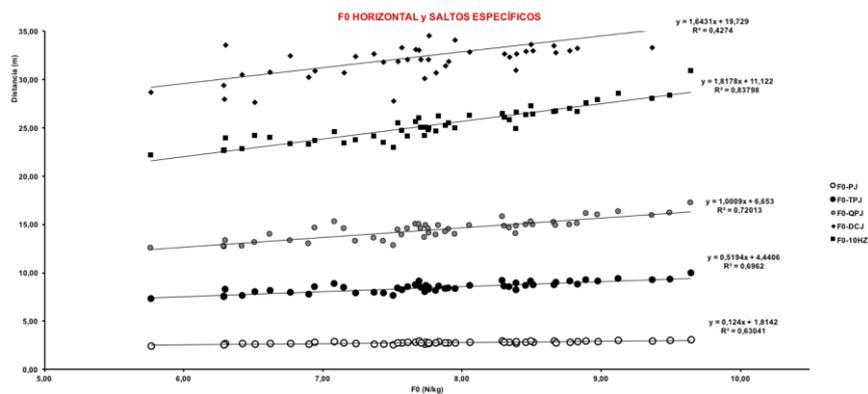


Figura 25: correlación de F0 horizontal y los test de salto específico utilizados en atletismo en hombres.

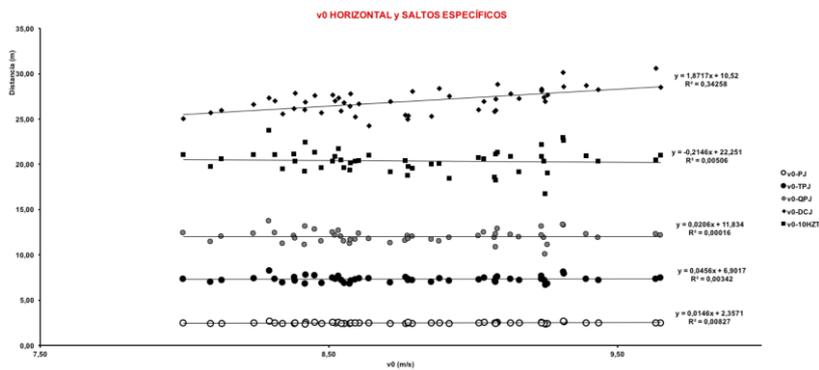


Figura 26: correlación de v0 horizontal y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en mujeres.

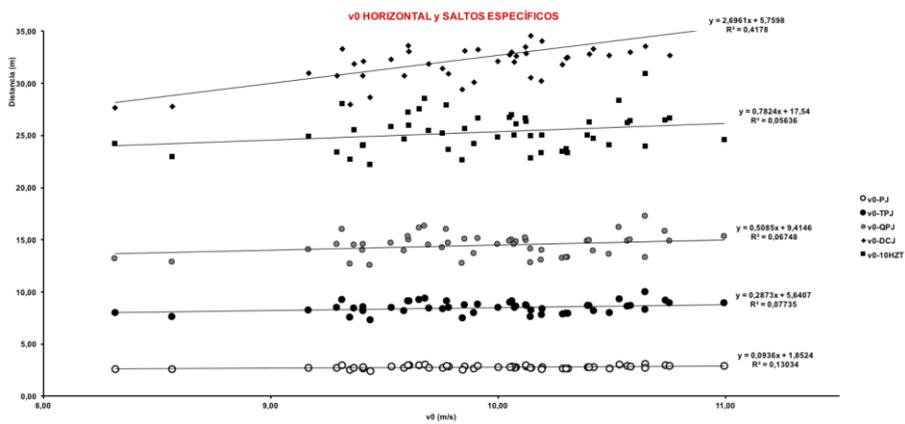


Figura 27: correlación de v0 horizontal y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en hombres.

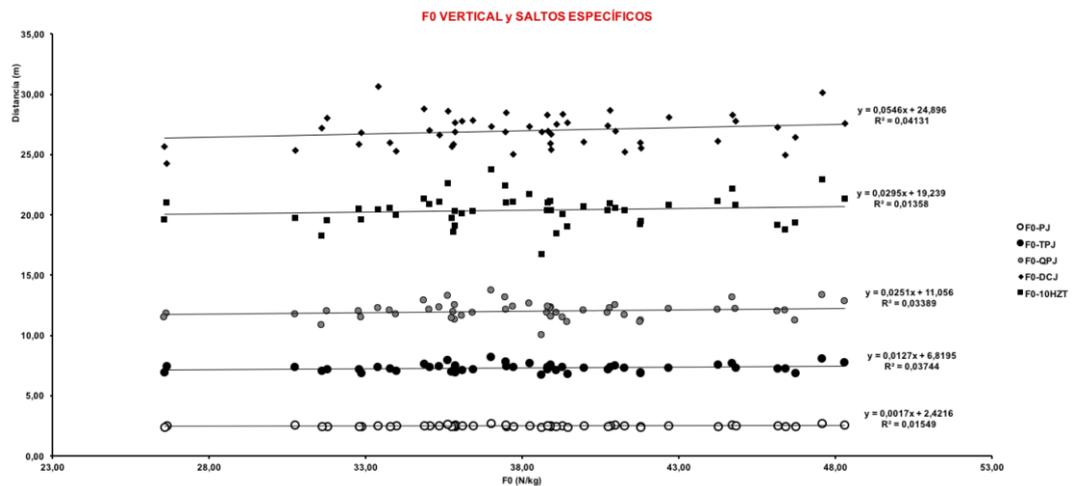


Figura 28: correlación de F0 vertical y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en mujeres.

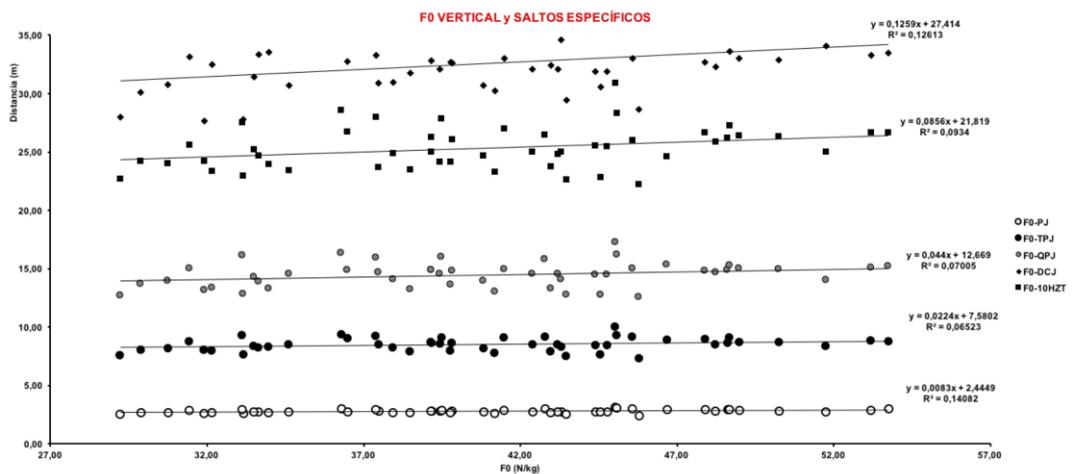


Figura 29: correlación de F0 vertical y los tests de salto específicos utilizados en atletismo en hombres.

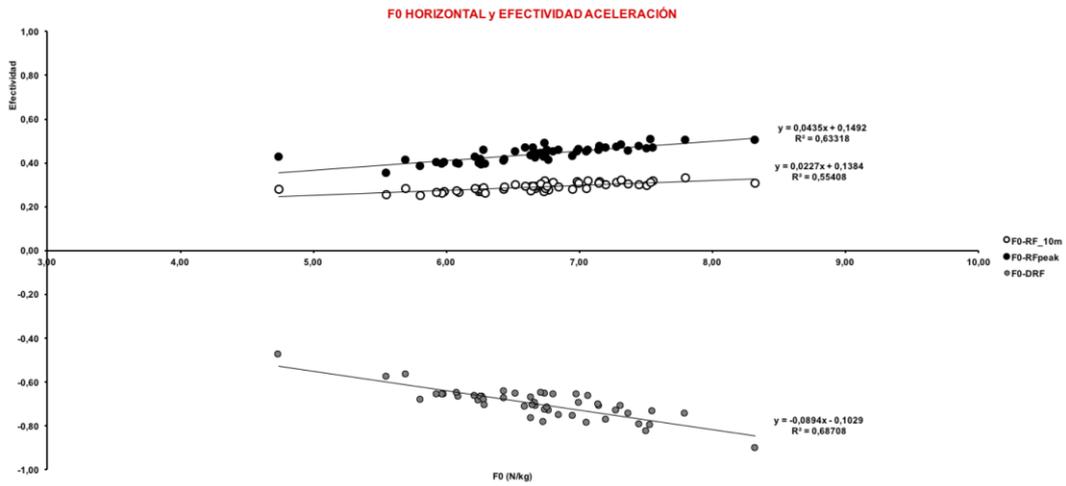


Figura 30: correlación de F0 horizontal y la efectividad de aceleración en mujeres.

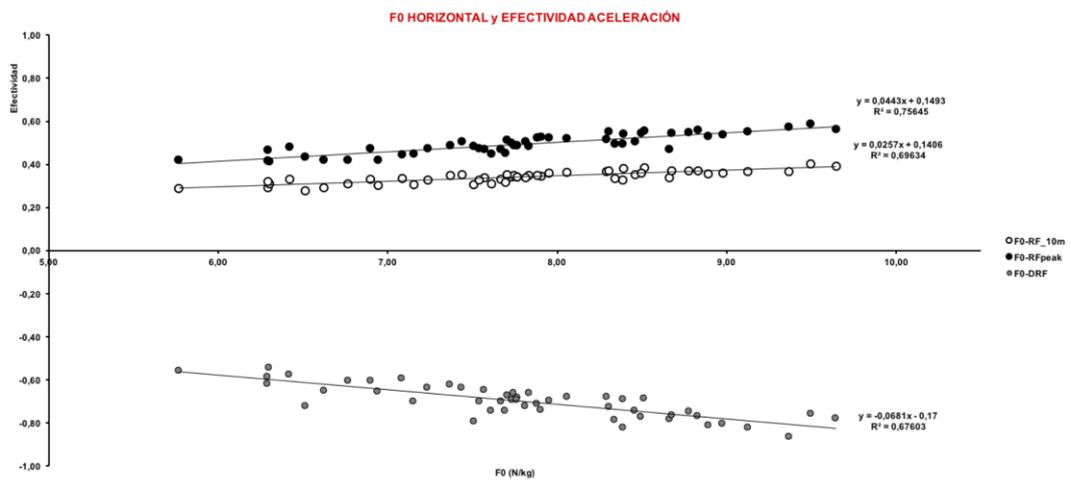


Figura 31: correlación de F0 horizontal y la efectividad de aceleración en hombres.

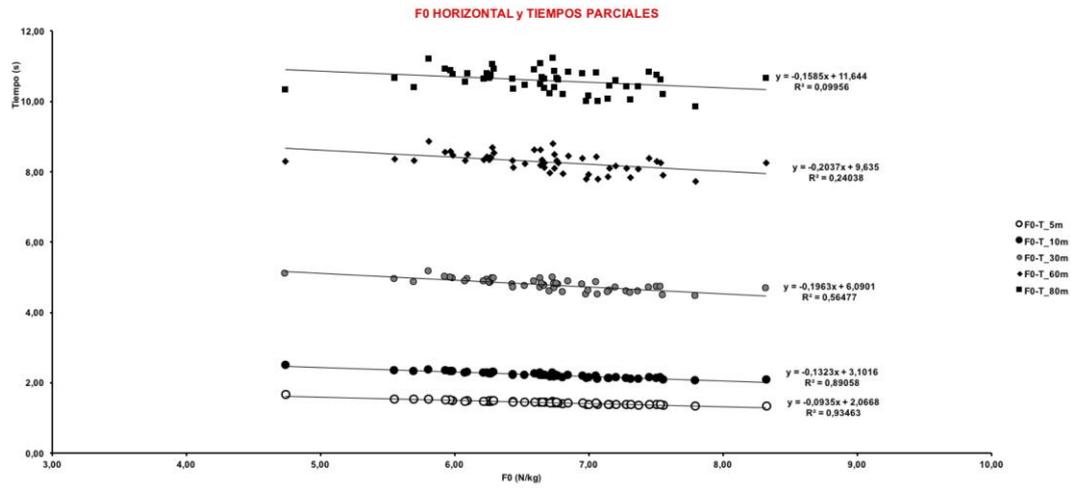


Figura 32: correlación de F0 y los tiempos parciales en mujeres.

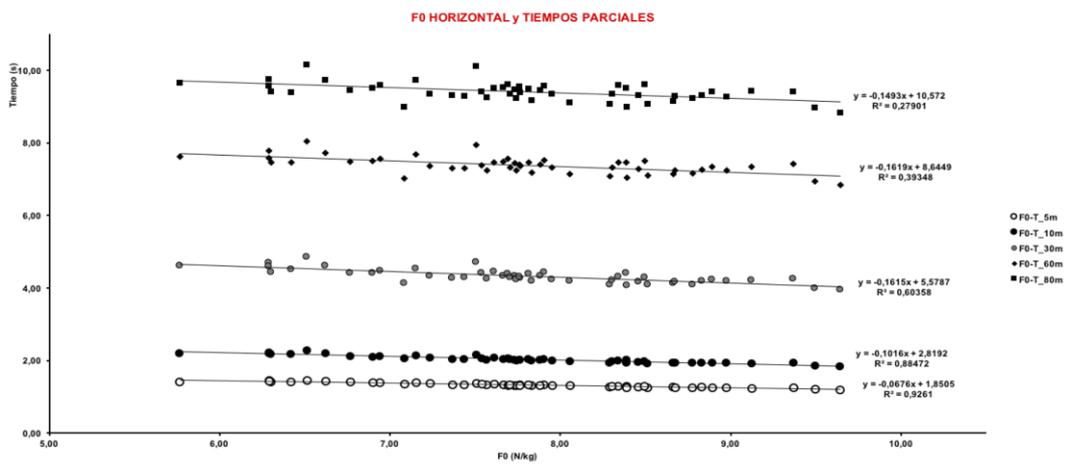


Figura 33: correlación de F0 y los tiempos parciales en hombres.

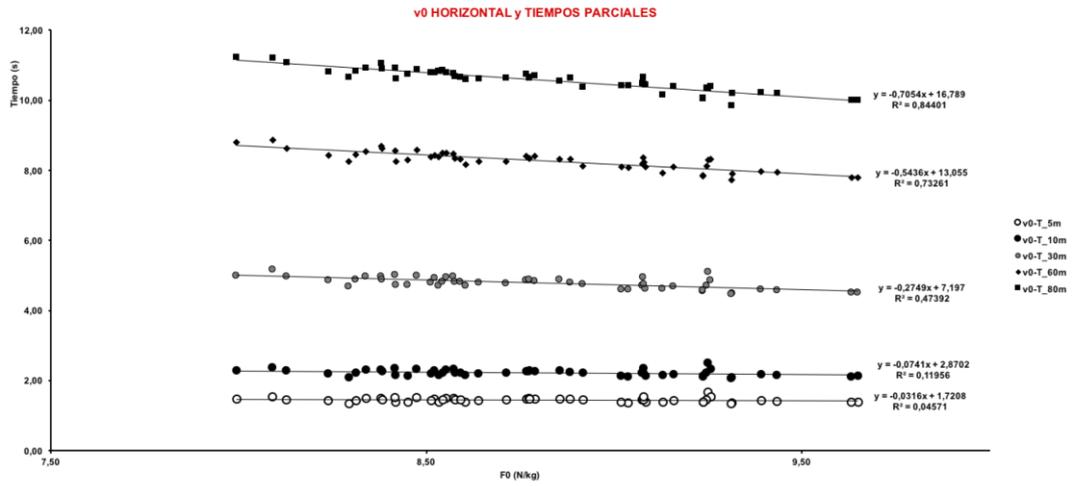


Figura 34: correlación de v0 y los tiempos parciales en mujeres.

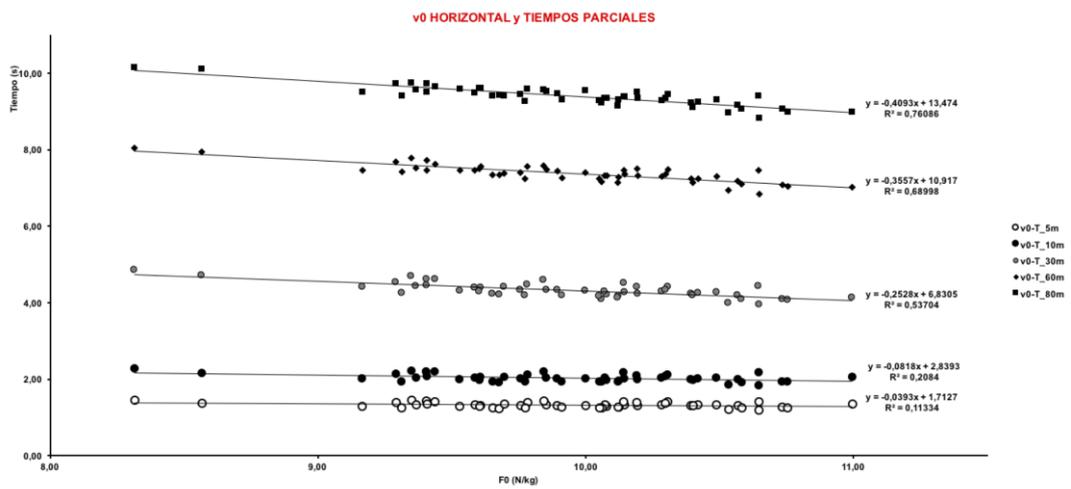


Figura 35: correlación de v0 y los tiempos parciales en hombres.

TABLA 6: parámetros mecánicos determinantes del Perfil F-v en sprint.

		Perfil mecánico F-v en sprint																			
		Cualidades físicas durante la aceleración					Efectividad mecánica			Parámetros de rendimiento durante la aceleración y máxima velocidad											
Masa (kg)	v0 (m/s)	Fmax teóric a F0 (N)	Fmax teóric a F0 (N/kg)	Pmax (W)	Pmax (W/kg)	Perfil Fv	RF 10m	Pico RF	DRF	T 5 m (s)	T 10 m (s)	T 15 m (s)	T 20 m (s)	T 25 m (s)	T 30 m (s)	T 40 m (s)	T 60 m (s)	T 80 m (s)	D 2 s (m)	D 4 s (m)	Pico Veloc idad (m/s)
Medi a	9,94	560,85	7,81	1385,96	19,29	-56,51	0,34	0,50	-0,07	1,32	2,03	2,64	3,22	3,78	4,32	5,36	7,38	9,41	9,66	26,82	9,43
DT	0,54	99,54	0,90	265,69	2,60	10,09	0,03	0,05	0,01	0,06	0,10	0,12	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,26	0,74	1,60	0,49
CV (%)	5,47	17,75	11,56	19,17	13,47	-17,86	8,15	9,29	-10,66	4,80	4,82	4,66	4,55	4,55	4,35	3,84	3,16	2,71	7,62	5,96	5,19
Máxi mo	10,99	791,80	9,64	2094,11	25,51	-36,81	0,40	0,59	-0,05	1,46	2,27	2,97	3,63	4,30	4,84	5,91	8,04	10,15	11,21	30,41	10,25
Míni mo	8,32	344,15	5,77	798,75	13,46	-80,47	0,28	0,41	-0,09	1,20	1,84	2,39	2,92	3,44	3,95	4,93	6,84	8,83	7,87	22,67	7,99
Medi a	8,79	371,17	6,67	810,18	14,57	-42,32	0,29	0,44	-0,07	1,44	2,22	2,90	3,55	4,17	4,78	5,96	8,28	10,59	8,36	23,41	8,34
DT	0,41	46,50	0,63	106,38	1,59	5,84	0,02	0,03	0,01	0,06	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,26	0,32	0,53	1,16	0,37
CV (%)	4,72	12,53	9,50	13,13	10,92	-13,80	6,68	7,89	-9,78	4,25	4,01	3,73	3,59	3,51	3,47	3,32	3,18	3,01	6,34	4,97	4,40
Máxi mo	9,65	472,56	8,32	978,49	18,00	-27,41	0,33	0,51	-0,05	1,66	2,50	3,23	3,87	4,51	5,15	6,42	8,87	11,23	9,43	25,90	9,14
Míni mo	48,00	253,51	4,74	579,45	10,83	-57,35	0,25	0,35	-0,09	1,33	2,06	2,70	3,29	3,89	4,47	5,60	7,73	9,84	6,76	20,51	7,62

V0: velocidad teórica máxima; F0: fuerza teórica máxima; Pmax: potencia máxima; Perfil Fv: Perfil Fuerza-velocidad; RF: ratio de fuerza; DRF: descenso del ratio de aplicación de fuerza; T5 m: tiempo a 5 metros; T10 m: tiempo a 10 metros; T15 m: tiempo a 15 metros; T20 m: tiempo a 20 metros; T30 m: tiempo a 30 metros; T40 m: tiempo a 40 metros; T60 m: tiempo a 60 metros; T80 m: tiempo a 80 metros; D2s: distancia recorrida en 2 segundos; D4s: distancia recorrida a 4 segundos; DT: desviación típica; CV: coeficiente de variación.

Tabla 7: parámetros mecánicos determinantes del Perfil F-v en salto.

		Perfil mecánico F-v en salto						
		Masa	F0 (N/kg)	v0 (m/s)	Pmax (W/kg)	Perfil Fv (N.s/m /kg)	Deseq. FV (%)	Altura a (m)
Hombres (n=50)	<i>Media</i>	71,61	40,86	3,62	36,39	-11,78	79,65	0,48
	<i>DT</i>	7,89	6,40	0,64	5,35	3,33	21,93	0,06
	<i>CV (%)</i>	11,02	15,66	17,68	14,70	-28,28	27,53	11,79
	<i>Máximo</i>	91,00	53,75	5,51	53,68	-5,71	127,16	0,64
	<i>Mínimo</i>	52,00	29,22	2,79	27,22	-19,05	38,15	0,40
Mujeres (n=50)	<i>Media</i>	55,60	38,17	3,22	30,33	-12,25	80,03	0,39
	<i>DT</i>	4,34	4,94	0,50	3,45	2,90	18,46	0,04
	<i>CV (%)</i>	7,81	12,95	15,54	11,38	-23,67	23,07	10,95
	<i>Máximo</i>	67,00	48,30	4,76	38,35	-5,58	115,68	0,50
	<i>Mínimo</i>	48,00	26,58	2,48	22,84	-17,86	36,53	0,33

F0: fuerza teórica máxima; v0: velocidad máxima de desplazamiento ;Perfil FV: perfil fuerza-velocidad; DT: desviación típica; CV: coeficiente de variación.

Tabla 8: resultados en los test específicos de salto utilizados en atletismo.

		Rendimiento tests específicos de salto					
		Masa	PJ (m)	TPJ (m)	QPJ (m)	DCJ (m)	10HZZ (m)
Hombres (n=50)	<i>Media</i>	71,61	2,78	8,50	14,47	32,56	25,32
	<i>DT</i>	7,89	0,14	0,56	1,07	2,27	1,79
	<i>CV (%)</i>	11,02	5,07	6,62	7,36	6,97	7,08
	<i>Máximo</i>	91,00	3,10	9,99	17,25	38,77	30,92
	<i>Mínimo</i>	52,00	2,43	7,30	12,56	27,67	22,19
Mujeres (n=50)	<i>Media</i>	55,60	2,49	7,30	12,32	26,98	20,36
	<i>DT</i>	4,34	0,07	0,32	0,67	1,33	1,25
	<i>CV (%)</i>	7,81	2,69	4,43	5,48	4,92	6,14
	<i>Máximo</i>	67,00	2,68	8,22	14,01	30,62	23,73
	<i>Mínimo</i>	48,00	2,36	6,70	10,34	24,24	16,72

PJ: salto pies juntos; TPJ: triple salto; QPT: pentasalto; DCJ: decasalto; 10HZZ: 10 saltos horizontales; DV: desviación típica; CV: coeficiente de variación.

Tabla 9: análisis de regresión múltiple para la predicción de F0 en función del resultado en los tests específicos de salto utilizados en atletismo (PJ, TPJ, QPJ).

		r^2	SEE (N/kg)	P
Hombres (n=50)		0,849	0,49	< 0,001
Mujeres (n=50)		0,911	0,27	< 0,001
Hombres (n=50)	Variables independientes	Coefficiente	t	P
	<i>PJ</i>	-0,138	-0,948	0,348
	<i>TPJ</i>	3,516	2,263	< 0,01
	<i>QPJ</i>	-0,38	-0,884	0,381
	Constante	4,462	2,598	< 0,01
Mujeres (n=50)	Variables independientes	Coefficiente	t	P
	<i>PJ</i>	2,324	1,875	< 0,001
	<i>TPJ</i>	0	-0,314	< 0,01
	<i>QPJ</i>	0,696	5,023	0,755
	Constante	-6,953	-3,98	< 0,001

PJ: salto a pies juntos; TPJ: triplesalto; QPJ: pentasalto

Tabla 10: análisis de regresión múltiple para la predicción de F0 en función del resultado en los tests específicos de salto utilizados en atletismo (TPJ, 10HTZ).

		r^2	SEE (N/kg)	P
Hombres (n=50)		0,915	0,37	< 0,001
Mujeres (n=50)		0,858	0,33	< 0,001
Hombres (n=50)	Variables independientes	Coeficiente	t	P
	<i>TPJ</i>	-0,144	-0,186	< 0,001
	<i>10-HZT</i>	0,471	7,761	0,05
	Constante	-3,71	-3,368	< 0,001
Mujeres (n=50)	Variables independientes	Coeficiente	t	P
	<i>TPJ</i>	0,214	2,750	< 0,001
	<i>10-HZT</i>	0,909	3,014	< 0,01
	Constante	-4,329	-3,845	< 0,001

TPJ: triple salto; 10HZT: 10 saltos horizontales

Tabla 11: análisis de regresión múltiple para la predicción de v_0 en función del resultado en los tests específicos de salto utilizados en atletismo (PJ, QPJ).

		r^2	SEE (N/kg)	P
Hombres (n=50)		0,848	0,48	0,05
Mujeres (n=50)		0,911	0,27	< 0,001
Hombres (n=50)	Variables independientes	Coefficiente	t	P
	<i>PJ</i>	0,049	0,035	0,121
	<i>QPJ</i>	0,713	3,876	< 0,001
	Constante	-2.644	-1,579	0,05
Mujeres (n=50)	Variables independientes	Coefficiente	t	P
	<i>PJ</i>	2,138	1,982	< 0,001
	<i>QPJ</i>	0,669	6,266	< 0,01
	Constante	-6,880	-4,013	< 0,001

PJ: pies juntos; QPJ: pentasalto

Tabla 12: análisis de regresión múltiple para la predicción de v_0 en función del resultado en los tests específicos de salto utilizados en atletismo (QPJ, DCJ).

		r^2	SEE (N/kg)	P
Hombres (n=50)		0,784	0,34	< 0,001
Mujeres (n=50)		0,623	0,33	< 0,001
Hombres (n=50)	Variables independientes	Coefficiente	t	P
	QPJ	-0,384	-4,912	< 0,001
	DCJ	0,300	8,177	< 0,001
	Constante	5,730	7,890	< 0,001
Mujeres (n=50)	Variables independientes	Coefficiente	t	P
	QPJ	0	-1,900	< 0,001
	DCJ	0,209	5,463	< 0,01
	Constante	4,907	4,417	< 0,001

QPJ: pentasalto; DCJ: decasalto

ESTUDIO II PERFIL FUERZA-VELOCIDAD EN CARRERAS CON ARRASTRE: INFLUENCIA DE LA FUERZA HORIZONTAL

La tabla 13 muestra las principales variables mecánicas relacionadas con el Perfil F-v en sprint sin sobrecarga, así como diferentes cantidades de carga con arrastres hasta llegar al 100% del peso corporal del deportista. Podemos observar cómo evolucionan los tiempos parciales en función de las distintas cargas y además se presenta el cálculo de la carga óptima a utilizar para el desarrollo de la potencia máxima durante un entrenamiento específico con sobrecargas con arrastres. La figura 36 ilustra dicho comportamiento de las principales variables mecánicas.

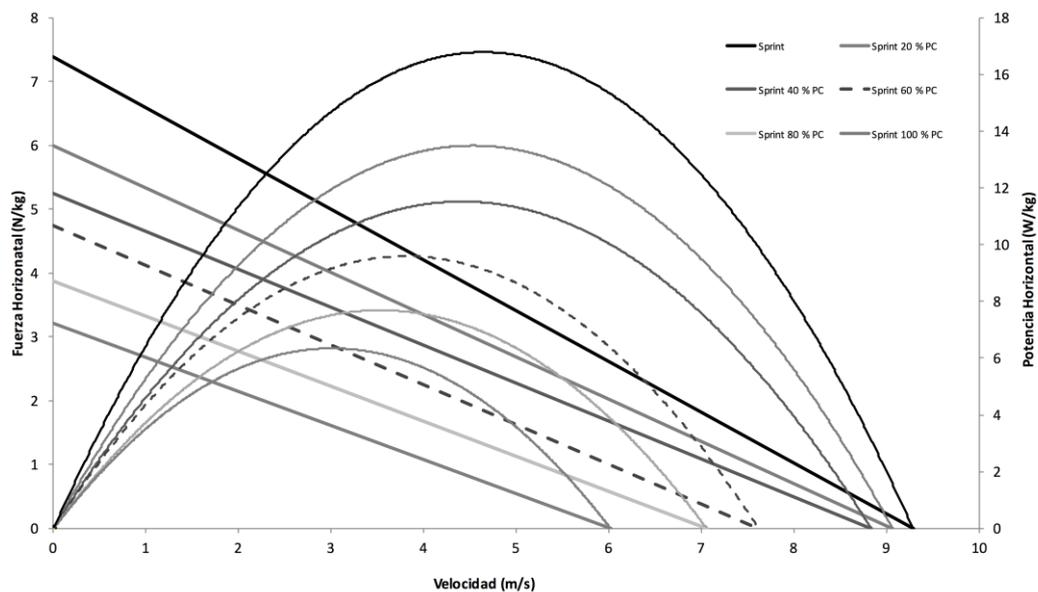


Figura 36: comportamiento de las variables mecánicas en función de las distintas cargas utilizadas en las carreras con arrastre.

Por su parte, la tabla 14 muestra los datos relativos a un entrenamiento específico que en el que se realiza una serie de carreras que van desde situaciones sin carga adicional hasta el 100% del peso corporal progresivamente. Antes y

después de cada carrera se presentan los valores referentes a un salto vertical máximo, dato que muestra la influencia que tiene la F0 sobre la pérdida de salto vertical (figura 37). En este sentido, se comprueba que existe una correlación significativa alta entre dichos parámetros. También se presenta la relación entre la fuerza en sentadilla en 1RM y la pérdida de salto vertical (figura 38). En este caso se observa que no existe ningún tipo de asociación ni influencia entre ambos.

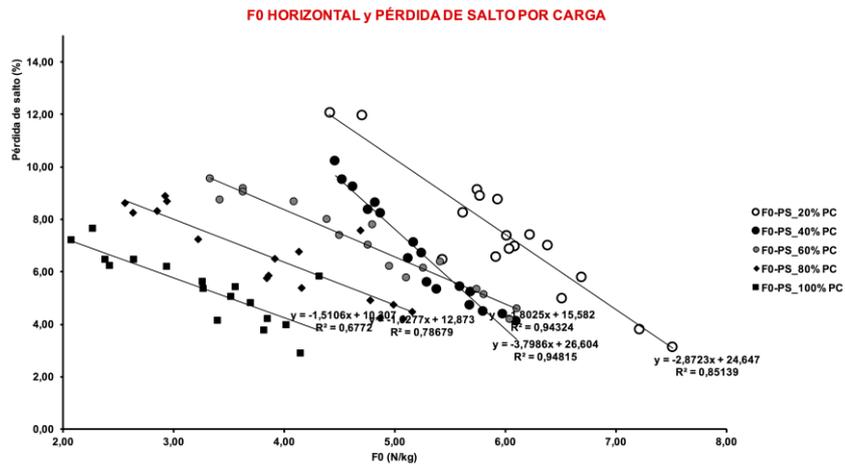


Figura 37: influencia de F0 horizontal y la pérdida de salto vertical.

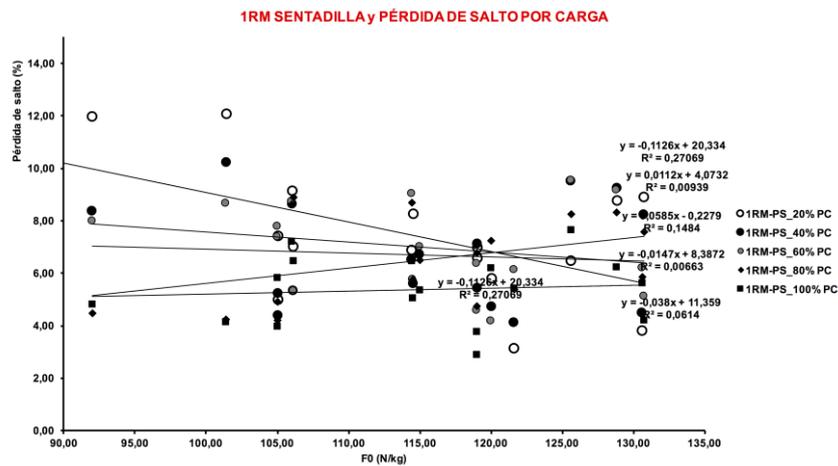


Figura 38: relación entre la fuerza en sentadilla en 1RM y la pérdida de salto vertical.

TABLA 13a: parámetros mecánicos determinantes del Perfil F-v en carreras de velocidad con diferentes cargas de arrastre (20%PC, 40%PC)

		Perfil mecánico F-v en sprint																			CARGA FVP	
		Cualidades físicas durante la aceleración									Efectividad mecánica										CARGA FVP	
		Parámetros de rendimiento durante la aceleración y máxima velocidad									CARGA FVP											
	Masa	V0 (m/s)	Fmax teórica F0 (N)	F0 (N/Kg)	Fmax (W)	Pmax (W/Kg)	Perfil Fv	RF 10m	Pico RF	DRF	T5 m(s)	T10 m (s)	T15 m (s)	T20 m (s)	T25 m (s)	T30 m (s)	D2 s (m)	D4 s (m)	Pico velocidad (m/s)	Carga óptima arrastre (%PC)		
Sprint	Media	76,53	9,29	558,82	7,39	1268,02	16,78	-61,63	0,32	0,49	-0,07	1,38	2,12	2,78	3,39	3,84	4,28	8,99	25,28	8,68	47,31	64,14
	Dt	10,86	0,72	56,22	0,99	204,09	3,21	6,23	0,03	0,04	0,01	0,09	0,15	0,20	0,26	0,19	0,05	0,91	2,80	0,71	2,65	3,062
	CV (%)	14,20	7,73	10,06	13,44	16,10	19,13	-10,10	10,11	7,63	-11,78	6,83	7,14	7,14	7,59	5,03	1,15	10,11	11,06	8,18	5,60	5,64
Sprint t 20%	Media	76,53	9,06	458,03	6,00	1264,1	13,49	-51,30	0,29	0,44	-0,06	1,50	2,30	2,99	3,64			7,89	21,24	8,13		
	Dt	10,86	0,98	85,38	0,82	186,80	2,16	12,71	0,03	0,04	0,01	0,10	0,15	0,19	0,24			0,76	2,30	0,67		
	CV (%)	14,20	10,83	18,64	13,61	18,20	16,00	-24,78	10,78	9,63	-19,58	6,79	6,34	6,27	6,55			9,69	10,83	8,30		
Sprint t 40%	Media	76,53	8,83	400,65	5,25	877,10	11,52	-45,85	0,27	0,40	-0,06	1,60	2,43	3,15	3,75			7,18	24,26	7,76		
	Dt	10,86	0,84	59,28	0,50	139,63	1,49	8,77	0,02	0,03	0,01	0,07	0,11	0,14	0,12			0,54	1,69	0,56		
	CV (%)	14,20	9,54	14,80	9,59	15,92	12,89	-19,12	7,69	8,11	-13,98	4,49	4,55	4,54	3,28			7,58	7,96	7,19		

V0: velocidad teórica máxima; F0: fuerza teórica máxima; Pmax: potencia máxima; Perfil Fv: Perfil Fuerza-velocidad; RF: ratio de fuerza; DRF: descenso del ratio de aplicación de fuerza; T5 m: tiempo a 5 metros; T10 m: tiempo a 10 metros; T15 m: tiempo a 15 metros; T20 m: tiempo a 20 metros; T25 m: tiempo a 25 metros; T30 m: tiempo a 30 metros; T40 m: tiempo a 40 metros; T60 m: tiempo a 60 metros; T80 m: tiempo a 80 metros; D2s: distancia recorrida en 2 segundos; D4s: distancia recorrida a 4 segundos; Carga F V P: carga fuerza, velocidad, potencia; DV: desviación típica; CV: coeficiente de variación; PC: peso corporal.

TABLA 13b: parámetros mecánicos determinantes del Perfil F-v en carreras de velocidad con diferentes cargas de arrastre (60%PC, 800%PC 100%PC)

SP	masa	Perfil mecánico F-v en sprint															CARGA FVP			
		Cualidades físicas durante la aceleración					Efectividad mecánica					Parámetros de rendimiento durante la aceleración y máxima velocidad					CARGA FVP			
		V0 (m/s)	Fmax teórica F0 (N)	F0 (N/kg)	Fmax (W)	Pmax (W/kg)	Perfil Fv	RF 10m	Pico RF	DRF	T5 m(s)	T10 m(s)	T15 m(s)	T20 m(s)	T25 m(s)	T30 m(s)	D2 s	D4 s	Pico velocidad (m/s)	Carga óptima arrastre (%PC)
60	Media	7,62	382,18	4,75	734,91	9,59	-49,67	0,23	0,36	-0,06	1,70	2,60	3,39	4,13		6,56	18,72	6,93		
%	DT	10,86	0,57	118,99	1,07	241,13	2,70	15,48	0,04	0,06	0,01	0,19	0,27	0,33	0,39	1,16	2,49	0,57		
PC	CV(%)	14,20	7,53	31,14	22,54	32,81	-31,18	16,27	16,66	-20,29	11,33	10,46	9,88	9,41		17,73	13,28	8,18		
80	Media	7,06	330,13	3,87	587,92	7,69	-46,53	0,20	0,32	-0,06	1,85	2,83	3,69	4,48		5,76	17,00	6,35		
%	DT	10,86	0,62	115,78	1,00	211,87	2,62	17,39	0,04	0,08	0,02	0,26	0,37	0,44	0,54	1,32	2,89	0,55		
PC	CV(%)	14,20	8,82	35,07	25,84	36,04	-37,37	19,32	24,21	-30,50	14,14	12,92	12,0	12,1		22,87	17,02	8,69		
10	Media	6,02	306,43	3,22	484,60	6,34	-48,55	0,18	0,30	-0,06	1,97	3,04	3,98	4,55		5,25	15,34	5,50		
0%	DT	10,86	0,33	115,77	0,81	201,96	2,55	17,38	0,04	0,08	0,02	0,36	0,51	0,62	0,40	1,42	3,25	0,48		
PC	CV(%)	14,20	5,45	37,78	25,16	41,68	-35,80	24,95	28,33	-29,21	18,19	16,67	15,4	8,72		27,05	21,19	8,70		

V0: velocidad teórica máxima; F0: fuerza teórica máxima; Pmax: potencia máxima; Perfil Fv: Perfil Fuerza-velocidad; RF: ratio de fuerza; DRF: descenso del ratio de aplicación de fuerza; T5 m: tiempo a 5 metros; T10 m: tiempo a 10 metros; T15 m: tiempo a 15 metros; T20 m: tiempo a 20 metros; T30 m: tiempo a 30 metros; T40 m: tiempo a 40 metros; T60 m: tiempo a 60 metros; T80 m: tiempo a 80 metros; D2s: distancia recorrida en 2 segundos; D4s: distancia recorrida a 4 segundos; Carga F V P: carga fuerza, velocidad, potencia; DV: desviación típica; CV: coeficiente de variación; PC: peso corporal.

TABLA 14: Tiempos parciales y efectos agudos de cada carrera de velocidad con diferentes cargas.

	Salto PRE	Tiempos				Salto POST		Fuerza	F0/SEN - PS		
		CMJ (cm)	T. 5 m (s)	T. 10 m (s)	T. 15 m (s)	T. 20 m (s)	CMJ (cm)		P. Salto (%)	F0-PS	SEN-PS
Sprint	Media	39,56	1,38	2,12	2,78	3,39	37,00	6,36	114,98		
	DT	6,58	0,09	0,15	0,20	0,26	5,84	1,75	11,45	0,81	
	CV (%)	16,63	6,83	7,14	7,14	7,59	15,77	27,51	9,96		
Sprint 20 % PC	Media	38,77	1,50	2,30	2,99	3,64	35,88	7,39			
	DT	6,11	0,10	0,15	0,19	0,24	5,57	2,48		0,85	
	CV (%)	15,75	6,79	6,34	6,27	6,55	15,53	33,52		0,27	
Sprint 40 % PC	Media	37,98	1,60	2,43	3,15	3,75	35,38	6,70			
	DT	5,96	0,07	0,11	0,14	0,12	5,28	2,06		0,94	
	CV (%)	15,70	4,49	4,55	4,54	3,28	14,92	30,79			
Sprint 60 % PC	Media	38,34	1,70	2,60	3,39	4,13	35,65	6,99			
	DT	6,47	0,19	0,27	0,33	0,39	5,98	1,76		0,94	
	CV (%)	16,87	11,33	10,46	9,88	9,41	16,77	25,11		0,14	
Sprint 80 % PC	Media	37,49	1,85	2,83	3,69	4,48	35,00	6,50			
	DT	5,66	0,26	0,37	0,44	0,54	4,91	1,74		0,78	
	CV (%)	15,10	14,14	12,92	12,03	12,10	14,02	26,77		0,01	
Sprint 100 % PC	Media	37,74	1,97	3,04	3,98	4,55	35,69	5,37			
	DT	5,88	0,36	0,51	0,62	0,40	5,43	1,33		0,67	
	CV (%)	15,59	18,19	16,67	15,47	8,72	15,22	24,77		0,06	

CMJ: salto con contramovimiento; F0: fuerza teórica máxima; SEN: sentadilla; PS: pérdida de salto.

ESTUDIO III EFECTOS MECÁNICOS, METABÓLICOS Y ESTABILOMÉTRICOS DE UN ENTRENAMIENTO ESPECÍFICO DE RESISTENCIA A LA VELOCIDAD

La tabla 15 muestra la respuesta inmediata en las variables mecánicas de velocidad y salto vertical y variables metabólicas de lactato sanguíneo y amonio tras la realización de ocho carreras de 80 metros. Los datos muestran un aumento progresivo del tiempo necesario para recorrer las distancias totales e intermedias, medidas cada 20 metros. Concretamente, observamos que los tamaños del efecto comienzan a ser considerados “muy altos” tras la última repetición en el caso del tiempo en recorrer los primeros 20 metros de carrera (TE = 0,84), a partir de la 6ª en el caso de los primeros 40 metros (TE = 0,91) y a partir de la 4ª repetición en el caso de los primeros 60 metros de carrera y la distancia total de 80 metros (TE = 0,85 y 1,13, respectivamente). En el caso de la pérdida de salto, podemos observar que la influencia ya es significativa tras la 2ª repetición, con un tamaño del efecto considerado alto que va en ascenso a medida que se realiza el resto de carreras (TE = 0,81 – 3,49). En la figura e31 se observa la evolución en los valores metabólicos de lactato y amonio junto con la capacidad de salto justo antes y después de las carreras repetidas realizadas, y en la figura e32 se observa la misma evolución en relación a los tiempos parciales. Además, la figura e33 muestra la relación entre la pérdida de salto y las variables metabólicas.

En lo que respecta a las variables metabólicas, la tabla 15 muestra elevados valores tanto de lactato como de amonio desde la 2ª repetición, con tamaños del efecto elevados que también aumentan significativamente con el transcurso de las repeticiones (lactato: TE = 1,19 – 3,49; amonio: TE = 1,49 – 5,57) (figura e34).

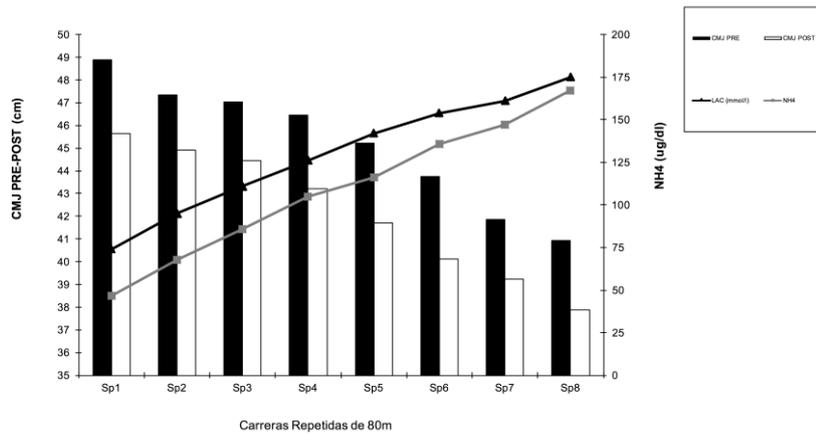


Figura e31: evolución en los valores metabólicos de lactato y amonio junto con la capacidad de salto justo antes y después de las carreras repetidas realizadas

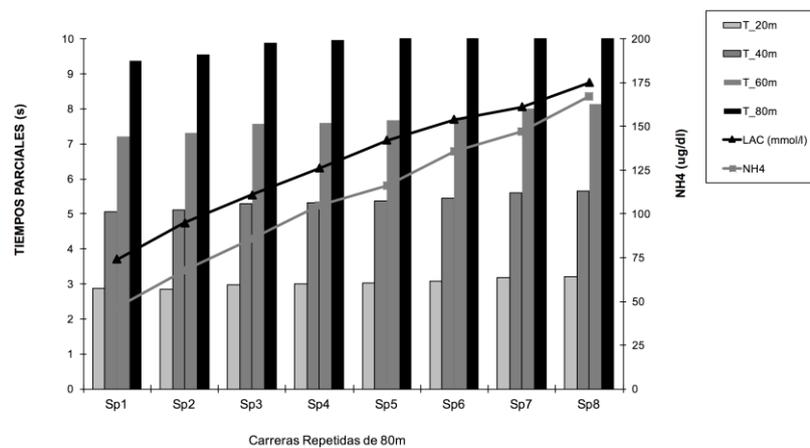


Figura e32: evolución en los valores metabólicos de lactato y amonio junto con la capacidad de salto justo antes y después de las carreras repetidas realizadas en relación a los tiempos parciales.

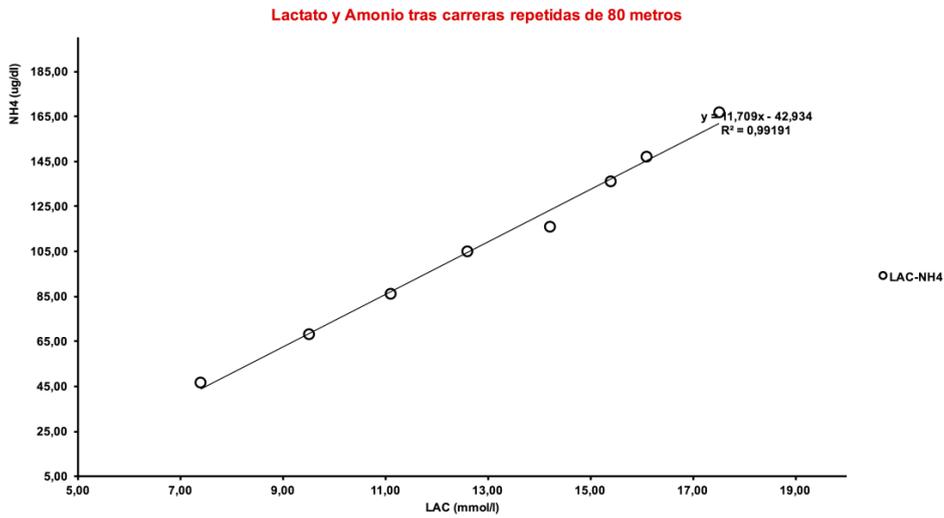
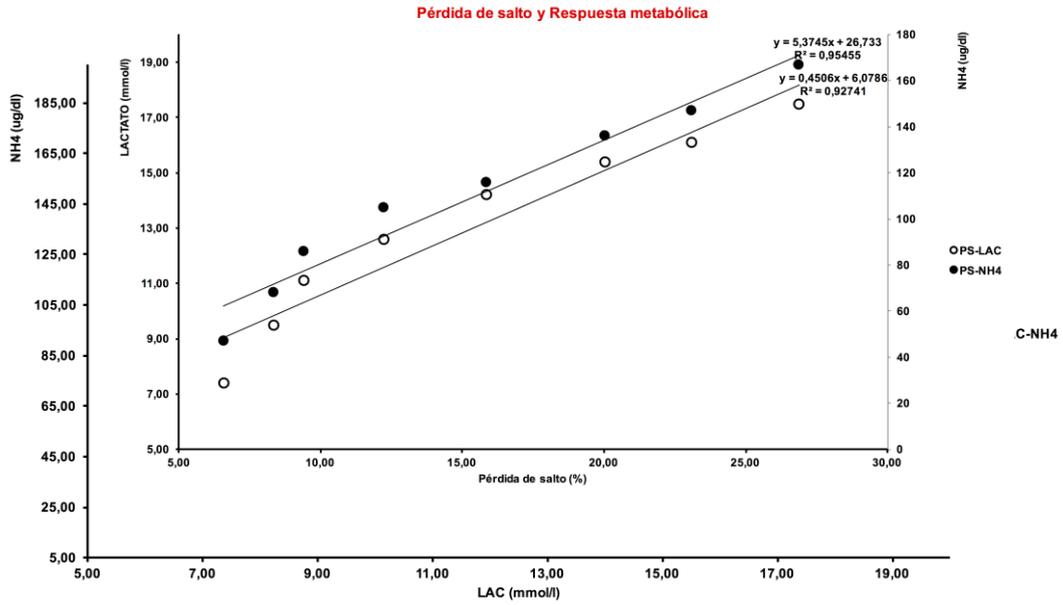


Figura e34: valores de lactato y amonio traslas carreras de 80 metros repetidas.

Tabla 15: Respuesta mecánica y metabólica aguda durante la sesión de carreras repetidas de 80 metros.

	1ª Repetición*	2ª Repetición*	TE	4ª Repetición*	TE	6ª Repetición*	TE	8ª Repetición*	TE
Tiempo 20 m (s)	2,88 ± 0,14	2,86 ± 0,15	0,05	3,00 ± 0,16	0,31	3,08 ± 0,16	0,52	3,21 ± 0,17	0,84
Tiempo 40 m (s)	5,06 ± 0,16	5,11 ± 0,16	0,13	5,31 ± 0,18	0,61	5,44 ± 0,19	0,91	5,66 ± 0,20	1,41
Tiempo 60 m (s)	7,20 ± 0,22	7,32 ± 0,21	0,26	7,61 ± 0,24	0,85	7,76 ± 0,25	1,16	8,13 ± 0,26	1,90
Tiempo 80 m (s)	9,37 ± 0,28	9,55 ± 0,29	0,34	9,98 ± 0,30	1,13	10,16 ± 0,31	1,45	10,62 ± 0,32	2,28
Pérdida salto CMJ PRE (%)	6,5 ± 1,3	8,1 ± 2,3	0,81	11,6 ± 2,9	2,19	17,9 ± 3,4	4,28	22,5 ± 3,7	5,77
Lactato (mmol·l ⁻¹)	7,1 ± 1,8	9,5 ± 2,2	1,19	13,2 ± 2,5	2,80	15,4 ± 3,3	3,12	16,8 ± 3,5	3,49
Amonio (umol·l ⁻¹)	47,3 ± 12,2	68,4 ± 15,9	1,49	116,2 ± 18,5	4,40	142,0 ± 19,3	5,87	152,6 ± 23,8	5,57
CMJ pre Serie (cm)	48,88 ± 4,9	47,35 ± 5,7	0,29	46,44 ± 5,5	0,47	43,77 ± 5,6	0,97	40,92 ± 5,9	1,47
CMJ post serie (cm)	45,66 ± 4,8	44,92 ± 5,6	0,14	43,20 ± 5,4	0,48	40,11 ± 5,5	1,08	37,88 ± 5,8	1,46

Cm: centímetros; CMJ: salto con contramovimiento; Mmol·l: milimoles por litro; umol·l: moles por litro; M: metros; S: segundos;
TE: tamaño del efecto; *media ± desviación estándar.

Por su parte, la tabla 16 muestra la respuesta en las variables de estabilidad postural inmediatamente después de la realización de las ocho carreras de 80 metros. En este caso, los datos no muestran diferencias significativas en ninguna de las variables ($p < 0,05$), apoyadas por tamaños del efecto que no llegan a ser altos en ningún caso ($TE < 0,81$).

Tabla 16: Respuesta en estabilidad y JPS aguda durante la sesión de carreras repetidas de 80 metros.

	Pre*	Post*	TE
Areai (mm²)	306,19 ± 165,63	263,33 ± 116,23	-0,30
Longitudi (mm)	222,11 ± 114,17	194,53 ± 57,82	-0,32
Velocidadi (mm/s)	22,28 ± 12,26	18,91 ± 5,83	-0,37
Xmediai (mm)	-11,01 ± 30,20	-0,39 ± 5,68	0,59
Ymediai (mm)	-16,86 ± 7,07	-16,29 ± 6,44	0,08
Aread (mm²)	319,40 ± 247,78	375,58 ± 242,56	0,23
Longitudd (mm)	232,74 ± 82,69	241,60 ± 66,48	0,12
Velocidadd (mm/s)	19,45 ± 6,46	20,22 ± 5,18	0,13
Xmediad (mm)	8,70 ± 33,32	-3,18 ± 5,73	-0,61
Ymediad (mm)	-20,82 ± 10,87	-20,32 ± 12,01	0,04

Área: superficie completada por el recorrido del centro de presiones; d: test en apoyo monodal derecho; i: test en apoyo monopal izquierdo; longitud: longitud recorrida por el centro de presiones; mm: milímetros; segundos; velocidad: velocidad del recorrido del centro de presiones; Xmedia: posición media del centro de presiones en el plano mediolateral ; Ymedia: posición media del centro de presiones en el plano anteroposterior; TE: tamaño del efecto; *: media ± desviación estándar;

VI - DISCUSIÓN

VI - DISCUSIÓN

ESTUDIO I RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DETERMINANTES DEL PERFIL MECÁNICO DE FUERZA-VELOCIDAD EN SPRINT Y SALTO Y LOS TEST ESPECÍFICOS DE SALTO EN LA MODALIDAD DE VELOCIDAD

Los **principales hallazgos** del presente estudio muestran una importante relación entre los test de salto específicos tradicionalmente empleados en el entrenamiento de atletas velocistas como son el PJ, TPJ, QPJ, DCJ Y 10HZT y los parámetros más relevantes que determinan el Perfil F-v del deportista: F0 y v0. Más concretamente, observamos una clara especificidad donde aquellos saltos que precisan menor número de contactos y mayor tiempo de los mismos para la aplicación de fuerza en detrimento de su velocidad de ejecución son los que más altamente correlacionan con el parámetro F0; mientras que aquellos saltos que contienen mayor número de contactos, requiriendo más velocidad de ejecución en detrimento de una menor posibilidad en la aplicación de fuerza son los que más altamente correlacionan con el parámetro v0. Estos resultados se tornan aún más relevantes si tenemos en cuenta la muestra que compone nuestro estudio, la cual está formada por 100 atletas velocistas de nivel nacional e incluso internacional, que entrenaban y competían al máximo rendimiento y de forma regular en pruebas de entre 100 a 400 m. A pesar de la enorme dificultad que supone reclutar una muestra de este tamaño y tales características, este aspecto fue esencial para obtener los datos de todos los test en condiciones de máxima intensidad y rendimiento para cada uno de los sujetos, ya fueran hombres o mujeres. Es por ello que observamos tendencias similares tanto en hombres como en mujeres incluso en los análisis de regresión, los cuales continúan la misma tendencia en los resultados: podemos observar cómo la F0 es influenciada directamente por los saltos más cortos como PJ, TPJ y 10hzt, mientras que la v0 es influenciada por saltos como el DCJ, y en menor medida por el QPJ.

Estos resultados son extremadamente relevantes si tenemos en cuenta el **perfil horizontal** y sus componentes. No debemos olvidar que los parámetros que arroja y a los que hacemos referencia en nuestros hallazgos, como son la F0 y v0,

determinan la aceleración y la velocidad máxima del deportista, respectivamente. Además de estos dos parámetros, su combinación determina otras variables importantes como la p_{max} , referida a la potencia máxima, y otra serie de factores que determinan la efectividad en la aplicación de la fuerza. Hablamos de la r_f peak, la r_f en 10 m o la d_{rf} , donde la r_f peak y la r_f en 10 m están directamente relacionadas con la F_0 , mientras que la d_{rf} nos habla de la capacidad del deportista para seguir aplicando una gran cantidad de fuerza horizontal a pesar de tener menor tiempo de contacto según nos acercamos a la fase de velocidad máxima en carrera. Esta última sería una de las grandes responsables que explicaría por qué algunos velocistas que disponen a priori de valores similares de v_0 , tienen mejor rendimiento en las pruebas de velocidad. En otras palabras, la d_{rf} nos informaría de que un velocista "A" es mejor que un velocista "B" sencillamente porque el primero es capaz de seguir aplicando mayor cantidad de fuerza horizontal en cada apoyo, a pesar de que el tiempo disponible de contacto se reduce según aumenta la velocidad de carrera. En relación a la literatura previa que aborde la influencia y relación de los saltos con los principales parámetros que determinan el perfil horizontal, es escasa la evidencia existente hasta el momento debido al carácter innovador del concepto de los perfiles horizontal y vertical. De hecho, los estudios más relevantes hasta el momento son casi exclusivamente aquellos necesarios para la propia validación del uso del perfil. Concretamente, el estudio de Samozino et al., (2015) publicado recientemente, propone un método simple basado en herramientas asequibles y de fácil acceso para facilitar a los demás investigadores y profesionales del deporte la obtención del perfil horizontal. Para ello, emplearon un radar que informaba sobre las características mecánicas de la aceleración del deportista según sus características antropométricas, además de un sistema de células fotoeléctricas que reportaba los parciales de 5, 10, 15, 20, 30 y 40 metros. De este modo validaron un método simple que pudiera ser empleado en situaciones reales de entrenamiento y con herramientas accesibles para cualquier profesional del deporte (Samozino et al., 2015). Basado en este mismo método y gracias a la disponibilidad de cámara lenta de vídeo con posibilidad de grabar a 240 fotogramas por segundo, ha sido recientemente publicada la validación de una aplicación para Smartphone. Esta aplicación, a través del análisis de la carrera por medio de los fotogramas obtenidos a través de la cámara lenta del dispositivo móvil, permite la obtención

de todos los parámetros necesarios para la obtención del perfil, informando directamente de la F_0 , v_0 , drf , p_{max} para la orientación del entrenador dependiendo de los valores obtenidos por su deportista en el perfil (Romero-Franco et al., 2016). A pesar de la reciente incorporación del perfil como herramienta de evaluación, seguimiento y planificación del estado de forma de deportistas y la aún más reciente disposición de métodos simples para su obtención, encontramos publicados ya algunos estudios que emplean el perfil horizontal y sus variables como piedra angular de sus trabajos. Es el caso del estudio de Slawinski et al., (2015) quienes evaluaron las variables mecánicas de aceleración y deceleración, además de los parámetros fuerza, velocidad y potencia de una muestra formada por atletas cien velocistas mujeres y hombres de élite y especializados en la distancia de 100 metros lisos. Aunque el nivel de rendimiento de la muestra difiere de los deportistas reclutados en el presente estudio, hemos de destacar que algunos de nuestros atletas sí alcanzaban niveles similares de rendimiento. Asimismo y asumiendo las diferencias en el nivel de rendimiento de los atletas, es necesario destacar los resultados concernientes a los test de salto específicos evaluados en el presente trabajo y el perfil horizontal considerado por Slawinski et al., (2015). Concretamente, el estudio de Slawinski et al., (2015) destaca la importancia de la F_0 en atletas velocistas ya sean hombres o mujeres, además de la capacidad de los atletas de alto nivel para continuar ejerciendo una gran cantidad de fuerza durante todas las fases de carrera, incluso al disminuir el tiempo de contacto durante la fase de máxima velocidad. Es esta una de las principales características en una muestra de alto nivel, donde los atletas muestran valores de drf muy bajos. Queda constancia por tanto de la importancia de los valores de F_0 en atletas velocistas y el mantenimiento de estos valores durante las fases de máxima velocidad, reflejado en menores pérdidas en la aplicación de fuerza durante la carrera. De hecho, estos autores subrayan la prioridad en el mantenimiento de aplicación de la fuerza horizontal durante las fases de máxima velocidad por encima de la producción de altos valores de fuerza vertical. En el estudio de Slawinski et al., (2015) se observan también diferencias entre hombres y mujeres, siendo siempre más elevados los valores en hombres. Además, se muestra un menor tiempo para la aceleración y mayor tiempo para la deceleración en el caso de atletas mujeres. Tales diferencias

podrían explicar las disimilitudes en rendimiento y menor resistencia a la fatiga por parte de las mujeres.

Del mismo modo que ocurría con el perfil horizontal, es necesario considerar nuestros principales hallazgos desde la perspectiva del **perfil vertical**, el cual arroja parámetros similares al perfil horizontal como la F_0 , la v_0 y la p_{max} , con interpretaciones semejantes, además de la pendiente de inclinación del perfil, la cual nos informa si el perfil del deportista evaluado se orienta o inclina más hacia fuerza o a velocidad. En el presente estudio, es necesario destacar la ausencia de grandes desequilibrios en lo que al Perfil F-v se refiere. La principal razón radica en la tradicional metodología de entrenamiento que atañe a la modalidad de velocidad dentro del atletismo, la cual tiene un carácter muy exigente en lo que al levantamiento de cargas y trabajo de pesas en plano vertical se refiere. Al igual que ocurría con la literatura concerniente al perfil horizontal, tampoco existen demasiados autores hasta el momento que empleen el perfil vertical y sus parámetros en sus investigaciones. Si nos centramos en velocistas, el estudio publicado por Jiménez-Reyes et al., (2014) consideró velocistas y saltadores. En este estudio se observa una clara influencia de los desequilibrios observados en el Perfil F-v de cincuenta y cuatro deportistas de alto nivel en el desarrollo del salto vertical, especialmente cuando el salto conlleva contramovimiento (Jimenez-Reyes et al., 2014). Por otro lado, el estudio de (Jimenez-Reyes, Samozino, Brughelli y Morin, 2017) publicado recientemente también considera similares parámetros con resultados que van en la misma línea, sin embargo, debemos destacar que la muestra considerada eran jugadores de fútbol y rugby, con las diferencias que estas modalidades deportivas conllevan con respecto a la velocidad en atletismo (Jiménez-Reyes et al., 2017). Adicionalmente, Giroux mostraba en su estudio el comportamiento de las diferentes variables del perfil vertical de acuerdo a distintas modalidades deportivas. En este estudio se muestra cómo el Perfil F-v óptimo muestra claras diferencias en deportistas de élite, en los que se observan mayores valores en relación a la F_0 , v_0 , p_{max} y drf comparado con los valores reportados en deportistas con un nivel de actividad física moderada, tanto en el caso de los hombres como las mujeres (Giroux et al., 2016). Por tanto, es necesario tener en cuenta el nivel de ejercicio físico y el grado de entrenamiento previo de los deportistas a estudiar, resaltando las características de la muestra del presente

estudio donde todos los deportistas realizaban altos niveles de ejercicio físico, aunque el alto nivel en rendimiento sólo era alcanzado por una parte de la muestra. También es importante el hallazgo encontrado en el estudio de Giroux donde la pendiente del perfil es cambiante dependiendo de la modalidad deportiva de los deportistas. Concretamente se observa que los atletas velocistas poseían un perfil siempre más orientado a fuerza comparado con otro tipo de atletas (Giroux et al., 2016). La explicación a este hallazgo la encontramos en la necesidad de aplicar fuerza durante la salida de tacos y fase de aceleración en los eventos de velocidad, además de su mantenimiento durante el escaso tiempo de contacto en fases de velocidad máxima, siendo este un aspecto clave del rendimiento de más alto nivel, el cual es destacado por Slawinski et al., (2015).

Por otra parte, hemos creído necesaria e interesante la evaluación de saltos específicos dada la frecuente inclusión de los mismos en la metodología tradicional de entrenamiento de los velocistas. A pesar de la constante variabilidad en las formas de aplicación de estos saltos y las diferentes corrientes que recomiendan unos saltos y otros sin base científica, son pocos los investigadores que han intentado explicar y racionalizar el uso de los diferentes test de salto (Moura & Moura, 2001). Esta falta de apoyo científico y controversia entre los autores hacen que sea difícil detallar qué saltos emplear, cuándo incluirlos y con qué objetivo de cara al entrenamiento del deportista para el rendimiento óptimo. De nuestros resultados podemos obtener un argumento científico pionero en base al cual planificar y programar las sesiones de fuerza de los velocistas, donde los multisaltos de menor número de contactos y mayor tiempo de apoyo para la aplicación de fuerza son los más adecuados para la mejora de la F_0 , y los multisaltos de mayor número de contactos y menor tiempo de apoyo para la aplicación de fuerza como el décuple son los más adecuados para la mejora de la v_0 . De este modo, es posible planificar y programar el entrenamiento de los deportistas de forma individualizada y de acuerdo a los resultados del Perfil F-v de cada atleta. En este sentido, el estudio de Jiménez-Reyes et al., (2017) evaluó las diferencias obtenidas en salto vertical tras varias semanas de entrenamiento de fuerza tradicional comparado con entrenamiento de fuerza individualizado dependiendo de los desequilibrios observados en el perfil. Concretamente, ochenta y cuatro atletas entrenados fueron clasificados como grupo control o grupo experimental. Los atletas del grupo control

realizaron exactamente la misma rutina de entrenamiento de fuerza durante nueve semanas, mientras que el grupo experimental realizó durante las mismas nueve semanas un entrenamiento individualizado basado en el desequilibrio observado en la evaluación del Perfil F-v realizada de forma previa a las nueve semanas de intervención. Los resultados observados mostraron un aumento del rendimiento reflejado en mejoras significativas en salto vertical en aquellos atletas que trabajaron la fuerza según los aspectos más deficitarios observados en el perfil, es decir, que entrenaron con el objetivo de disminuir el desequilibrio observado en el perfil (Jimenez-Reyes et al., 2017).

Derivado de este estudio donde se refleja la importancia del perfil como referencia en la que basar la planificación del entrenamiento, hemos de destacar la relación que observamos en nuestro estudio con los multisaltos realizados, hasta ahora sin base científica. En este sentido, aunque la novedad del presente estudio hace difícil su comparación con literatura previa, la relación observada con los parámetros más importantes del perfil y la importancia reportada en la especificidad e individualización del entrenamiento basado en estos parámetros (Jimenez-Reyes et al., 2014) abre una nueva perspectiva en la planificación del entrenamiento de velocidad. A diferencia de la mayoría de estudios previos que no han considerado la inclusión de los tradicionales test de saltos específicos a pesar de su frecuente empleo por los velocistas, en el presente estudio hemos podido reclutar una numerosa muestra de velocistas que entrenan de manera periódica y al máximo rendimiento, los cuales han realizado dichos test. Este aspecto ha sido clave para destacar la importancia de esta práctica y darle sentido, ahora con una base científica pionera dada su alta correlación con los parámetros que determinan el Perfil F-v del deportista y por tanto, su orientación en el entrenamiento para una mayor mejora (Jiménez-Reyes et al., 2017).

En el mismo sentido que los análisis de correlaciones, se realizó un análisis de regresión múltiple, a través del cual se pretendía examinar la influencia de unos test para explicar el resultado en algunos de los parámetros del Perfil F-v. En definitiva, se trataba de conocer qué variables independientes explican el cambio en la variable dependiente analizada. Las figuras del presente estudio muestran correlaciones que aumentan la consistencia de nuestros resultados. Si nos centramos en la relación entre F0 y los multisaltos observamos un escenario muy específico donde la F0 presenta una correlación alta directa con los multisaltos

con pocos apoyos, tiempos de contacto más duraderos y en definitiva escenarios donde la aplicación de fuerza juega un papel crucial, es decir, altos niveles de fuerza a baja velocidad. Del mismo modo, la F_0 las correlaciones van perdiendo importancia según nos acercamos a saltos con mayores apoyos como es el caso del décuple. Justamente lo contrario es lo que se observa con la v_0 , donde se observan relaciones muy bajas con los saltos de menos apoyos y estas correlaciones aumentan según nos acercamos a multisaltos que precisan más velocidad, menor tiempo de contacto y en general, contextos de baja fuerza a alta velocidad como el quíntuple y especialmente el décuple, donde se observan correlaciones muy altas y directas. Asimismo, es necesario destacar la correlación entre F_0 y la rf peak y rf 10 m (indicadores de efectividad en la aplicación de la fuerza), así como la v_0 y drf (indicador de la efectividad en la aplicación de la fuerza a alta velocidad). Observamos que el parámetro drf , que caracteriza a los velocistas de mayor nivel por la menor disminución en la pérdida de aplicación de fuerza a pesar de un reducido tiempo de contacto en las fases de máxima velocidad de la carrera, influye altamente en la v_0 , donde se observan las mayores correlaciones.

Además del análisis de las principales variables, el presente estudio evaluó los tiempos parciales de los velocistas dada la necesidad de justificar la distancia de las series planificadas para cada atleta y momento de la temporada. En este sentido es necesaria la evaluación previa y periódica del deportista para conocer sus necesidades a través de los principales parámetros del Perfil F-v y los posibles desequilibrios en el mismo (Jiménez-Reyes et al., 2017). En función de los resultados hallados en cuanto a F_0 y v_0 podremos adaptar el tipo de distancia a incluir en las sesiones de entrenamiento. Más concretamente, podemos observar en nuestros resultados que los tiempos parciales de 5 y 10 metros, y en general, las distancias más cortas se relacionan con la F_0 , y estas correlaciones van perdiendo fuerza con el aumento de la distancia. Es en estas distancias más largas de 60 y 80 metros donde la v_0 está más influenciada. Por tanto, estos resultados podrían guiar a los entrenadores en la orientación, organización y decisión en cuanto a las distancias de las series durante los entrenamientos, donde las distancias más cortas ayudarán a la mejora de la F_0 , mientras que las más largas tendrán más influencia en la v_0 .

A pesar de la novedad de nuestro estudio y el importante avance del mismo en aspectos tradicionalmente incluidos en el entrenamiento de velocistas y su orientación individualizada, el presente trabajo presenta también ciertas limitaciones. En primer lugar, la inclusión de atletas de diferentes niveles de rendimiento ha aumentado la heterogeneidad de la muestra, lo cual ha impedido su comparación directa con los escasos estudios realizados hasta el momento en base al perfil. Sin embargo, hemos de destacar que se trata de una muestra muy numerosa teniendo en cuenta que está formada por velocistas con un alto nivel de compromiso con el entrenamiento, el cual realizan a la máxima intensidad a pesar de que el nivel alcanzado sea de nivel internacional solo en algunos casos. También hemos de mencionar que otra limitación ha sido la elección de los multisaltos elegidos en el estudio, los cuales se fundamentaron en las hipótesis iniciales en relación a los parámetros determinantes del Perfil F-v como son la F_0 y v_0 . En base a los diferentes escenarios específicos de aplicación de la fuerza se escogieron algunos de los más habituales en el entrenamiento del velocista. En cambio, es necesario pensar en futuras investigaciones en la inclusión de algunos test específicos que se suelen usar en periodos específicos y cercanos a la competición como son los saltos verticales con vallas y algunos horizontales con carrera previa. En esta ocasión era difícil incluir estos diferentes multisaltos debido a que no todos los grupos de entrenamiento que participaron estaban habituados a la realización de estos saltos en el entrenamiento, y aunque podría haber sido interesante también habría sido una potencial fuente de error en la interpretación de esta información. Además, se habría mezclado la aplicación de fuerza en el plano vertical y horizontal y por consiguiente habría sido menor la potencialidad de los datos que en nuestro estudio se han mostrado.

En cuanto a las aplicaciones directas a la práctica de nuestros principales hallazgos, debemos considerar la inclusión de saltos específicos como parte esencial del entrenamiento y práctica determinante en el perfil del deportista. Es por ello que los entrenadores deben considerar la inclusión de saltos con menor número de apoyos y más tiempo de contacto de cara a mejorar la F_0 y más número de contactos con mayor requerimiento de velocidad en su ejecución para mejorar la v_0 . Del mismo modo y en el mismo sentido, las distancias de las series deben orientarse a una menor distancia como 5 10 o 15 metros de cara a la influencia en la F_0 , o a distancias más largas, de entre 60, 80 o 100 metros si lo que

queremos es mejorar la v_0 . En ambos casos, tanto en la determinación de los saltos como la distancia de series en la planificación de las sesiones del velocista, podemos ver que nos movemos en contextos muy específicos, con escenarios caracterizados por altos niveles de fuerza a bajas velocidades relacionados con la F_0 , y bajos niveles de fuerza a altas velocidades relacionados con la v_0 . Todo ello guía al entrenador en la preparación del velocista y cumple una de nuestras hipótesis iniciales: F_0 influenciado por acciones donde el contexto es caracterizado por la aplicación de alta fuerza a baja velocidad, justo lo que ocurre en las primeras fases de la carrera de velocidad, donde el velocista requiere acelerar desde posición de parado, debiendo romper la inercia; este contexto se invierte según el velocista acelera, cambiando en la aplicación de fuerza en favor de una mayor velocidad, lo cual influencia a la v_0 . Hemos de tener en cuenta también que estas orientaciones en la programación del entrenamiento deben ser tenidas en cuenta tanto para mujeres como para hombres, ya que las tendencias han mostrado ser similares en ambos, a pesar de que los valores de las mujeres tiendan a ser siempre menores, al igual que se observa en la literatura previa (Slawinski et al., 2015). A pesar de estas diferencias, las influencias en los parámetros del perfil y la orientación del entrenamiento son idénticas.

Como futuras líneas de investigación, proponemos la inclusión de los multisaltos evaluados en el presente trabajo y sus posibles beneficios en rendimiento si éstos son realizados en diferentes situaciones como sobrecarga o facilitación.

Adicionalmente, dada la importancia reportada de los parámetros F_0 y v_0 en la mejora del rendimiento del velocista, planteamos la necesidad de profundizar en el entrenamiento y mejora de estas variables a través del uso de la carrera con sobrecargas en velocistas, las cuales han sido incluidas en el estudio II para su análisis.

ESTUDIO II PERFIL FUERZA-VELOCIDAD EN CARRERAS CON ARRASTRE:
INFLUENCIA DE LA FUERZA HORIZONTAL

Los **principales hallazgos** del presente estudio muestran una importante relación entre los parámetros clave del perfil F-V horizontal, como son la F_0 , v_0 , P_{max} , Rf y DRF , y la pérdida de salto en CMJ al realizar un entrenamiento específico para atletas velocistas que consiste en la realización de carreras de velocidad usando diferentes cargas de arrastre. Para llegar a estos hallazgos, se planteó como objetivo principal saber qué ocurre con los parámetros claves del perfil F-V horizontal a lo largo de diferentes carreras de velocidad con carga. Tal y como se ha visto en los resultados, los parámetros de fuerza (F_0) y velocidad (v_0) descienden a medida que la carga en las diferentes carreras de velocidad va aumentando. Además, como objetivo secundario se planteó el cálculo de la carga óptima de arrastre para cada individuo y con ello se pretendía conseguir un entrenamiento específico para la carrera de velocidad individualizado. Asimismo, se controló la carga de entrenamiento mediante el salto antes y después de las carreras de velocidad con carga con el objetivo de comprobar los efectos mecánicos agudos que producía este tipo de entrenamiento específico en los atletas de velocidad.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran un descenso en los parámetros determinantes del perfil horizontal, más concretamente, los valores de F_0 , v_0 y P_{max} descienden a medida que se aumentan las cargas de arrastre en cada carrera de velocidad. Estos resultados son de elevada importancia debido a que el perfil horizontal y sus componentes son claves debido a que determinan la aceleración (F_0) y la velocidad máxima (v_0) del deportista. Además de estos dos parámetros, su combinación determina otras variables importantes como la P_{max} , referida a la potencia máxima, la rf_{peak} , la rf en 10 m y la DRF que determinan la efectividad en la aplicación de la fuerza. Las dos primeras están directamente relacionadas con la F_0 y por lo tanto, con la fase de aceleración; por otro lado, la DRF nos indica la capacidad que tiene el atleta para seguir aplicando grandes valores de fuerza horizontal en cortos periodos de tiempo de contacto, situaciones que se dan cuando se está alcanzando la fase de máxima velocidad en la carrera. Estos parámetros son de vital importancia en atletas de élite tal y como se ha visto

en el estudio realizado por Slawinski et al., (2015). Estos autores realizaron una evaluación de las variables mecánicas del Perfil F-v horizontal en atletas de élite mundial y tras el análisis, destacan la importancia de la F0 en atletas velocistas y además, resaltan que la capacidad de producir fuerza horizontal a velocidades altas durante la carrera es un factor crucial en la carrera de 100 metros a niveles de élite. Debido a la complejidad de nuestro estudio y el carácter específico del entrenamiento, la muestra se redujo (n=16) con el fin de tener un nivel de competición cercano al nivel élite. De esta forma, al analizar los parámetros clave del perfil F-V horizontal que están relacionados con el rendimiento en la carrera de velocidad, los valores de F0, v0 y Pmax obtenidos no se alejan en exceso de los obtenidos por Slawinski et al. (2015), (F0 (N/kg) en hombres: 10.1 ± 0.9 y v0 (m/s) en hombres: 11.6 ± 0.2) y de los obtenidos por Cross et al., (2017) (F0 (N/kg) en hombres: 10.1 ± 0.9 ; v0 (m/s) en hombres: 9.75 ± 0.36), siendo más cercanos los de nuestro estudio (F0 (N/kg) en hombres: 7.39 ± 0.99 ; v0 (m/s) en hombres: 9.29 ± 0.72) a los recogidos por Cross et al., (2017). Asimismo, esto nos indica que la muestra escogida, a pesar de ser reducida, cuenta con un nivel de rendimiento alto y no alejado de los niveles de rendimiento de atletas de élite.

Observando los valores de F0 y v0, expuestos en los resultados y que además se ha visto en el estudio 1 su importancia en el rendimiento, se aprecia un descenso de los valores a medida que la carga utilizada en las carreras de velocidad con arrastre va aumentando. Esto nos da una idea de qué está pasando con los parámetros determinantes de la carrera de velocidad a lo largo del entrenamiento y puede ser un indicador de la fatiga producida por el entrenamiento que está siendo llevado a cabo. Este tipo de entrenamiento específico de la carrera de velocidad es muy habitual y de vital importancia en los parámetros clave del Perfil F-v (Cross et al., 2017) y por ello se recomienda su inclusión en la programación del entrenamiento de la carrera de velocidad, aunque se debe estudiar a fondo ya que tiene distintos efectos sobre los parámetros clave dependiendo de la carga de arrastre elegida (Petraikos, Morin y Egan, 2015). En cuanto a este aspecto, existe cierta controversia alrededor del entrenamiento específico de arrastre mediante cargas altas (>30% del peso corporal), algunos autores sugieren que este tipo de entrenamiento de forma habitual produce efectos negativos en la transferencia a la carrera de velocidad tales como una disminución en la frecuencia y amplitud de zancada en la carrera

(Petraikos, Morin y Egan, 2015). Sin embargo, Petraikos, Morin y Egan (2015), sugieren que el entrenamiento específico de carrera de velocidad con cargas altas de arrastres, dentro de un programa de fuerza destinado a la mejora de la fase de aceleración, puede tener efectos positivos en la fase de aceleración de la carrera velocidad (donde se producen altas fuerzas horizontales a baja velocidad) en atletas entrenados.

Siguiendo en esta línea sobre la importancia que tiene el entrenamiento específico con cargas en la carrera de velocidad, solamente existe un estudio hasta el momento que es el realizado por Cross et al., (2017). Estos autores establecieron un método para conocer la carga óptima de máxima potencia a través de diferentes carreras de velocidad con cargas. En este segundo estudio hemos seguido la línea usada por estos autores, y por ello, el procedimiento y las cargas utilizadas por Cross et al., (2017) (20, 40, 60, 80 y 100 % del peso corporal) han sido las mismas para este estudio, exceptuando la carga del 120 % del peso corporal. Sin embargo, aunque uno de los objetivos de este estudio era conocer la carga óptima de máxima potencia en arrastres, donde los resultados obtenidos van en línea con los obtenidos en el estudio de Cross et al., (2017) fijando la carga óptima en valores superiores al 65 % del peso corporal en ambos estudios, nuestro objetivo principal era conocer qué estímulo suponen las distintas cargas elegidas en los parámetros claves de la carrera de velocidad. De esta forma, se ha podido comprobar el efecto que tiene este tipo de entrenamiento específico con diferentes cargas de arrastre relacionando uno de los parámetros que se ha estado utilizando para el control de las sesiones de la carrera de velocidad, siendo este el control del salto vertical con contramovimiento (CMJ). Este método ha sido ampliamente demostrado y es una forma válida, fiable y fácil de implementar en el control del entrenamiento de la carrera de velocidad. Asimismo, Jimenez-Reyes et al., (2015) establecieron el CMJ como un test simple y que no produce fatiga con el cual se puede monitorizar la fatiga en las sesiones de entrenamiento de carrera de velocidad sin la necesidad de la utilización de mediciones de lactato y amonio, además de ser más preciso que los tiempos realizados en cada carrera. Por ello, a través del registro del salto vertical CMJ y la pérdida (la diferencia de salto entre el antes y después de un ejercicio, en este caso una carrera, expresado en porcentaje) tras ejercicios de alta intensidad es posible conocer la fatiga que producen este tipo de entrenamientos específicos y así conocer el estado del atleta

durante la sesión. Debido a lo anteriormente mencionado y para completar lo realizado por Cross et al., (2017), este estudio se ha centrado en el efecto que tiene este tipo de entrenamiento con sobrecargas en los parámetros mecánicos del Perfil F-v y relacionándolo con la pérdida de salto vertical. Se ha podido observar que los valores de F0 que se producen en cada una de las cargas tienen alguna influencia en que se pierda más o menos altura en el salto vertical. Precisamente, lo que se puede ver en los resultados obtenidos es que hay una relación muy alta para cada una de las cargas entre la F0 y la pérdida de salto vertical (valores de R^2 entre 0.677 y 0.948), sugiriendo que aquellos deportistas que presentan un mayor de F0 tienen una tendencia a una menor pérdida de salto vertical. Este hecho es muy importante debido a que nos puede servir para controlar el entrenamiento desde una nueva perspectiva, donde se complementa y se completa lo que se ha estado utilizando en el control del entrenamiento mediante la pérdida del salto vertical (Jimenez-Reyes et al., 2015), añadiendo información sobre posibles pérdidas importantes de la F0 en un entrenamiento específico con sobrecargas. Esta nueva perspectiva, donde solo existe un estudio con una aproximación similar (Cross et al., 2017), es un nuevo paso para el control del entrenamiento específico y puede ser una herramienta útil e sencilla para observar cómo se comportan los parámetros claves del Perfil horizontal de F-v con diferentes cargas de arrastre.

Este tipo de entrenamientos específicos en la carrera pone en manifiesto la importancia que tiene la F0 como parámetro clave en el rendimiento en pruebas de velocidad. Recientemente, el control de esta variable está siendo objeto de estudio y está adquiriendo una importancia vital a la hora de considerarlo como un criterio para la recuperación y la prevención de lesiones. En este sentido y teniendo en cuenta la producción de fuerza horizontal (F0) como parámetro clave, algunos autores han descrito qué músculos son los que más están involucrados en el desarrollo de esta fuerza. Morin et al., (2015), resaltan la importancia que tiene la participación de los músculos isquiosurales en la producción de fuerza horizontal. Asimismo, Mendiguchia et al., (2013) siguen en esta línea y enfatiza que la producción de fuerza horizontal es un factor determinante en diferentes deportes de equipo, donde la aceleración es clave debido a que la mayor parte de los esfuerzos se producen en distancias cortas, y

también en la carrera de velocidad, siendo mayor su importancia en la fase de aceleración. Además de considerar la F0 como un factor de rendimiento, Mendiguchia et al., (2013) también resaltan su importancia en la prevención de lesiones, esto es debido a que el seguimiento para observar las adaptaciones crónicas que se producen en esta variable por el entrenamiento puede dar a lugar a la observación de diferencias entre los jugadores, y así, actuar en consecuencia para evitar una posible lesión si los valores de producción de fuerza horizontal están por debajo de la media. Dada esta importancia en el rendimiento y en la prevención de lesiones, se ha empezado a desarrollar diferentes estrategias para la mejora de la F0. En este aspecto, Morin et al., (2016) proponen un entrenamiento específico con cargas muy pesadas de arrastre (80 % del peso corporal) para la mejora de la F0. Estos autores resaltan que este tipo de entrenamiento específico con cargas muy altas puede mejorar de forma práctica la efectividad mecánica y las capacidades máximas de fuerza horizontal en futbolistas y otros atletas en deportes de equipo. Debido a lo anteriormente citado y la importancia que tiene este tipo de entrenamientos en uno de los parámetros claves del rendimiento en la carrera de velocidad, el objetivo de este estudio ha sido analizar por primera vez las pérdidas de producción de fuerza horizontal y la relación de estas pérdidas con las pérdidas de salto vertical, dada su importancia como parámetro de control. Para llevar este objetivo a la práctica, Samozino et al., (2015) validaron un método sencillo por el cual se podía extraer la información del perfil horizontal mediante la utilización de un radar que informaba sobre las características mecánicas de la aceleración del deportista según sus características antropométricas, además de un sistema de células fotoeléctricas que reportaba los parciales de 5, 10, 15, 20, 30 y 40 metros. Actualmente, siguiendo la línea establecida Samozino y col. (2015), existen dispositivos de uso sencillo que posibilitan el cálculo del Perfil F-v y la obtención de los parámetros claves (F0, v0, Pmax y DRF). Mediante un Smartphone y el uso de la aplicación Mysprint (Romero-Franco et al., 2016), podemos acceder a una información crucial y saber cómo está respondiendo el atleta a un estímulo determinado en una sesión de entrenamiento gracias a el control de la pérdida de producción de F0 o la

pérdida de salto. Gracias a esta información, se pueden tomar decisiones sobre el entrenamiento que se está llevando a cabo y así dosificar y distribuir las cargas en caso que sea necesario. Asimismo, esta herramienta de control nos va a permitir que cuando se esté realizando un entrenamiento específico con sobrecargas en la carrera de velocidad, no sólo la determinación la máxima potencia será importante sino que también cuando combinemos esas cargas óptimas con otras cargas diferentes el control de la fuerza horizontal podría ser un parámetro para tomar decisiones en el terreno.

Como se ha descrito anteriormente los datos obtenidos de potencia máxima en este estudio en cuanto a carga óptima están en línea con los de Cross et al., (2017) y se puede observar en las figuras presentadas en los resultados. Esto refuerza la idea de que es mucho más efectivo el cálculo de la carga óptima a través del Perfil F-v (Cross y col., 2017; Morin et al., 2015) que como se estaba realizando de forma tradicional. Tradicionalmente, se ha evaluado la capacidad de las extremidades para producir energía utilizando ejercicios multiarticulares (por ejemplo, cicloergometro, saltos, extensión horizontal y carrera de velocidad), haciendo que los atletas realicen múltiples intentos contra una serie de resistencias que van aumentando de forma progresiva (Cross et al., 2017). La aplicabilidad práctica de este estudio se basa en el conocimiento de los parámetros clave del Perfil F-v en entrenamiento específico. El cálculo y la determinación de la carga óptima que maximiza la potencia en el entrenamiento específico de arrastres facilitan la organización y programación de los entrenamientos a lo largo de una temporada. Consecuentemente, esta forma de trabajar puede permitir conocer los efectos que esta teniendo el entrenamiento basado en el perfil fuerza velocidad. Además, este estudio propone una nueva aplicabilidad práctica como es el control de la pérdida de salto vertical, que proporciona una información totalmente válida y específica para poder controlar y dosificar en el entrenamiento específico de arrastres y tomar decisiones cuando se compruebe un importante descenso en la producción de fuerza horizontal (F_0). De esta forma, este estudio junto con el realizado por Cross et al., (2017) propone una nueva perspectiva en el control del entrenamiento específico a través de la determinación de la carga que optimiza la máxima potencia y propone una nueva perspectiva de control de las variables determinantes de la carrera de velocidad a

través de la pérdida del salto vertical. Para finalizar, este estudio está en concordancia con el estudio I de esta tesis integrando el uso de una nueva perspectiva para el entrenamiento de la carrera de velocidad, como es el Perfil F-v, no solo en entrenamientos específicos como es la carrera de velocidad sino cómo también se puede extrapolar al uso específico de los arrastres, donde siempre ha existido una gran controversia. Gracias a ello, los entrenadores deben considerar como necesario la determinación de la potencia óptima de sus atletas a través del Perfil F-v. Asimismo, el registro y control de la pérdida de salto, que además de dar información sobre el grado de fatiga, proporcione información sobre los parámetros clave del Perfil F-v y de esta forma tomar decisiones (dosificar cargas o interrumpir el entrenamiento) debido a un descenso en la producción de fuerza horizontal.

ESTUDIO III EFECTOS MECÁNICOS, METABÓLICOS Y ESTABILOMÉTRICOS DE UN ENTRENAMIENTO ESPECÍFICO DE RESISTENCIA A LA VELOCIDAD

Los **principales hallazgos** del presente estudio muestran una importante relación entre los efectos mecánico y metabólico agudos tras repetir carreras de velocidad de 80 metros en lo que se considera un entrenamiento típico de velocidad o resistencia a la velocidad, comúnmente utilizado en los periodos de preparación específica en velocistas especialistas desde 100 a 400 metros. Asimismo, estos hallazgos presentan una relación con otros parámetros muy importantes a tener en cuenta en referencia a la prevención de lesiones como son los parámetros de estabilidad postural.

El objetivo al diseñar este estudio fue poder estudiar los temas que ya se habían tratado anteriormente en la literatura sobre la especificidad y utilidad del salto vertical como una herramienta para el control y la dosificación de la carga en el entrenamiento de las carreras de velocidad (Jiménez-Reyes, et al., 2011). La novedad en el presente estudio fue programar un entrenamiento que habitualmente es realizado por los velocistas de las distintas especialidades (de 100 a 400 metros) y que se conoce como entrenamiento de resistencia específica o resistencia a la velocidad (Vittori, 1990, 1996; Rusko et al., 1993; Nummela et al., 1992; Lacour et al., 1990; Hirvonen et al., 1992). El entrenamiento de nuestro estudio consistía en la repetición de 8 carreras de 80 metros a la máxima velocidad con una recuperación de 4 minutos, lo que podría considerarse una recuperación incompleta y por ello permitiría incidir sobre los parámetros fisiológicos que podrían contribuir a una mejora de la capacidad anaeróbica (Gorostiaga et al., 2010; Hanon et al., 2005; Vittori, 1990, 1996; Rusko et al., 1993; Nummela et al., 1992; Lacour et al., 1990; Hirvonen et al., 1992) mejorando esta vía de obtención de energía específica para el rendimiento en dichas disciplinas. Recientemente se había estudiado en la literatura esta temática, pero se utilizaron recuperaciones completas y se propuso un límite para interrumpir las sesiones de entrenamiento, este límite propuesto para interrumpir las sesiones de entrenamiento de carreras de 40, 60 y 80 metros (Jimenez-Reyes et al., 2016) fue de un 3% de pérdida de velocidad. Por ello, podríamos considerar que este es el

primer estudio que analiza la respuesta aguda a lo que se podría considerar un entrenamiento típico de resistencia a la velocidad, en este caso en una distancia de 80 m, en el que se realizan repeticiones a la máxima velocidad con programación previa del número de repeticiones a realizar. En este caso se programa la carga externa para interrumpir el entrenamiento (8 carreras) y se analiza la carga interna que provoca dicha carga externa para cada sujeto. A priori podríamos pensar que el grado de fatiga será muy diferente para todos los sujetos al acabar la sesión de entrenamiento de 8 carreras, ya que no se ha tenido en cuenta un criterio de carga interna para interrumpir la sesión en todos los participantes. Sin embargo, al tratarse de un entrenamiento típico del entrenamiento de los velocistas, hemos podido comprobar cómo se sigue la tendencia estudiada recientemente en la literatura (Jiménez-Reyes et al., 2016), alcanzando valores similares en el grado de fatiga.

En la literatura se ha analizado el efecto agudo de los entrenamientos de sprint desde una doble perspectiva, una perspectiva en la que el número de repeticiones realizadas fue el mismo para todos los sujetos (Glaister, 2005; Morin et al., 2011), sin tener en cuenta la fatiga que provocaba en cada caso, aunque no se estudió la respuesta mecánica ni la metabólica, centrándose sobre la pérdida de rendimiento en base a la pérdida de velocidad que se produce después de la última repetición, y por tanto significan distinto grado de esfuerzo o fatiga. Y una segunda perspectiva, en la que se estudia y analiza el efecto agudo del entrenamiento cuando se pierde un mismo porcentaje de velocidad para todos los sujetos, controlando para ello la altura del salto vertical durante el entrenamiento y la estimación del estrés metabólico y la fatiga neuromuscular producida por dicho entrenamiento de sprint (Jiménez-Reyes et al., 2016).

En línea con los 2 estudios previos de esta tesis, en los que se ha pretendido abordar una problemática eminentemente práctica de la que puedan surgir herramientas para el uso diario y la integración en los procesos de entrenamiento para los entrenadores, en este tercer estudio el interés ha sido el mismo. Por ello se pretendió estudiar una cuestión ampliamente analizada y utilizada desde la perspectiva práctica como es el uso del salto vertical como herramienta para el control del entrenamiento en velocidad, pero siempre se había abordado teniendo en cuenta un criterio fijo de pérdida de velocidad y no utilizando uno de los entrenamientos que podríamos considerar más típico y

habituales desde una perspectiva práctica del entrenamiento como el de resistencia a la velocidad. Por ello, parecía interesante abordar la misma perspectiva que Jiménez-Reyes et al., (2010, 2012, 2014, 2016) han seguido en los últimos años e intentar profundizar en la utilidad de esta perspectiva también en entrenamientos en los que se fija el número de repeticiones ya que se suele utilizar en momentos de la temporada más alejados de la competición y en los que se requiere una determinada dosis de fatiga para crear las condiciones necesarias para la mejora de los procesos de obtención de energía glucolíticos (Gorostiaga et al., 2010; Hanon et al., 2005; Vittori, 1990, 1996; Rusko et al., 1993; Nummela et al., 1992; Lacour et al., 1990; Hirvonen et al., 1992).

Lo más interesante de este estudio ha sido que la respuesta metabólica y mecánica sigue los mismos parámetros y mecanismos que en los estudios de Jiménez-Reyes et al., (2016), en los que se fijó un criterio de interrupción de las sesiones de entrenamiento, y por consiguiente, se realizaba un número variable y diferente de repeticiones de los sujetos. Sorprendentemente, la tendencia para las carreras de 80 metros ha sido similar, y estos hallazgos corroboran lo estudiado previamente, añadiendo un valor al uso de la pérdida de salto para el control del entrenamiento en el sprint, tanto desde una perspectiva fija para la dosificación del entrenamiento como para una perspectiva en la que se individualiza el entrenamiento en función de un criterio. Es necesario destacar que este tipo de entrenamiento de resistencia a la velocidad es muy habitual, y, podríamos indicar que necesario en ciertos momentos de preparación de la temporada, por lo que junto a esta forma de abordar el análisis de los efectos de dicho tipo de entrenamiento también incluimos el análisis de cualidades físicas más cualitativas como la estabilidad postural, lo que podría arrojar nueva información sobre el uso y utilidad de la capacidad de salto.

En nuestro estudio pudimos analizar los tiempos parciales a 20, 40, 60 y 80 metros en cada una de las carreras realizadas, lo que nos aporta una información muy interesante sobre la distribución de las pérdidas en base a los citados parciales, lo que será una información sobre cómo evoluciona la capacidad del sujeto para repetir las carreras de velocidad en base a la fatiga que dicha sesión va provocando. En línea con esto, en nuestro estudio hemos podido observar que la pérdida de velocidad o el descenso de rendimiento en 80 metros es proporcionalmente superior de manera significativa en la fase de máxima

velocidad (de 40 a 60 y de 60 a 80 metros) que en la fase acelerativa (de 0 a 20 y de 0 a 40 metros). Hasta el momento, la pérdida de distancias parciales dentro de la distancia total recorrida en sprints repetidos, no ha sido recogida en ningún estudio. Que la duración de la contracción muscular aumente con el incremento de la fatiga, podría ser una viable explicación a la distribución de estas pérdidas, ya que significaría un mayor tiempo de contacto en la carrera (Chapman, 1982; Sprague & Mann, 1983). Sabiendo que la fatiga se muestra en mayor medida en la RFD que en el pico máximo de fuerza (Hakkinen et al., 1986 y 1989; González-Badillo & Gorostiaga, 1995), es decir, cuanto menor es el tiempo disponible, más se manifiesta para aplicar fuerza. Así que, el hecho de que el tiempo disponible para aplicar fuerza sea menor durante la fase de máxima velocidad y que además, la producción de fuerza en la unidad de tiempo (RFD) ha de ser mayor que en la fase de aceleración, podría ser la explicación a la mayor pérdida porcentual observada en esta fase. Los trabajos de Weyand et al., (2010) y González-Badillo & Ribas, (2002) estarían en línea con lo descrito anteriormente, ya que destacan el tiempo disponible para aplicar altos valores de fuerza en la fase de apoyo como uno de los factores determinantes en el rendimiento en carrera a máxima velocidad.

En lo que respecta al empleo del salto vertical, este ha sido ampliamente utilizado para la evaluación del rendimiento explosivo en diferentes especialidades deportivas, aunque en los últimos años también ha sido utilizado para comprobar el grado de fatiga neuromuscular provocado por diferentes acciones de carácter explosivo y alta intensidad. Ante la repetición de este tipo de esfuerzos (como podrían ser las carreras de velocidad) se produce un determinado grado de fatiga, y si es bien conocido que el efecto de la fatiga se produce por la disminución en la producción de fuerza en la unidad de tiempo, entonces, el uso del salto vertical antes y después de la realización o repetición de estas tareas podría servir como el resultado que refleja el efecto del entrenamiento o la carga de trabajo. Es bien sabido que los movimientos que implican el denominado ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) incorporan elementos metabólicos, mecánicos y neuronales relacionados con la fatiga junto con el deterioro de la activación del reflejo de estiramiento (Nicol et al., 2006). El CMJ se ha usado normalmente para evaluar el CEA y el rendimiento atlético (Cormack et al., 2008; Hoffman et al., 2005; Hoffman et al., 2002; Thorlund et al., 2009), y

aunque también hay datos sobre el uso del CMJ para determinar el efecto de las típicas sesiones de entrenamiento de fuerza o velocidad sobre la fatiga neuromuscular en el entrenamiento, no ha sido empleado en sesiones de resistencia a la velocidad.

La disminución del CMJ después de la última serie aumentó significativamente a medida que se realizaron las 8 carreras programadas. Estas pérdidas oscilaron entre el 18% y el 22%. Por tanto, estos resultados indican que, aunque el número de carreras realizadas es el mismo, la pérdida porcentual en rendimiento en CMJ fue variable.

La depleción de ATP y PCr explicarían la pérdida de altura de salto en las repeticiones de las carreras de 80 metros. En estudios que hemos encontrado con características semejantes al nuestro (Jansson et al., 1987; Stathis et al., 1994; Gorostiaga et al., 2010, se observa la relación entre el descenso de rendimiento en salto vertical y el incremento de la concentración de amonio en sangre sobre los valores de reposo. Esto indicaría que el contenido de ATP esquelético está reducido al final del ejercicio y que se ha puesto en marcha la vía de urgencia (ADP+ADP) de la producción de energía (Stathis et al., 1994). Balsom et al., (1992a; 1992b) también estudió el efecto de diferentes tiempos de recuperación al realizar sprints sobre 15, 30 y 40 metros y entre sprints repetidos de 40 metros, y hallaron un aumento de la hipoxantina y el ácido úrico, que son el resultado final de la vía de urgencia de producción de energía mencionada anteriormente. Dadas las semejanzas, los hallazgos encontrados en estos trabajos podrían ser aplicados a este estudio de investigación.

Debido a la relación directa ($r = 0.74$; $p < 0.05$) entre el grado de recuperación de la PCr tras un periodo de recuperación y la consiguiente recuperación del rendimiento, expresado como porcentaje de la potencia media desarrollada (Bogdanis et al., 1995), las actividades de sprint máximo que requieren una importante contribución de PCr para proporcionar energía, se verían afectadas por la disponibilidad de PCr en el músculo. Estos autores hallaron una relación de $r = 0.86$ ($p < 0.05$) entre la resíntesis de la PCr y la recuperación de la potencia en sprint, sugiriendo que la recuperación de los valores de fuerza explosiva (RFD) durante los primeros minutos de recuperación de este tipo de ejercicio también podría dar una idea del grado de recuperación de las reservas musculares de PCr. Estos resultados nos permiten sugerir que la depleción de PCr también está en la

base de las pérdidas de velocidad y de altura de salto observadas en nuestro estudio.

La reducción de la fuerza y la rigidez músculo-tendinosa de las extremidades inferiores estarían relacionadas con la pérdidas de velocidad y altura del salto (Toumi et al., 2006). De acorde con esto, Nummela et al., (1992), expresaron la fatiga como la disminución de la frecuencia de zancada, la velocidad de carrera y la disminución de la capacidad de salto en el DJ, que son expresiones de fuerza y rigidez muscular. En este estudio, la disminución de salto inmediatamente después de correr fue de un 8.2% en 100m y un 8.7% en 200m, mientras que tras correr 300 y 400m disminuyó un 15.6% y 25.4% respectivamente. Dadas las características del esfuerzo realizado en nuestro estudio, sugerimos que la fatiga producida (pérdida de velocidad) por las series repetidas de velocidad se ha manifestado por la disminución de la RFDmáx y la velocidad de acortamiento muscular, factores determinantes de la altura del salto. La velocidad de acortamiento muscular necesariamente ha tenido que disminuir, puesto que la altura del salto depende directamente de la velocidad de despegue, y la velocidad de despegue es directamente proporcional a la velocidad de acortamiento muscular en la fase concéntrica del salto. Si nos referimos a la RFDmáx, es notable la influencia de la fatiga sobre la producción de fuerza en la unidad de tiempo, puesto que la altura del salto está altamente relacionada con esta variable ($r=0.81$, González Badillo, datos no publicados). Hasta ahora, según Mendez-Villanueva et al., (2007) no se han identificado los factores más importantes responsables de la fatiga muscular durante los sprints repetidos. Habitualmente, en ejercicios de corta duración, se acepta que la fatiga está causada principalmente por factores metabólicos y sus metabolitos (Billaut&Basset, 2007), y se ha sugerido que uno de los mecanismos de la fatiga en este tipo de actividades intermitentes y de máxima intensidad es una insuficiente resíntesis de los fosfatos intramusculares de alta energía (Balsom et al., 1992). Además, se ha sugerido que la incapacidad para reproducir el rendimiento en sprints sucesivos, se debe a cambios dentro del músculo (Glaister, 2005). Por esta línea, se propone como mecanismos responsables, la acumulación de metabolitos (Bishop et al., 2004), la degradación de la fosfocreatina (Glaister, 2005) o la influencia negativa sobre el mecanismo de contracción-relajación (Ortenbland et al., 2000). Los ajustes neurales tales como la reducción de la conducción nerviosa

del sistema hacia la musculatura activa (Drust et al., 2005; Racinais et al., 2007), la reducción de la activación muscular (Kinugasa et al., 2004; Racinais et al., 2007) y alteraciones en la coordinación muscular (Billaut et al., 2005) también se consideran relacionadas con el desarrollo de la fatiga durante los sprints repetidos. Por tanto, para el control de las cargas del entrenamiento, el CMJ sería una herramienta muy útil, ya que las pérdidas en el salto, serían un buen indicador de la fatiga por las pérdidas en CMJ se podrían considerar como un buen indicador de la fatiga por depender muy directamente, al igual que los sprints, de estos factores neurales y por su relación con las carreras repetidas.

La disminución del salto en CMJ mostró una diferencia significativa con respecto a la altura previa, al igual que el lactato final respecto al inicial, en todas las distancias (Tabla 15). La concentración de lactato mostró una clara tendencia a aumentar a pesar del descenso de rendimiento en las diferentes carreras realizadas. Estos resultados son similares a los de Rusko et al., (1993), que también usaron las pérdidas de altura en CMJ para evaluar la capacidad de generar fuerza de los sujetos y como un indicativo de la fatiga producida durante el test. En este estudio, el mayor valor de CMJ se dio en el cuarto sprint, cuando los valores de lactato no habían llegado a los $5\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ y empezó a disminuir de forma significativa a partir del octavo sprint (17,6% respecto al primer sprint) cuando los valores de lactato eran de $10.5\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. En nuestro estudio, se encontró una tendencia semejante, aunque hay que resaltar que las concentraciones de lactato en el nuestro fueron superiores a las encontradas en este estudio.

Nummela et al., (1992) hallaron una relación negativa significativa entre la pérdida de altura de salto y la concentración de lactato ($r = -0,77$, $p < 0,001$) cuando comprobaban el efecto de la carrera sobre el DJ. En nuestro caso se ha dado una relación significativa ligeramente superior entre las pérdidas de altura y los cambios en la concentración de lactato con respecto a los valores alcanzados después de la primera carrera y la última. En el presente estudio hemos medido las concentraciones de lactato post-ejercicio con el objetivo de cuantificar el grado de esfuerzo que supone la repetición de carreras realizadas a máxima velocidad en la distancia de 80 metros. Es interesante remarcar que en nuestro estudio se midieron las concentraciones de lactato y amonio tras cada una de las repeticiones realizadas, por lo que tenemos una tendencia clara de la respuesta fisiológica provocada por la repetición de estos esfuerzos (tabla 15). Además de la medición

de lactato, en nuestro estudio, medimos también las concentraciones de amonio en sangre al terminar cada una de las carreras realizadas. El aumento de la concentración de amonio en sangre al realizar esfuerzos de alta intensidad es un reflejo del grado de esfuerzo realizado. El incremento de la concentración de amonio en sangre se ha producido habitualmente de manera curvilínea o lineal, dependiendo de las características del ejercicio realizado. Hemos encontrado una relación no lineal en los estudios de (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011; Gorostiaga et al., 2010; Banister et al., 1983; Buono et al., 1984; Eriksson et al., 1985; Roeykens et al., 1998; Sewell et al., 1994) y otros en los que esta relación ha sido lineal como el trabajo de Itoh y Ohkuwa (1991) y Jiménez-Reyes et al., 2016, estudio realizado con sprinters y donde encontraron una relación lineal entre el descenso del rendimiento y entre la relación del lactato y el amonio. En relación con el amonio y su uso como indicador de fatiga en esfuerzos de alta intensidad, es necesario resaltar que la resíntesis del mismo en el músculo es un proceso lento que requiere mucha energía (Stathis et al., 1994), con lo que el rendimiento muscular tras sesiones de corta duración y alta intensidad (ej. series de sprints repetidos) podría permanecer disminuido durante un tiempo considerable, desde varias horas a algunos días, incluso aunque los niveles de PCr hayan retornado a valores normales (Hellsten-Westing et al., 1993, 1994; Stathis et al., 1994). Esto supondría que el ritmo de regeneración del pool de nucleótidos de adenina no sería suficiente para devolver dicho pool a su estado normal antes del entrenamiento del día siguiente (Brault&Terjung, 2001). Por consiguiente, tras sesiones repetidas de ejercicio de alta intensidad la pérdida de purinas puede dar lugar a una reducción crónica del contenido de ATP del músculo (Stathis et al., 1999).

Algunos trabajos también han encontrado relación entre la concentración de lactato y amonio durante el ejercicio incremental (Bouckaert&Pannier, 1995; Buono et al., 1984; Dudley et al., 1983), o tras diferentes esfuerzos de corta duración (15 - 45 s) y alta intensidad (Jiménez-Reyes et al 2016; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011; Gorostiaga et al., 2010; Itoh&Ohkuwa, 1991). En nuestro caso también se han encontrado estas relaciones, siendo altamente significativas para cada uno de los sujetos (Tabla 15 y figuras e 31y e34).

El principal hallazgo de nuestro estudio teniendo en cuenta las relaciones obtenidas en las variables metabólicas (concentración de lactato y amonio en sangre) y mecánicas (pérdida de altura de salto tras realizar los esfuerzos repetidos de carrera a máxima velocidad), es que se podría validar el uso de estas variables como indicadores de la fatiga neuromuscular al realizar este tipo de esfuerzos. Dado que los valores de lactato presentaron una relación muy alta con las citadas pérdidas mecánicas de altura de salto ($r = 0,96$), así como los de amonio ($r = 0,97$) y la propia relación entre lactato y amonio ($r = 0,99$) (Tabla 15), es razonable admitir que la concentración de lactato y amonio, así como el CMJ, pueden considerarse como un buen indicador del grado de esfuerzo realizado por el sujeto y, por tanto, de la fatiga producida cuando se realizan esfuerzos repetidos de carrera a máxima velocidad.

En nuestro estudio, se ha utilizado la pérdida de salto en CMJ como la principal variable mecánica que refleje el grado de fatiga provocado por la repetición de este tipo de esfuerzos. En otros estudios han usado otras variables mecánicas como la disminución de la capacidad de realizar una contracción voluntaria máxima (Morin et al., 2011), en otros se ha encontrado un descenso en la aplicación de fuerza en carrera (Bundle&Weyand, 2012; Morin et al., 2011, 2012), mientras que en otros estudios ha sido la disminución de las fuerzas verticales de reacción contra el suelo (GRFs – ground reaction forces) (Morin et al., 2011, 2012), la orientación de aplicación de la fuerza en el sprint (Morin et al., 2011, 2012), el índice técnico de aplicación de fuerza (Morin et al., 2011, 2012) y el stiffness vertical durante el sprint (Morin et al., 2006, 2011, 2012).

Esta fatiga mecánica ha sido evaluada a través de la disminución de la capacidad de salto en diferentes estudios, aunque existe cierta controversia respecto al uso del salto como indicador de la fatiga. Esta controversia está relacionada con los movimientos que implican el CEA, ya que incorporan elementos metabólicos, mecánicos y neuronales relacionados con la fatiga junto con el deterioro de la activación del reflejo de estiramiento (Nicol et al., 2006). Y aunque el CMJ se ha usado normalmente para evaluar el CEA y el rendimiento atlético (Cormack et al., 2008; Hoffman et al., 2005; Hoffman et al., 2002; Thorlund et al., 2009), hay datos limitados sobre el uso del CMJ para determinar el efecto de

las típicas sesiones de entrenamiento de velocidad sobre la fatiga neuromuscular en el entrenamiento. Sólo hemos encontrado 3 trabajos (Gorostiaga et al., 2010; Nummela et al., 1992; Rusko et al., 1993) en los que usen el salto para evaluar el efecto de diferentes series de carrera de velocidad sobre la fatiga neuromuscular, y solo en dos de ellos (Gorostiaga et al., 2010; Rusko et al., 1993) han usado el CMJ, mientras que en otro de los estudios han utilizado el dropjump (Nummela et al., 1992). Otros estudios (Smilios, 1998; Rodacki et al., 2002; Skurvydas et al., 2000; Nummela et al., 1992; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011; Romero-Franco & Jiménez-Reyes, 2015) han utilizado el CMJ para comprobar el efecto de diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza sobre la fatiga neuromuscular a través del CMJ. También hemos encontrado otros estudios en fútbol, fútbol americano y balonmano en los que usan el CMJ como indicador del grado de fatiga provocado por un partido en los respectivos deportes (McLellan et al., 2010; Cormack et al., 2008; Hoffman et al., 2005; Hoffman et al., 2002; Thorlund et al., 2009). Los resultados presentan cierta controversia, ya que mientras en fútbol americano (Cormack et al., 2008) observaron cambios significativos tras un partido en el pico de potencia, el pico de fuerza y la RFD en un CMJ tras un partido, en balonmano (Thorlund et al., 2009) no se registraron cambios significativos en estas variables, y en fútbol tampoco (McLellan et al., 2010) observaron diferencias significativas en dichas variables.

A pesar de estas discrepancias, y en vista de nuestros resultados, podríamos corroborar la importante utilidad práctica del uso del CMJ para el entrenamiento. Por tanto, estos resultados sugieren que controlando el CMJ se puede estimar el estrés metabólico que se está produciendo durante el esfuerzo, proporcionando una información razonablemente precisa para tomar la decisión sobre el momento en el que el sujeto debería interrumpir la sesión de entrenamiento, como indicativos de la fatiga neuromuscular producida y la estimación del grado de estrés metabólico provocado.

La probable validez predictiva de la pérdida de capacidad de salto, y de todas las variables relacionadas con la ejecución del mismo, como indicador de la fatiga viene reforzada por la alta correlación que hemos encontrado entre esta variable y el estrés metabólico, representado por la concentración de lactato y amonio después de cada esfuerzo. Además, esta capacidad predictiva del salto también viene apoyada por la relación entre la pérdida de velocidad en la carrera,

indicador directo de la fatiga (Allen et al., 2008), y las variables metabólicas y la pérdida de salto. Por tanto, un resultado específico de nuestro estudio ha sido la alta relación de las pérdidas de velocidad y de salto con la concentración de lactato y amonio en cada uno de los deportistas que participaron en el estudio.

Además de las variables metabólicas y mecánicas referentes a capacidades físicas más cuantitativas como el salto y la velocidad, el presente estudio también ha considerado capacidades físicas cualitativas muy relacionadas con la prevención de lesiones como la estabilidad postural. Nuestros resultados muestran que a pesar de la fatiga reflejada en la disminución progresiva de salto vertical y la reducción significativa de rendimiento en la velocidad de carrera, o los elevados valores de lactato y amonio, la estabilidad postural no es influenciada de forma significativa en ninguno de sus parámetros. En este sentido, el test de estabilidad postural monopodal arroja dos tipos de variables: de dispersión, las cuales muestran las características del recorrido que realiza el centro de presiones durante la prueba, siendo estas la longitud, velocidad y área; y de posicionamiento, las cuales informan de la localización media del centro de presiones durante la prueba, ya sea en el plano mediolateral referida a X_{media} o al plano anteroposterior referida a Y_{media} . En ninguna de las dos tipologías hemos observado aumentos significativos de los valores, lo cual habría significado aumentos en el balanceo postural o alteraciones del posicionamiento. En este sentido, hay muy pocos estudios hasta el momento que evalúen los efectos de un entrenamiento extenuante consistente en carreras repetidas en la estabilidad postural de atletas. Uno de los estudios más similares es el realizado por Romero-Franco et al., (2015), donde evaluaron la influencia de un entrenamiento basado en cuatro carreras de 300 m a una intensidad submáxima (95%) en los parámetros de estabilidad postural de atletas velocistas. A diferencia de nuestros resultados, estos autores observaron un deterioro de los parámetros de dispersión del recorrido del centro de presiones justo después de la consecución del entrenamiento de cuatro carreras de 300 m, que además se mantenía transcurridos treinta minutos. A pesar de que los valores de lactato alcanzados por los participantes de nuestro estudio se asemejan a los reportados en este estudio, el deterioro no se hizo visible de forma semejante. Debemos destacar las diferencias importantes que separan a nuestro estudio del realizado por Romero-Franco et al., (2015), siendo la principal y más importante diferencia

el tipo de intervención: mientras que estos autores consideraron cuatro carreras de 300 metros, nosotros incluimos ocho carreras de 80 metros. Es necesario tener en cuenta las diferencias metabólicas y mecánicas entre ambos tipos de distancias. De hecho, estas diferencias son mostradas incluso en nuestro propio estudio, donde el tiempo en recorrer las distancias más cortas de 20 metros solo eran influenciadas tras realizar las ocho carreras de 80 metros, mientras que solo eran necesarias cuatro carreras para influir de forma significativa en los 60 y 80 metros de carrera. Podemos observar entonces, que las carreras más influenciadas a nivel de rendimiento son las más largas y por tanto, las que menos tiempo de apoyo disponen para ejercer fuerza. En este mismo sentido, las diferencias mecánicas son aún más importantes si comparamos las carreras de 80 metros con las de 300 metros realizadas en el estudio de Romero-Franco et al., (2015). Es difícil por tanto hacer una comparación de los efectos de entrenamientos tan distintos a priori. Asumiendo dichas diferencias, otro estudio que realizó repetición de carreras como entrenamiento extenuante para observar su influencia en la estabilidad postural de atletas fue el realizado por Fox et al. (Fox et al., 2008). En este estudio, atletas universitarios realizaron un entrenamiento anaeróbico en el que los atletas recorrían una distancia de 20 metros a velocidad máxima en ida y vuelta, tantas veces como fuera posible durante 2 minutos. Los resultados de este estudio mostraron que la estabilidad postural era afectada de forma significativa en todas sus variables, aunque era totalmente recuperada a los 13 minutos del término del entrenamiento. De nuevo, el entrenamiento no es comparable a la intervención realizada en el presente estudio, dado que las distancias y la recuperación entre las carreras eran considerablemente diferentes (carreras de 20 metros sin recuperación vs ocho carreras de 80 metros con recuperación de 4 minutos).

Si tenemos en cuenta las variables metabólicas, la acumulación de lactato no pareció ser influyente en nuestros atletas, apoyando así los resultados mostrados en el estudio de Surenkok et al., en 2006, donde no se mostraron correlaciones significativas entre los niveles de lactato sanguíneo y la estabilidad postural, tras la realización de un protocolo de ejercicios en dinamómetro isocinético (Surenkok et al., 2006). De este modo, los resultados del presente estudio reiteran la falta de correlación de la estabilidad postural con las variables metabólicas como el lactato sanguíneo y/o el amonio. Hemos de destacar que la estabilidad postural es una variable con un comportamiento irregular y sensible a

otros muchos factores como la hora del día, temperatura exterior, entre otros. Por ello y dada la escasez de estudios que evalúen los efectos de protocolos de entrenamiento extenuantes basados en alta intensidad en la estabilidad postural, son necesarios más estudios que arrojen luz sobre la influencia de entrenamientos extenuantes en la estabilidad postural.

Hasta el momento, además de los estudios mencionados como los que más se asemejan a la presente investigación, existen autores que han evaluado la influencia de protocolos extenuantes en la estabilidad postural basados en la realización de ejercicios menos intensos y más prolongados en el tiempo como una prueba de ironman o partidos de fútbol (Brito et al., 2012; Lepers et al., 1997). Parece ser que la inclusión de protocolos más prolongados, aunque de menor intensidad, supone una estimulación continua más influyente en el procesamiento central de la información que se refleja de forma significativa en los parámetros estabilométricos, al contrario de lo que ocurre con protocolos más cortos y más intensos, donde el deterioro no es tan claro y tiende a recuperarse antes (Paillard, 2012).

Es importante la evaluación de la estabilidad postural y su monitorización de acuerdo a la fatiga del deportista puesto que ha mostrado ser una prueba de predicción de lesiones en numerosos estudios. Algunos autores como McGuine et al., (2000) o Soderman et al., (2001) quienes observaron que aquellos jugadores de baloncesto o jugadoras de fútbol, respectivamente, que tenían peor estabilidad postural unipodal durante la pretemporada, después sufrían mayor número de esguinces de tobillo durante la temporada. Similares resultados mostró el estudio de Romero-Franco et al., (2014), donde la muestra eran atletas y las lesiones consideradas fueron cualquiera de origen musculoesquelético que hiciera al deportista abandonar o modificar dos entrenamientos o más. Estos autores realizaron un seguimiento de la totalidad de la temporada invernal de atletas, mostrando peores valores estabilométricos de dispersión y de posicionamiento aquellos atletas con mayor número de lesiones a lo largo de los periodos de entrenamiento posteriores.

En cuanto a las aplicaciones directas a la práctica de nuestros principales hallazgos, debemos considerar la inclusión del uso del salto vertical y la pérdida de salto como parte del control y dosificación del entrenamiento de las sesiones de velocidad, ya que las pérdidas en CMJ se podrían considerar como un buen

indicador de la fatiga por depender muy directamente, al igual que los sprints, de factores neurales, pudiendo estimar el estrés metabólico a través del mismo.

Desde esta perspectiva práctica, se amplían las posibilidades de obtener información y controlar el entrenamiento para los entrenadores, ya que si durante una sesión de entrenamiento no se puede medir de manera precisa la velocidad, ni la concentración de lactato o amonio, el test de CMJ debe ser utilizado para el control y dosificación de la carga, porque la reducción de la capacidad de producción de fuerza en la unidad de tiempo, factor determinante de la velocidad, viene expresada por la pérdida de altura en el salto vertical. Por tanto, la pérdida de altura en el salto nos proporciona una información razonablemente precisa para tomar la decisión sobre el momento en el que el sujeto debería interrumpir la sesión de entrenamiento.

Por otra parte, los resultados mostrados en los parámetros estabilométricos de dispersión y posicionamiento del centro de presiones nos apoyan en la inclusión de esta tipología de entrenamiento en velocistas, sin aumentar el riesgo lesivo por aumento del balanceo postural. Además, en este estudio mostramos que las variables metabólicas no tienen por qué no conllevar en sí mismos una afectación directa y clara de la estabilidad postural, reiterando los hallazgos mostrados por estudios previos. Sin embargo, son necesarios más estudios para concretar qué características de los entrenamientos extenuantes son las responsables del deterioro estabilométrico que podría poner en riesgo a nuestros deportistas.

VII - CONCLUSIONES

VII - CONCLUSIONES

⊙ Los saltos horizontales de mayor número de apoyos y menor tiempo disponible para la aplicación de fuerza explican en mayor medida el rendimiento de carreras de más distancia, donde la v_0 es un factor clave. Por otro lado, los saltos horizontales con menor número de apoyos y mayor tiempo para la aplicación de fuerza son las que influyen directamente en el rendimiento de carreras más cortas, donde la F_0 es el factor clave (estudio I).

⊙ Los saltos horizontales correlacionan directamente en un contexto específico con las variables del Perfil F-v donde los saltos con menos contactos y más tiempo de aplicación de fuerza se correlacionan altamente con la F_0 y los saltos con más número de contactos muestran altas correlaciones con la v_0 (estudio I).

⊙ el uso del salto vertical puede ser un indicador válido para el conocimiento del descenso en la aplicación de fuerza horizontal durante un entrenamiento específico de carreras de velocidad con sobrecargas con arrastres (estudio II).

⊙ La carga óptima para el uso de las sobrecarga en el entrenamiento específico de velocidad se encuentra en el 65% del peso corporal (estudio II).

⊙ La 1RM no supone información suficiente para comprobar el descenso de aplicación de fuerza horizontal en los entrenamientos de velocidad con sobrecargas con arrastres (estudio II).

⊙ La realización de carreras repetidas de 80 metros aumenta de forma progresiva los niveles de lactato y amonio, disminuyendo a la vez la capacidad de salto vertical, aunque sin ningún efecto en la estabilidad postural (estudio III).

⊙ La pérdida de salto vertical durante el entrenamiento de carreras repetidas de velocidad es un indicador válido y fiable para comprobar el grado de estrés metabólico y mecánico (estudio III).

⊙ La fatiga derivada de la realización de carreras repetidas afecta principalmente al rendimiento en las distancias más largas empleadas (80 y 60

metros), siendo necesaria la repetición de más número de carreras para la afectación de distancias más cortas (20 y 40 metros) (estudio III).

**VIII – LIMITACIONES Y
FUTURAS LÍNEAS DE
INVESTIGACIÓN**

VIII –LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez finalizados los estudios que completan el presente trabajo y tras el análisis pormenorizado de los estudios que componen esta tesis, debemos considerar ciertas limitaciones que hemos detectado con la pretensión de mejorar la calidad de los futuros trabajos.

En primer lugar se destaca la heterogeneidad de la muestra, lo cual ha impedido su comparación directa con los escasos estudios realizados hasta el momento en base a los factores evaluados. También hemos de mencionar que otra limitación ha sido la elección de los multisaltos elegidos en el estudio. A pesar de la constante variabilidad en las formas de aplicación de estos saltos y las diferentes corrientes que recomiendan unos saltos y otros sin base científica, son pocos los investigadores que han intentado explicar y racionalizar el uso de los diferentes test de salto (Moura & Moura, 2001). Esta falta de apoyo científico y controversia entre los autores hacen que sea difícil detallar qué saltos emplear, cuándo incluirlos y con qué objetivo de cara al entrenamiento del deportista para el rendimiento óptimo.

Teniendo en cuenta las limitaciones encontradas y tras una ardua labor de reflexión acerca de los resultados observados en nuestras investigaciones, siempre teniendo en cuenta la aplicabilidad práctica para el entrenamiento deportivo óptimo, pensamos que sería conveniente profundizar en algunos aspectos relacionados con el estrés metabólico y mecánico provocado por otro tipo de cargas empleadas por los deportistas. Este sería el caso de otras sesiones de entrenamiento de velocidad, como el trabajo de velocidad prolongada, con la posibilidad de diferenciar los efectos producidos en diferentes atletas corredores de mediofondo de 800 m y 1500 m e incluso de fondo. Sería interesante estudiar el efecto de las carreras repetidas realizadas a lo largo de todo el ciclo de entrenamiento y la asimilación por parte del atleta.

Como otras futuras líneas de investigación, proponemos la inclusión de los multisaltos evaluados en el presente trabajo y sus posibles beneficios en

rendimiento si éstos son realizados en diferentes situaciones como sobrecarga o facilitación.

Adicionalmente, dada la importancia reportada de los parámetros F_0 y v_0 en la mejora del rendimiento del velocista, planteamos la necesidad de profundizar en el entrenamiento y mejora de estas variables a través del uso de la carrera con sobrecargas en velocistas con metodologías alternativas a las empleadas en nuestro estudio II.

También pensamos que sería interesante profundizar en el estudio de la dinámica de las cargas de entrenamiento, tanto su evolución a lo largo de todo el ciclo de entrenamiento así como la tendencia en los periodos de competición. Para ello se usarían algunos de los indicadores hallados en la presente Tesis, como el CMJ, así como otros nuevos que ayudaran a los entrenadores a controlar la evolución del rendimiento y determinar así el grado de fatiga producido por diferentes tipologías de ejercicio: levantamiento de pesas, saltos verticales, saltos horizontales, entrenamiento de resistencia aeróbica, etc. Al mismo tiempo, sería recomendable realizar estudios experimentales que aportaran nuevos datos sobre la evolución de la carga de entrenamiento en las semanas previas a las competiciones importantes, a lo cual hemos encontrado dificultades por reticencias de los entrenadores y atletas debido a la cercanía temporal de las competiciones objetivo.

Por su parte, uno de nuestros estudios incluyó el análisis de la estabilidad postural como parámetro complementario a la evaluación del deportista, en este caso relacionado con la predicción de lesiones. Aunque en nuestro estudio no encontramos influencia en esta variable tan importante a nivel de prevención, es importante considerar la realización de futuros estudios que puedan determinar cuáles son las características que hacen que un tipo de ejercicio o de entrenamiento merme la estabilidad postural del deportista, poniéndolo en riesgo. Con nuestros resultados, corroboramos la inexistencia de correlación con las variables metabólicas clásicamente consideradas en la evaluación del atleta, lactato y amonio, lo cual no significa que no existan otras que muestren influencia directa y significativa en los parámetros de estabilidad postural de los atletas y por tanto, en el riesgo lesivo al que éstos se exponen.

IX - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IX – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbis, CR., and Laursen, PB. (2005). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine*; 35:865-898.

Ae, M.; Ito, A., & Suzuki, M. (1992). The men's 100 metres. *New Studies in Athletics*; 7(1), 47-52.

Allen, DG., Lamb, GD., and Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological Reviews*; 88(1):287–332.

Aminian, K., Najafi, B., Büla, C., Leyvraz, P.F., & Robert, P. (2002). Spatiotemporal parameters of gait measured by an ambulatory system using miniature gyroscopes. *Journal of Biomechanics*; 35(5), 689-699.

Andersson, H., Raastad, T., Nilsson, J., Paulsen, G., Garthe, I., Kadi, F. (2008). Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Medicine Science Sports Exercise*; 40:372–380.

Atkinson, G. y Nevill, AM. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*; 26(4):217-238.

Atwater, B. (1982). Kinematic Analyses of Sprinting, Lab Report 13. Biomechanics Laboratory, United States Olympic Training Center, Colorado.

Atwater, A. E. (1992). Kinematic analyses of sprinting. *Track and Field Quarterly Review*; 82:12-16.

Babij, P., Matthews, S.M. & Rennie, M.J (1983). Changes in blood ammonia lactate and amino acids in relation to workload during bicycle ergometer exercise in man. *European Journal of Applied Physiology*; 50:405-411

Baechle, T. R., Earle, R. W. and Wathen, D. 2000. "Resistance training". In *Essentials of strength training and conditioning*, Edited by: Baechle, T. R. and Earle, R. W. 395–425. Champaign, IL: Human Kinetics

Bagirgan, T. (1992). Investigation of efficiency for men sprinters (Turkish). In: *Proceedings of sport Science II. National Congress*. Ankara, Turkey: Hcettepe University, pp. 164-171

Baker, D. & Nance, S. (1999). The Relation Between Running Speed and Measures of Strength and Power in Professional Rugby League Players. *Journal Strength and Conditioning Research*; 13 (3): 230-235

Balsom PD, Seger JY, Sjödín B, Ekblom B (1992a). Maximal intensity exercise: effect of recovery duration. *International Journal of Sports Medicine*; 13:528-33.

Balsom, PD., Seger J., and Sjodin, B. (1992b). Physiological responses to maximal intensity intermittent exercise. *European Journal Of Applied Physiology*; 65, 144-149.

Balyi, I., y Way, R. (2005). The role of monitoring growth in the long term athlete development. *Canadian Sport for Life*. Retrieved from <http://canadiansportforlife.ca/ca/role-monitoring-growth-Itad>

Banister, EW., Allen, ME., Mekjavic, IB., Singh, AK., Legge, B., Mutch, BJC. (1983). The time course of ammonia and lactate accumulation in blood during bicycle exercise. *European Journal Of Applied Physiology*; 51(2): 195-202

Banister, E. W.; Rajendra, W.; Mutch. B. J. (1985). Ammonia as an indicator of exercise stress implications of recent findings to sports medicine. *Sports Medicine, Auckland*, v.2, p.34-36.

Barry, B.K., Enoka, R.M. (2007). The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. *Integrative and exercise, fourth ed.* Champaign, IL: Human Kinetics; 2003. (p.185).

Baughman, M., Takaha, M., Tellez. (1984). "Sprint training. Including strength training". *Track & Field Quarterly Review*. Vol.84(2): 9-12.

Baumann, W. (1976). Kinematic and dynamic characteristics of the sprint start. In P.V. Komi (Ed.), *Biomechanics V-B* (pp. 194-199). Baltimore: University Park Press

Baumgartner, TA. (1989). Norm-referenced measurement: reliability. En Safrit, M.J. and Woods, T.M. (eds) *Measurement concepts in physical education and exercise science*. Champaign (IL): Human Kinetics: 45-72.

Bencke, J., Dansgaard, R., Saekmose, A., Jorgensen, P., Jorgensen, K., and Klausen, K (2002). Anaerobic power and muscle strength characteristics of 11 years old elite and non-elite boys and girls from gymnastics, handball, tennis and swimming. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*; 12, 171-178

Bergamini, E. (2011). Biomechanics of sprint running: a methodological contribution. Biomechanics [physics.med-ph]. Arts et Métiers ParisTech, 2011. English. <NNT : 2011ENAM0013>. <pastel-00591130>

Bezodis I. N., Kerwin D. G., Salo A. I. (2008). Lower-limb mechanics during the support phase of maximum-velocity sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 40, 707–715

Bigland-Ritchie, B., Woods, J.J. (1984). Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle&Nerve*. Volume 7, Issue 9. December 1984 Pages 691–699

Bigland-Ritchie, B., Cafarelli, E., Vollestad, NK. (1986). Fatigue of submaximal static contractions. *Acta Physiologica Scandinavica*.(suppl. 128):137-148.

Billaut, F., Basset, F. A., & Falgairette, G. (2005). Muscle coordination changes during intermittent cycling sprints. *Neuroscience Letters*, 380, 265-269.

Billaut, F. and Basset, FA. (2007). Effect of different recovery patterns on repeated-sprint ability and neuromuscular responses. *Journal of Sports Sciences*; pp. 10.

Bishop, D., Lawrence, S., & Spencer, M. (2003). Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *Journal of Science and Medicine in Sports*; 6, 199–209.

Blazevich, A. & Jenkins, D. (1998). Predicting sprint running times from isokinetic and squat lift tests: a regression analysis. *Journal of Strength Conditioning Research*; 12: 1010-103

Bobbert, MJ., Huijing, P. & Van Ingen, Shenan, GJ. (1987). Drop jumping I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and science sports exercise*; 19:332-338

Bogdanis, GC., Nevill, ME., Lakomy, HKA, et al. (1994). Muscle metabolism during repeated sprint exercise in man. *Journal of Physiology*; 475:25-6.

Bogdanis, GC., Nevill, ME., Boobis, LH., Lakomy, H.K.A. and Nevill, AM. (1995) Recovery of power output and muscle metabolites following 30s of maximal sprint cycling in man. *Journal of Physiology*; (Lond); 15: 467-80.

Bogdanis, G.C., Nevill, M.E, Boobis, L.H., and Lakomy, H.K.A (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology*; 80: 876–884

Boobis, L. H., Williams, C. & Wooton, S. A. (1982). Human muscle metabolism during brief maximal exercise in man. *Journal of Physiology*; 338, 21-22P.

Bosco, C. & Komi, PV. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *European Journal Applied Physiology*; 26 (24): 1-3

Bosco, C., Luhtanen, P. and Komi, PV. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal Applied Physiology Occupational Physiology*; 50 (2): 273-282

Bosco, C. and Vittori, C. (1986). Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. *NSA I*: pp. 39-45

Bouckaert, J., Pannier, J. (1995). Blood ammonia response to treadmill and bicycle exercise in man. *International Journal of Sports Medicine*; 16. p.141-144

Bouten, C.V., Koekkoek, K.T., Verduin, M., Kodde, R., & Janssen, J.D. (1997). A triaxial accelerometer and portable data processing unit for the assessment of daily physical activity. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*; 44(3), 136-147.

Brault, JJ. and Terjung, RL. (2001). Purine salvage to adenine nucleotides in different skeletal muscle fiber types. *Journal of Applied Physiology*; Jul;91(1):231-8.

Bret, C; Rahmani, A; Dufour, AB; Messonnier, L; Lacour, JR. (2002). Leg strength and stiffness as ability factors in 100m sprint running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; Sep;42 (3): 274-81

Brito, J., Fontes, I., Ribeiro, F., Rebelo, A. (2012). Postural stability decreases in elite young soccer players after a competitive soccer match. *Physical Therapy in Sport*; 13(3):175-9

Brooks, V. B. (1983). Motor control how posture and movements are governed. *Physical Therapy*; 63, 664–673

Brughelli, M., & Cronin, J. (2008). A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: methodology and implications. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*; 417-426.

Brughelli, M., Cronin, J., y Chaouachi, A. (2011). Effects of running velocity on running kinetics and kinematics. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 25,933-939.

Brzycki, M. (1993). Predicting a one rep mex from reps to failure. *Journal Health and Physical Education and Dance*; 64:88-90

Buchheit, M. (2010). Performance and physiological responses to repeated-sprint and jump sequences. *European Journal Applied and Physiology*; Nov;110(5):1007-18. doi: 10.1007/s00421-010-1587-3.

Bundle, MN. and Weyand, PG. (2012).Sprint exercise performance: does metabolic power matter? *Exercise and Sport Sciences Reviews*; vol. 40. No.3, pp. 174-182

Buono, MJ., Clancy, TR., Cook, JR. (1984). Blood lactate and ammonium ion accumulation during graded exercise in humans. *Journal Applied and Physiology*; 57(1): 135-139

Butler, R.J., Crowell, H.P., & Davis, I.M. (2003). Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 18(6), 511-517

Butler, R.J., Davis, I.S., & Hamill, J. (2006). Interaction of arch type and footwear on running mechanics. *American Journal Sports Medicine*; 34(12), 1998-2005.

Burr, D.B., Martin, R.B., Schaffler, M.B., & Radin, E.L. (1985). Bone remodeling in response to in vivo fatigue microdamage. *Journal of Biomechanics*; 18, 189-200

Caffrey, E. Docherty, CL. Schrader, J. Klossner, J. (2009). The Ability of 4 Single-Limb Hopping The Functional Performance Deficits in Individuals With Functional Ankle Instability. *Journal of orthopaedic and Sports physical Therapy*; 39:799–806.

Cappellini, G., Ivanenko, Y.P., Poppele, R.E., & Lacquaniti, F. (2006). Motor patterns in human walking and running. *Journal of Neurophysiology*; 95(6), 3426-3437.

Caron, O., Gelat, T., Rougier, P., Blanchi, J.P (2000) A comparative analysis of the center of gravity and center of pressure trajectory path lengths in standing posture: an estimation of active stiffness. *Journal of Applied Biomechanics*; 16(3):234-247.

Catalfamo, P., Moser, D., Ghoussayni, S., & Ewins, D. (2008). Detection of gait events using an F-Scan in-shoe pressure measurement system. *Gait & Posture*; 28(3), 420-426.

Cavagna, G.A., Komarek, L., Citterio, G., Margaria, R. (1971) Power output of the previously stretched muscle. *IVied Sport*; 6:159-167

Cavanagh, P.R. and Lafortune, M.A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal Biomechanics*; 13(5):397-406.

Cavanagh, P.R. (1990). *Biomechanics of distance running*. Human Kinetics, Champaign, IL.

Chamari, K., Hachana, Y., Ahmed, Y.B., Galy, O., Sghavier, F., Chayrd, J.C., Hue, O and Wisloff, U (2004). Field and laboratory testing in Young elite soccer players. *Br J Sports Med*; 38: 191-19.

Chapman, N. L. (1982). Chapman ball control test—Field hockey. *Research Quarterly for Exercise and Sport*; 3, 239–242.

Chelly, S.M., Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Medicine and Science in Sports and Exerc*;33:326–333

Chevront SN, Carter RI, Castellani JW & Sawka MN (2005). Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *Journal Applied and Physiology*; 99, 1972–1976.

Chu, D y Korchemny, R. (1989). "Sprinting stride actions: Analysis and evaluation", *National Strength & Conditioning Association Journal*: December 1989 - Volume 11 - Issue 6 - ppg 6-9

Clinghan, R., Arnold, G.P., Drew, T.S., Cochrane, L.A., & Abboud, R.J. (2008). Do you get value for money when you buy an expensive pair of running shoes? *British Journal of Sports Medicine*; 42(3), 189-193.

Čoh, M., Jošt, B., Štuhec, S. (1998) Kinematic and dynamic structure of sprinting stride of top female sprinters. *Biology of Sport*; 15: 237-243.

Čoh, M., Colja, I., Dolenc, A., & Štuhec, S. (1998). Correlation of kinematic and dynamic characteristics of the maximal velocity sprinting stride of female sprinters. *ISBS' 98 Proceedings II*

Čoh, M., Jost B., Skof B., Tamazin, K., Dolenc, A.(1998b) Kinematic and kinetic parameters of the sprint start and start acceleration model of top sprinters. *Gymnica*; 28: 33-42

Čoh, M. & Dolenc, A. (1996) Three-dimensional kinematic analysis of the hurdles technique used by Brigita Bukovec. *New studies in athletics*; 11(1): 63-69

Čoh, M., Mihajlović, S. & Praprotnik, U. (2001). Morphologic and kinematic characteristics of elite sprinters. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 6(Supplement), 100-103

Čoh, M., and Tomazin, K. (2006). Kinematic analysis of the sprint start and acceleration from the blocks. *New Studies in Athletics*; 21, 23-33.

Čoh, M., Tomazin, K., Stuhec, S., 2006. The biomechanical model of the sprint start and block acceleration. *Physical Education & Sport* 4, 103–114.

Cohen, J. (1962). The statistical power of abnormal-social psychological research: A review. *Journal of Abnormal and Social Psychology*; 69, 145-153.

Collier, C. (2002). Foundational Concepts of Sprinting: Spatial and Movement Perspectives. *Track Coach*, 5071-5077.

Cormack, S.J., Newton, R.U., and McGuigan, M.R., Dolye, T.L. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Journal of Sports Physiology and Performance*; 3, pp131-144.

Comfort, P., Bullock, N., y Pearson, S.J. (2012). A Comparison of Maximal Squat Strength and 5-, 10-, and 20-Meter Sprint Times, in Athletes and Recreationally Trained Men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*; 26(4), 937-940 910.1519/JSC.1510b1013e31822e35889.

Conforto, S., Schmid, M., Camomilla, V., D'Alessio, T., Cappozzo, A (2001). Hemodynamics as a possible internal mechanical disturbance to balance. *Gait & posture*; 14(1):28-35.

Confort, P., Haigh, A and Matthews, M.J (2012). Are changes in Maximal Squat Strength During Preseason Training Reflected in Changes in Sprint Performance in Rugby League Players? *Journal of Strength Conditioning Research*; 26: 772-776

Cook, C.J., Crewther, B.,Smith, A. (2012). Comparison of baseline free testosterone and cortisol concentrations between elite and non-elite female athletes. *American Journal of human biology*; Volume 24, Issue 6. Pages 856–858

Cousins, S. and Dyson, R. (2004). Forces at the front and rear blocks during the sprint start. In *Proceedings of XXII International Symposium on Biomechanics in Sports* (edited by M. Lamontagne, D. G. E. Robertson and H. Sveistrup), pp. 198201. Ottawa, Canada: University Press

Cronin, JB. and Hansen, KT. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *Journal of Strength Conditioning Research*; 19(2): 349-357

Cromwell, RL., Aadland-Monahan, TK., Nelson, AT., Stern-Sylvestre, SM., Seder, B. (2001). Sagittal plane analysis of head, neck, and trunk kinematics and electromyographic activity during locomotion. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*; 31:255-262

Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., Brown, S. R., & Morin, J. B. (2017). Optimal Loading for Maximising Power During Sled-resisted Sprinting. *International Journal of Sports Physiology and Performance*; 1-25.

Cuadrado, V., Jiménez Reyes, P. (2014). Fútbol sala. De la iniciación al alto rendimiento. PAIDOTRIBO

De Leva, P., & Cappozzo, A. (2006). Estimating forces in sports biomechanics. In A. Rainoldi, M. A. Minetto & R. Merletti (Eds.), Turin (IT), 71-88.

Davis, R. R., & Hull, M. L. (1981). Measurement of pedal loading in bicycling: II. Analysis and results. *Journal Biomechanics*; 14(12), 857-872.

Delecluse, C., Ponnet, H., & Diels, R. (1998). Stride characteristics related to running velocity in maximal sprint running. H.J. Riehle, M.M. Vieten (Hrsg.) 16. International Symposium on Biomechanics in Sports. Konstanz: Germany, July 21-25, 1998.

Delecluse, C., Van Coppenolle, H., Willems, E., Van Leemputte, M., Diels, R and Goris, M (1995). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 27, 1203-1209

Delecluse, C. (1997). Influence of Strength Training on Sprint Running Performance: Current Findings and Implications for Training. *Sports Medicine*; 24(3), 147-156.

De Luca, C.J., LeFever, R.S., McCue, M.P., Xenakis, A.P (1982). Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions. *The Journal of Physiology*; 329:129-142.

Di Fabio, R., y Badke, M. (1990)- Relationship of Sensory Organization to Balance Function in Patients with Hemiplegia. En: *Physical Therapy*; Vol. 70. No. 9. p. 542-548.

Di Prampero, PE., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, JB., Belli, A., Antonutto, G. (2005). Sprint running: A new energetic approach. *Journal of Experimental Biology*; 208: 2809-2816

Dixon, S.J. (2008). Use of pressure insoles to compare in-shoe loading for modern running shoes. *Ergonomics*; 51(10), 1503-1514.

Dietz, V., Schmidtbleicher, D., & Noth, J. (1979). Neuronal mechanisms of human locomotion. *Journal of Neurophysiology*; 42(5), 1212-1222.

Derrick, T.R., Dereu, D., & McLean, S.P. (2002). Impacts and kinematic adjustments during an exhaustive run. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 34(6), 998-1002

Docherty, CL. Arnold, BL. Gansneder, BM. Hurwitz, S. Gieck, J. (2005). Functional-performance deficits in volunteers with functional ankle instability. *Journal of Athletic Training*; 40(1):30-34

Dorel S., Couturier A., Lacour J. R., Vandewalle H., Hautier C., Hug F. (2010). Force-velocity relationship in cycling revisited: benefit of two-dimensional pedal forces analysis. *Medicina and Science in Sports Exercise*; 42(6):1174-83

Driss, T.; Vandewalle, H.; Monod, H. (1998): Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players. Correlation with the vertical jump test. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 38(4):286-93

Drust, B., Rasmussen, P., Mohr, M., Nielsen, B and Nybo, L. (2005). Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiologica Scandinavica*; 183:181-190.

Dudley, G. A., Staron, R. S., Murray, T. F., Hagerman, F. C., & Luginbuhl, A. (1983). Muscle fiber composition and blood ammonia levels after intense exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*; 54(2), 582-586.

Dugan, S.A., & Bhat, K.P. (2005). Biomechanics and analysis of running gait. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North American*; 16(3), 603-621.

Dupont G, Millet GP, Guinhouya C, Berthoin S. (2005). Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *European Journal of Applied Physiology*;95:27-34.

Ecker, T. (1996). Basic biomechanics of running. Mountain view: trafnews Press.

Enoka, RM. & Stuart, DG. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology* In press; 72(5):1631-48.

Ericson, M.O, y Nisell, R. (1988). Efficiency of pedal forces during ergometer cycling. *International Journal of Sport Medicine*; 9(2), 118-122.

Eriksson, L.S., Broberg, S., Björkman, O., Wahren, J. (1985). Ammonia metabolism during exercise in man. *Clinical Physiology*; 5(4): 325-336

Earl, J.E. and Hertel, J. (2001). Lower-extremity muscle activation during the star excursion balance tests. *Journal of Sports Rehabilitation*; 10:93-104.

Escamilla, R.F., Fleisig, G.S., Zheng, N., Barrentine, S.W., Wilk, K.E., and Andrews, J.R. (1998). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 30(4): 556-69.

Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A & Cang, A, (2009). Statistical power analysis using G*power 3.1: tests for correlation regression analysis. *Behavior Research Methods*; 41: 1149-1160, 2009

Ferro, A.; Rivera, A.; Pagola, I.; Ferrerueta, M., & Rocandio, V. (2001). Biomechanical analysis of the 7th world championships in athletics Seville 1999. *New Studies in Athletics*, 16(1/2), 25-60.

Fenn, W.O. (1930). Work Against gravity and work due to velocity changes in running. *American Journal of Physiology Published*; Vol. 93 no. 433-462

Fox, ZG., Mihalik, JP., Blackburn, JT., Battaglini, CL., Guskiewicz, KM.(2008). Return of postural control to baseline after anaerobic and aerobic exercise protocols. *Journal of Athletic Training*; 43(5): 456-463.

Freeman, M. A. R. (1965): Instability of the Foot after Injuries to the Lateral Ligament of the Ankle. *Journal of Bone and Joint Surgery*; 47-B, 669.

Fukushi, R., Gonçalves, G., Peixoto, G., Almeida, L., Manrique, A., Veronese, C., Costa, D., Cohen, M. (2012). The effects of one-half of a soccer match on the postural stability and functional capacity of the lower limbs in young soccer players. *Clinics* vol.67 no.12 São Paulo

Gambetta, V. (1991). Essential considerations for the development of a teaching model for the 100 meters sprint. *New Studies Athletics*; 6: 27-32,1991.

Gandevia, SC., Hall, LA., McCloskey, DI., Potter, EK. (1983). Proprioceptive sensation at the terminal joint of the middle finger. *Journal Physiology*; 335:507-517

Gandevia, SC., Butler, JE., Taylor, JL. (1996). Supraspinal factors in human muscle fatigue: evidence for suboptimal output from the motor cortex. *Journal Physiol.* 490: 529-536.

García, JM (1999). *La fuerza*. Madrid. Gymnos

Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2016). Optimal Balance Between Force and Velocity Differs Among World-Class Athletes. *Journal of applied biomechanics*, 32(1), 59-68.

Glaister, M. (2005). Multiple Sprint Work Physiological Responses, Mechanisms of Fatigue and the Influence of Aerobic Fitness. *Sports Medicine*; pp. 21.

Gollhofer, A., Schmidtbleicher, D., & Dietz, V. (1984). Regulation of muscle stiffness in human locomotion. *International Journal of Sports Medicine*; 5, 19-22.

Goldspink, G. (1992). Cellular and Molecular Aspects of Adaptation in Skeletal Muscle. En: *Strength and power in sport*. Editado por P. Komi. Blackwell Scientific Publication, London, 211-229.

González Badillo, J.J. (1995). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza*. Ed. Inde. Barcelona.

González-Badillo, J.J. y Gorostiaga, E. (1995) *Fundamentos del entrenamiento de fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona. INDE

González-Badillo, JJ. (2000). Concepto y medida de la fuerza explosiva en el deporte. Posibles aplicaciones al entrenamiento. *RED*, XIV (1): 5-16

González-Badillo, JJ Ribas, J. (2002) *Programación del entrenamiento de fuerza*. Ed Inde Publicaciones. Barcelona

González-Badillo, JJ. (2004). Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza. Modulo 2.3. Capítulo 6- evaluación de la fuerza páginas 48 a 76 en González-Badillo y Gorostiaga. COE. Madrid.

González-Badillo, JJ. (2005). Proyecto de investigación: Identificación de las variables dinámicas, cinemáticas y temporales relacionadas con el salto vertical con contramovimiento. Universidad de Pablo de Olavide. Sevilla

Goodman, M. N. & Lowenstein, J. M. (1977) *J. Biological Chemistry*; 252, 5054-5060

Gorostiaga, E. M., Granados, C., Ibañez, J., Gonzalez-Badillo, J. J., & Izquierdo, M. (2006). Effects of an entire season on physical fitness changes in

elite male handball players. *Medicine and science in sports and exercise*; 38(2), 357.

Gorostiaga, E.M., Asiain, X., Izquierdo, M., Postigo, A., Aguado, R., Alonso, J.M. & Ibáñez, J. (2010). Vertical Jump Performance and Blood Ammonia and Lactate Levels During Typical Training Sessions In Elite 400-m Runners. *Journal of Strength and Conditional Research.*; 24(4):1138-49.

Gribble, P.A. and Hertel, J. (2003). Considerations for normalizing Measures of the Star Excursion Balance Test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*; 7/2, 89-100.

Gribble, PA. Hertel, J. Plisky, P. (2012)- Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*; 47: 339-57.

Grimston, S.K., Nigg, B.M., Fisher, V., & Ajemian, S.V. (1994). External loads throughout a 45 minute run in stress fracture and non-stress fracture runners. *Journal of Biomechanics*; 27, 668.

Graham, T. E., Bangsbo, J., Gollnick, P. D., Juel, C., & Saltin, B. (1990). Ammonia metabolism during intense dynamic exercise and recovery in humans. *American Journal of Physiology*; 259(2 Pt 1), E170-6.

Gray, G. (1995) Lower extremity functional profile. Adrian, MI: Wynn Marketing, Inc

Grosser, M. (1992). Entrenamiento de la velocidad. Barcelona: Martínez Roca.

Hakkinen, K., Komi, P.V. & Kauhanen, H. (1986). Electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric, concentric, and various stretch-shortening cycle exercises. *International Journal of Sports Medicine*. 7(3):144-151.

Hakkinen, K. y Kauhanen, H. (1989). Daily changes in neural activation, force-time and relaxation-time characteristics in athletes during very intense training for one week. *Electromyography and Clinical. Neurophysiology*; 29: 243-249.

Hanon, C., Lepretre, PM., Bishop, D., Thomas, C. (2005). Oxygen uptake and blood metabolic responses to a 400-m run. *European Journal of Applied Physiology*; 109(2):233-40

Harland, M. & Steele, J. (1997). Biomechanics of the Sprint Start. *Sports Medicine*; 23 (1), 11-20

Harris, G.F., & Wertsch, J.J. (1994). Procedures for gait analysis. *Archive of Physical Medicine and Rehabilitation*; 75, 216-225.

Harris R.T., Dudley G.A. (1989) Exercise alters the distribution of ammonia and lactate in blood. *Journal of Applied Physiology* 66, 313-317

Hay, J.G. (1993). *The Biomechanics of Sports Techniques*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall

Heiderschei, BC., Hamill, J., Van Emmerik, RE. (2002). Locomotion variability and patellofemoral pain. *Journal of Applied Biomechanics*; 18:110–121.

Hellsten-Westing, Y., Norman, B., Balsom, PD., Sjödín, B. (1993). Decreased resting levels of adenine nucleotides in human skeletal muscle after high-intensity training. *Journal of Applied Physiology*; 74(5): 2523-2528.

Hellsten-Westing, Y., Kaijser, L., Ekblom, B., Sjödín, B. (1994). Exchange of purines in human liver and skeletal muscle with short-term exhaustive exercise. *American Journal Physiology*; 266(1 Pt 2): R81-86

Hennessy, L. and Kilty, M. (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 15 (3): 326-33

Henry, F. M. (1954). Time-velocity equations and oxygen requirements of 'all-out' and 'steady-pace' running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*; 25, 167-177

Hernandez, J., & Salazar, W. (2000). Efecto de tres tipos de entrenamiento para el tren inferior: una verificación del principio de especificidad. Tesis para M. Sc. Univ. Costa Rica. San Jose. Costa Rica.

Hertel, J., Miller SJ., Denegar, CR. (2000). Intratester and intertester reliability during the Star Excursion Balance Tests. *J Sport Rehabil.* ;9:104–116.

Hill, AV. (1927). *Muscular movement in man*, McGraw-Hill Book Co. New York

Hinrichs, R.N., Cavanagh, P.R., and Williams, K.R. (1997). Upper extremity function in running. I: Center of mass and propulsión considerations. *International Journal of Sport and Biomechanics*; 3:222-241.

Hirvonen, J., Rehunen, S., Rusko, H. and Harkonen, M. (1987) Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short

supramaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 56(3): 253-9.

Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., et al. (1992) Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Canadian Journal of Sport Sciences*; 17:141-4.

Hobara, H., Muraoka, T., Omuro, K., Gomi, K., Sakamoto, M., Inoue, K. (2009). Knee stiffness is a major determinant of leg stiffness during maximal hopping. *Journal of Biomechanics*; 42: 1768–1771.

Hoff, J., Wisloff, U. and Engen, LC. (2002). Relationship of the stretch-shortening in trained female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 15 (3): 326-33

Hoffman, JR., Maresh, CM., Newton, RU., Rubin, MR., French, DN., Volek, JS., Sutherland, J., Robertson, M., Gomez, AL., Ratamess, NA., Kang, J., & Kraemer, WJ. (2002). Performance, biochemical, and endocrine changes during a competitive football game. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 34:1845-1853

Hoffman, R., Ratamess, J., Cooper, J., Kang, A., Chilakos, D., Faigenbaum. (2005). Comparison of loaded and unloaded jump squat training on strength/power performance in college football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 19 (4), 810-815.

Hoffman, JR., Nussle, V., and Kang, J. (2005). The effect of an intercollegiate soccer game on maximal power performance. *Can J Appl Physiol* 28: 807–817.

Högberg, P. (1952). Length of stride frequency, flight period, and maximum distance between the feet during running with different speeds. *Arbeitsphysiologie*; 14:431-436.

Hodges, P., Gurfinkel, V., Brumagne, S., Smith, T., Cordo, P (2002). Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration. *Experimental brain research*; 144(3):293-302.

Hopkins, (1991). Training: quantification in competitive Sport. *Sports Medicine*; 12, 161-183.

Hrysomallis, C. (2011). Balance ability and athletic performance. *Sports Medicine*; 41(3):221-232.

Hsiao, H., Guan, J., & Weatherly, M. (2002). Accuracy and precision of two inshoe pressure measurement systems. *Ergonomics*; 45(8), 537-555.

Hunter, J.P., Marshall, R.N., & McNair, P. (2004a). Reliability of biomechanical variables of sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), 850-850.

Hunter, J.P., Marshall, R.N., & McNair, P.J. (2004b). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 36(2), 261-271.

Hunter, JP. Marshall, RN., McNair, PJ. (2005). Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running velocities. *Sports Medicine Training and Rehabilitation*; 8:347-358

Itoh, H. and Ohkuwa T. (1990). Peak blood ammonia and lactate after submaximal, maximal and supramaximal exercise in sprinters and long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*; 60(4):271-6.

Itoh, H., Ohkuwa, T. (1991). Ammonia and lactate in the blood after short-term sprint exercise. *European Journal Applied Physiology Occupational Physiology*; 62(1): 22-25

James, R. S., Altringham, J.D. and Goldspink, D.F. (1995). The mechanical properties of fast and slow skeletal muscles of the mouse in relation to their locomotory function. *J. exp. Biol.* 198, 491-502.

Jansson, E., Dudley, GA., Norman, B. and Tesch, PA. (1987). ATP and IMP in single human muscle fibres after high intensity exercise. *Clinical Physiology*; 7: 337 – 345, 1987.

Jaskolska, A., Groosseurs, P., Veenstra, B., Jaskolski, A., Skinner, JS, (1999). Treadmill measurement of the force-velocity relationship and power output in subjects with different maximal running velocities. *Sport Medicine Training Rehabilitation*; 8:347-358

Jiménez-Reyes, P. (2010). Relación entre la fuerza, la potencia, la carga de entrenamiento y el rendimiento específico en velocistas de nivel nacional e internacional. Tesis doctoral. Sevilla.

Jimenez-Reyes, P and Gonzalez-Badillo, JJ. (2011). Control de la carga de entrenamiento a través del CMJ en pruebas de velocidad y saltos para optimizar el rendimiento deportivo en atletismo. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 6 (18), 207-217.

Jiménez Reyes, P.; Cuadrado Peñafiel, V.; González Badillo, J.J. (2011). Aplicación de la capacidad de salto para el control del entrenamiento en las sesiones de velocidad. *Cultura, Ciencia y Deporte*, No 17, 7, Vol. 6, pp. 105-112.

Jiménez Reyes, P., Cuadrado-Peñafiel, V., Pareja-Blanco, F., Ortega-Becerra, MA., González-Badillo, JJ. (2012). Acute Metabolic and Mechanical Effects of Different Sprint Workouts in High Level Sprinters. *Medicine Science Sport Exercise*; S582, Vol 44 (5).

Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Cuadrado-Peñafiel, V., Conceição, F., González-Badillo, J.J., Morin, J.B. (2014). Effect of countermovement on power-force-velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*. 114(11):2281-8. doi: 10.1007/s00421-014-2947-1.

Jimenez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Cuadrado-Peñafiel, V., Morcillo, JA., Párraga, JA., González-Badillo, JJ. (2016). Mechanical, Metabolic and Perceptual Response during Sprint Training. *International Journal Sports Medicine*; 37(10).

Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in physiology*, 7.

Johnson, M.D. y Buckley, J.G. (2001). "Muscle power patterns in the mid-acceleration phase of sprinting". *Journal of Sports Science*; 19:263-272.

Jönhagen, S., Ericson, M. O., Németh, G., Eriksson, E. (1996). Amplitude and timing of electromyographic activity during sprinting. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*; 6, 15–21. 10.1111/j.1600-0838.1996.tb00064.x

Jones, B., Bampouras, T.M., & Marrin K. (2009). An investigation into the physical determinants of change of direction speed. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 49:1 97-104.

Kale, M., Asci, A., Bayrak, C., Acikada, C. (2009) Relationships among jumping performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. *Journal of Strength and Cond Research*; 23:2272–2279

Karamanidis, K., Arampatzis, A., & Brüggemann, G.P. (2004). Reproducibility of electromyography and ground reaction force during various running techniques. *Gait & Posture*, 19(2), 115-123.

Karatzaféri, C., De Haan, A., Ferguson, R.A., Van Mechelen, R., Sargeant, A.J. (2001). Metabolism changes in single human fibres during brief maximal exercise. *Experimental Physiology*; 2001; 86: 411-415.

Katja, T., Coh, M. (2003). Proceedings of 8th Annual Congress of the ECCS: Relations between explosive strength, stiffness and sprinting performance of Slovenian sprinters. Salzburg.

Kinugasa, R., Akima, H., Ohta, A., Sugiura, K and Kuno, S. (2004). Short-term creatine supplementation does not improve Muscle activation or sprint performance in humans. *European Journal of Applied Physiology*; 91:230–237.

Kinzey, SJ., Armstrong ,CW. (1998). The reliability of the star-excursion test in assessing dynamic balance. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*; 27(5):356-60.

Komi, P.V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sports Science Review*; 12(1): p. 81-121.

Konradsen, L. (2002). Sensori-motor control of the uninjured and injured human ankle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*; Volume 12, Issue 3, June 2002, Pages 199–203

Kornhuber, H.H.: The vestibular system and the general motor system. In: Kornhuber, H.H. (Ed.): *Handbook of Sensory physiology*. Vol. VI/2, Vestibular System, pp. 581–620. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1974

Krustrup, P., Soderlund, K., Mohr, M., & Bangsbo, J. (2004). The slow component of oxygen uptake during intense submaximal exercise in man is associated with additional fibre recruitment. *Pluegers Archive*; 44, 855-866.

Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: Implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 38(6), 1-10.

Krustrup, P., Christensen, J. F., Randers, M.B., Pedersen, H., Sundstrup, E., Jakobsen, M.D., Krustrup, B. R., Nielsen, J.J., Suetta, C., Nybo, L. and Bangsbo, J. (2010). Muscle adaptations and performance enhancements of soccer training for untrained men. *European Journal of Applied Physiology*; 108(6), 1247-1258.

Kristensen, G.O., Van Den Tillaar, R., Ettema, G.J.C. (2006) Velocity specificity in early-phase sprint training. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 20, 833-837

Kugler, F., Janshen, L. (2010). Body position determines propulsive forces in accelerated running. *Journal Biomechanics*; 43, 343–348
10.1016/j.jbiomech.2009.07.041

Kuitunen, S., Komi, P.V., & Kyrolainen, H. (2002). Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Medicine and Science in Sport and Exercise*; 24, 166-173.

Kukolj, M., Ropret, R., Ugarkovic D., Jaric S. (1999) Anthropometric, strength and power predictors of sprinting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 39, 120-122

Kunz, H, Kaufmann, DA. Annotation biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *British Journal of Sports Medicine*; 15(3): 177-181, 1981

Kurokawa, S., T. Fukunaga & S. Fukashiro (2001). Behavior of fascicles and tendinous structures of human gastrocnemius during vertical jumping. *Journal of Applied Physiology*; 90(4):1349-1358

Kyrolainen, H., Belli, A., & Komi, P.V (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 33(8), 1330-1337

Lacour, J-R., Bouvat, E., Barthélémy, J-C. (1990). Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 61:172-6

Lafortune, M.A. (1991). Three-dimensional acceleration of the tibia during walking and running. *Journal of Biomechanics*; 24(10), 877-886.

Lafortune, M.A., Henning, E., & Valiant, G.A. (1995). Tibial shock measured with bone and skin mounted transducers. *Journal of Biomechanics*; 28(8), 989-993

Lattanzio, PJ, Petrella, RJ, Sproule, JR, Fowler, PJ. (1997). Effects of fatigue on knee proprioception. *Clin J Sport Med* 7(1):22-27

Latash, M. L. and Zatsiorsky, V. M. (1993). Joint stiffness: Myth or reality?. *Human Movement Science*; 12: 653-692

Lee, HM., Huang, YZ., Chen, JJ., Hwang, IS. (2002). Quantitative analysis of the velocity related pathophysiology of spasticity and rigidity in the elbow flexors. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*.72(5):621-9.

Lees, A, Vanrenterghem J, De Clercq, D. (2004). The maximal and submaximal vertical jump: implications for strength and conditioning. *Journal of Strength Conditioning Research*; 18(4):787-91.

Lepers, R., Bigard, A., Diard, J.P., Gouteyron, J.F., Guezennec, C. (1997). Posture control after prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; Volume 76, Issue 1, pp 55–61

Lestienne, F, Soechting, J, Berthoz, A.(1977). Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes. *Experimental Brain Research*;28(3-4):363-84.

Lo, P. Y., & Dudley, G. A. (1987). Endurance training reduces the magnitude of exercise-induced hyperammonemia in humans. *Journal of Applied Physiology*; 62(3), 1227-1230.

Lowenstein, J. H. (1972) *Physiology Reviews*; 52, 382-414

Lowenstein, J. M. & Tornheim, K. (1971) *Science*; 171, 397-400

Lowenstein, JM. (1990). The purine nucleotide cycle revised. *International Journal of Sports Medicine*; 11:s37-46.

Luhtanen, P., Komi, Pv. (1978). Mechanical factors influencing running speed. En: Asmussen, E, Jorgensen, K, editores. *Biomechanics VI-B*. Baltimore: University Park Press; p. 23-9

MacIntosh BR, Rassier DE. (2002). What is the fatigue?. *Canadian Journal of Applied Physiology*; 27(1): 42-55

Mann, R. (1998). Methods of sprint training from a biomechanical point of view. *New Studies in Athletics*; 13 (1) 89-90

Mann, R., Kotmel, J., Herman, J., Johnson, B. and Schultz, C. (2008). Kinematic trends in elite sprinters. In *ISBS-Conference Proceedings Archive (Vol.1, No 1)*.

Mann, R., Kotmel, J., Herman, J., Johnson, B., Schultz, C., (1984). Kinematic trends in elite sprinters. In: *Proceedings of the International Symposium of Biomechanics in Sports*. Del Mar, California: Academic Publishers, pp. 17–33.

Mann, R. y Herman, J. (1985). Kinematic Analysis of Olympic Sprint Performance: Men's 200 Meters. *Journal of Applied Biomechanics*; Volume: 1 Issue: 2 Pages: 151-162

Mann, R. (1986). The biomechanical analysis of sprinters. *Track Technique*, 3000-3003

Mann, R.A., and Hagy, J. (1980). Biomechanics of walking, running, and sprinting. *American Journal of Sports Medicine*; 8(5), 345-350

MacLean, A., Young, R.M., Bellotti, V., Moran, TP. (1991). Questions, options, and criteria: elements of design space analysis. *Human-computer Interaction*, 6 (3-4) (1991), pp. 201-250

MacLean, DA, Graham, TE, Saltin, B. (1994). Branched-chain amino acids augment ammonia metabolism while attenuating protein breakdown during exercise. *American Journal Physiology*; 267(6 Pt 1):E1010-22.

McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). The role of rate of force development on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 25(2), 379- 385

Markström, JL., Olsson, CJ (2013). Countermovement jump peak force relative to body weight and jump height as predictors for sprint running performances: (in)homogeneity of track and field athletes? *Journal of Strength and Conditioning Research*; 27(4):944-953

Matavulj, D., Kukolj, M., Ugarkovic, D., Tihanyi, J. and Jaric, S. (2001). Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 41: 159-164.

Mayagoitia, R.E., Nene, A.V., & Veltink, P.H. (2002). Accelerometer and rate gyroscope measurement of kinematics: an inexpensive alternative to optical motion analysis systems. *Journal of Biomechanics*; 35(4), 537-542

McBride, JM., Triplett-McBride, T., Davie, A, Newton, RU (2002). The effect of heavy-vs light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 16 (1): 75-82

McGuine, TA, Grene, JJ, Best, T, Levenson, G. (2000). Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clinical Journal of Sport Medicine*; 10:239-244

Meckel, Y., Atterboro, H., Grodjinovsky, A., Ben-Sira, Dan Rotstein, A (1995). Physiological characteristics of female 100 metre sprinters of different performance levels. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 35:169-172

Mello, R.G., Oliveira, L.F., Nadal, J. (2007). Anticipation mechanism in body sway control and effect of muscle fatigue. *Journal of Electromyography & Kinesiology*; 17(6):739-746.

Mendez-Villanueva, A., Hamer, P. and Bishop, D. (2007) Fatigue Responses during Repeated Sprints Matched for Initial Mechanical Output. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; Vol.39, No.12, pp.2219-2225.

Mendiguchia, J., Alentorn-Geli, E., Idoate, F., Myer, GD. (2013). Rectus femoris muscle injuries in football: a clinically relevant review of mechanisms of injury, risk factors and preventive strategies. *British Journal of Sports Medicine*; 47(6):359-366

Mense, S. y Meyer, H. (1988). Bradykinin-induced modulation of the response behaviour of different types of feline group III and IV muscle receptors. *Journal Physiology*; 398: 49–63

Mercer, J.A., Bates, B.T., Dufek, J.S., & Hreljac, A. (2003). Characteristics of shock attenuation during fatigued running. *Journal of Sports Sciences*; 21(11), 911-919.

Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, JT., Komi, PV. (1981). Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*; 1981;3:16–22.

Mero, A. and Komi, PV. (1986). Force, EMG, and elasticity-velocity relationship at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology*; 55: 553-61

Mero, A., Peltola, E. (1989). Neural activation in fatigued and nonfatigued conditions of short and long sprint running. *Biology of Sport* ;6 (1): 43-57

Mero, A., Komi, PV. (1990). Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiology*; 61: 73-80

Mero, A. (1988). Forcé-time characteristics and máxima velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*; 59(2): 94-98.

Mero, A., Luhtanen, P., and Komi, P.V. (1983). A Biomechanical study of the sprint star. *Scandinavian Journal of Sport Science*; 5,20-28.

Mero, A., Luhtanen, P., & Komi, V. (1989). Segmentalle Krafterzeugung und Geschwindigkeit des Koerperschwerpunkts in den Kontaktphasen beim sprint. *Leistungssport*; 4, 35-39.

Mero, A., & Komi, P. (1990). Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal of Applied Physiolog*; 61, 73-80.

Mero, A., Komi, P.V. and Gregor, R.J., (1992) "Biomechanics of Sprint Running: A Review", *Sports Medicine*; 13 (6), 376-392

Merton, P.A. (1964). Human position sense and sense of effort. *Symposia of Society for Experimental Biology*;18:387-400.

Meyer, R. A., Dudley, G. A. & Terjung, R. L. (1980). Ammonia and IMIP in different skeletal muscle fibers after exercise in rats. *Journal of Applied Physiology*; 49, 1037-1041.

Mieyer, R. A. & Terjung, R. L. (1979). Differences in ammonia and adenylate metabolism in contracting fast and slowA muscle. *American Journal of Physiology*; 6, C111-118.

Miguel, P.P.; Reis, V. (2004). Speed strength endurance and 400m performance. *New Studies in Athletics*; 19:4, 39-45

Millet, GY., Lepers, R. (2004). Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Medicine*; 34:105-116.

Milner, C.E., Davis, I.S., & Hamill, J. (2006). Free moment as a predictor of tibial stress fracture in distance runners. *Journal of Biomechanics*; 39(15), 2819-2825

Milner, C.E., Ferber, R., Pollard, C.D., Hamill, J., & Davis, I.S. (2006). Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Medicine and Science in Sports Exercise*; 38(2), 323-328.

Mohr, M., Mujika, I., Santisteban, J., Randers, M. B., Bischoff, R., Solano, R., & Krustrup, P. (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multiexperimental approach. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*; 20(s3), 125-132.

Moravec, P., Ruzicka, J., Susanka, P., Dostal, M., Kodejs, M and Nosek, M (1988). The 1987 international athletic foundation / IAAF scientific Project report: time analysis of the 100m events at the II Worlds Championship in Athletics. *New Studies Athletic*;3: 61-96

Morin, JB., Hintzy, F., Belli, A., Grappe, F. (2002). Force-velocity relationships and sprint running performances in trained athletes. *Science in Sport*; 17:78-85

Morin, JB. and Belli, A. (2004). A simple method for measurement of maximal downstroke power on friction-loaded cycle ergometer. *Journal Biomechanics*; 37: 141-145.

Morin, JB., Dalleau, G., Kyröläinen, H., Jeannin, T., Belli A. (2005). A simple method for measuring stiffness during running. *Journal of Applied Biomechanics*; 21(2):167-80.

Morin, J. B., Jeannin, T., Chevallier, B., & Belli, A. (2006). Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. *International Journal of Sports Medicine*; 27(2), 158–65. doi:10.1055/s-2005-837569

Morin, JB., Samozino, P., Zameziati, K., Belli, A. (2007). Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running. *Biomechanics*; 40(15):3341-8.

Morin, JB, Samozino, P, Peyrot, N. (2009). Running pattern changes depending on the level of subjects' awareness of the measurements performed: a "sampling effect" in human locomotion experiments?. *Gait Posture*; 30(4):507-10

Morin, JB., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., Belli, A. (2010) Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *Journal Biomechanics*; 43:1970–1975

Morin, JB., Edouard, P., Samozino, P. (2011). Technical ability of forced application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 43: 1680-1688

Morin, JB., Edouard, P., Samozino, P, (2011a). technical ability of forced application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exerc*; 43: 1680-1688

Morin, JB., Samozino, P. (2011b). Effect of fatigue on forced production and forced application technique during repeated sprints. *Journal and Biomechanics*; 44:2719-2723

Morin JB, Se`ve P (2011) Sprint running performance: comparison between treadmill and field conditions. *European Journal of Applied Physiology*; 111:1695–1703

Morin, JB., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., Lacour, JR. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*; 112: 3921-3930

Morin, J.B., Slawinski, J., Dorel, S., de Villareal, ES., Couturier, A., Samozino, P., Brughelli, M., Rabita, G. (2015). Acceleration capability in elite

sprinters and ground impulse: Push more, brake less? *Journal of Biomechanics*: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.07.009>

Morin, J. B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*; 11(2), 267-272.

Morton, R.H.(1985). Mathematical representation of the velocity curve of sprint running. *Canadian Journal of Applied Sport Science*; 10, 166-170.

Moura, NA. and Moura, TFP. (2001). Training principles for jumpers: Implications for the special strength development. *New Studies in Athletics*; 16:4; 51-61.

Murphy, A.J., R.G. Lockie, and A.J. Coutts. (2003). Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*; 2(4): p. 144-150.

Murphy, D.F., Beynnon, B.D., Michelson, J.D., & Vacek, P.M. (2005). Efficacy of plantar loading parameters during gait in terms of reliability, variability, effect of gender and relationship between contact area and plantar pressure. *Foot Ankle International*; 26(2), 171-179.

Mutch, BJ., Banister, EW. (1983). Ammonia metabolism in exercise and fatigue: a review. *Medicine Science in Sports and Exercise*; 15(1):41-50

Muller, H.; Hommel, H. (1997): Biomechanical research project at the VIth World Championships in Athletics, Athens 1997: preliminary report. *New Studies in Athletics*; 2 :43-49

Mündermann, A., Nigg, B.M., Humble, R.N., & Stefanyshyn, D.J. (2003). Orthotic comfort is related to kinematics, kinetics, and EMG in recreational runners. *Medicine Science in Sports and Exercise*; 35(10), 1710-1719.

Nagy, E., Toth, K., Janositz, G., Kovacs, G., Feher-Kiss, A., Angyan, L., Horvath, G. (2004). Postural control in athletes participating in an ironman triathlon. *Eur J Appl Physiol* (2004) 92: 407–413. DOI 10.1007/s00421-004-1157-7

Nardone, A., Tarantola, J., Galante, M. and Schieppati, M (1998). Time course of stabilometric changes after a strenuous treadmill exercise. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*; 79, 920-924

Nasseri, N., Hadian, MR., Bagheri, H., Talebian, S., Olyaei, G. (2007). Reliability and accuracy of joint position sense measurement in the laboratory and clinic; utilizing a new system. *Acta Medica Iranica*; 45 (5): 395-404.

Nesser, T.W., Latin, R.W., Berg, K and Prentice, E (1996). Physiological detrerminants of 40-meter sprint performance in young male athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 10:263-67

Nevill, M. E., Boobis, L. H., Brooks, S. & Williams, C. (1989). Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *Journal of Applied Physiology*; 67, 2376-2382.

Nicholson, R. M., Sleivert, G. G. (2001). Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity. *Medicine and Science in Sports Exercise*; v. 33, n. 2, p. 339-342

Nicol C., Avela, J., and Komi, P, V. (2006). The stretch-shortening cycle: A model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. *Sports Medicine*; 36(11), pp977999

Nigg, B.M. and Yeadon, M.R. (1997). Biomechanical aspects of playing surfaces. *Journal of Sports Science*; 5, 117-145.

Nolan, L., Patriitti, B.L., y Simpson, K.j. (2006). A biomechanical analysis of the long-jump technique of elite female amputee athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; A38, 1829-1835.

Novacheck, T. (1998). The biomechanics of running. *Gait & posture*; 7(1), 77-95

Nummela, A., Vuorimaa, T., & Rusko, H. (1992). Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *Journal of Sports Sciences*; 10, 217-228.

Nummela, A., Keranen, T., Mikkelsen, Lo (2007). Factors related to top running speed and economy. *International Journal in Sport Medicine*; 28(8): 655-61

O'Leary, K., Vorpahl, K.A., & Heiderscheit, B. (2008). Effect of cushioned insoles on impact forces during running. *Journal of American Podiatric Medical a Associatio*; 98(1), 36-41.

Olmsted, L. C., Carcia, C. R., Hertel, J. y Shultz, S. J. (2002). Efficacy of the Star Excursion Balance Test in detecting reach deficits in subject with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*; 37(4),501-506.

Olsson, L., Lund, H., Henriksen, M., Rogind, H., Bliddal, H., Danneskioldsamsoe, B. (2004). Test-retest Reliability of a knee joint position sense

measurement method in sitting and prone position. *Advances in Physiotherapy*; 6(1):37-47

Ortenbland, N., Lunde, PK., Levin, K., Andersen, JL and Pedersen, PK. (2000). Enhanced sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release following intermittent sprint training. *American Journal of Physiology*; 279:R152–R160.

Ortiz, R; *Tenis: Potencia, velocidad y movilidad*. Edit. INDE, 2004

Osinski, W. (1988). The study of running speed in the cause-effect system of path analysis. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 28: 280–286

Paillard, T. (2012). Effects of general and local fatigue on postural control: a review. *Neuroscience Biobehavioral Reviews*; 36(1):162-76. doi: 10.1016/

Paolini, G., Della Croce, U., Riley, P.O., Newton, F.K., & Casey Kerrigan, D. (2007). Testing of a tri-instrumented-treadmill unit for kinetic analysis of locomotion tasks in static and dynamic loading conditions. *Medicine Engineering Physics*; 29(3), 404-411.

Papaikovou, G., A. Giannakos, C. Michailidis, et al. (2009). The effect of chronological age and gender on the development of sprint performance during childhood and puberty. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 23:2568–2573.

Paruzel-Dyja M, Walaszcz YK A, Iskra J, *Studies in Physical Culture and Tourism*; 13 (2006) 33.

Patterson RP, Moreno MI. (1990). Bicycle pedalling forces as a function of pedalling rate and power output. *Medicine and Science in Sports Exercise*; Aug;22(4):512-6

Pendergrass, T. L., Moore, J. H., & Gerber, J. P. (2003). Postural control after a 2mile run. *Military Medicine*; 168(11), 896-903.

Perrey S, Racinais S, Saimouaa K, Girard O. (2010). Neural and muscular adjustments following repeated running sprints. *European Journal of Applied Physiology*; 109(6):1027-36. doi: 10.1007/s00421-010-1445-3. Epub 2010 Apr 1

Petrakos, G., Morin, J.B. and Egan, B., (2015). Resisted Sled Sprint Training to Improve Sprint Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*; pp.1-20.

Philippaerts, R.M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., Malina, R.M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*; 24, 221-230

Pierre, M.C., Genc, K.O., Litow, M., Humphreys, B., Rice, A.J., Maender, C.C., et al. (2006). Comparison of knee motion on Earth and in space: an observational study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*; 3, 8.

Piriyaprasarth, P., Morris, M.E., Winter, A., & Bialocerkowski, A.E. (2008). The reliability of knee joint position testing using electrogoniometry. *BMC Musculoskeletal Disorders*; 9, 6.

Plisky, P.J., Gorman, P.P., Butler, R.J., Kiesel, K.B., Underwood, F.B., Elkins, B. (2009). The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *North American Journal of Sports Physical Therapy*; 4(2):92-9.

Proske, U., Wise, A.K., Gregory, J.E. (2000). The role of muscle receptors in the detection of movements. *Progress in Neurobiology*; Volume 60, Issue 1. Pages 85–96

Proske, U., y Gandevia, S. (2012). The Proprioceptive Senses: Their Roles in Signaling Body Shape, Body Position and Movement, and Muscle Force. *Physiological Reviews* Published 1 October 2012 Vol. 92 no. 4, 1651-1697 DOI: 10.1152/physrev.00048.2011

Putti, A.B., Arnold, G.P., Cochrane, L., & Abboud, R.J. (2007). The Pedar in-shoe system: repeatability and normal pressure values. *Gait & Posture*; 25(3), 401-405.

Racinais, S., Bishop, D., Denis, R., Lattier, G., Mendez-Villanueva, A and Perrey, S. (2007). Muscle deoxygenation and neural drive to the muscle during repeated sprint cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 39:268–274.

Reilly, T., Bangso, J and Franks, A (2000). Anthropometric and physiological predispositions for lite soccer. *Journal of Sports and Sciences*; 18: 669-83

Ribeiro, F., Mota, J., Oliveira, J(2007). Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee in the elderly. *European Journal of Applied Physiology*; 99(4):379-385.

Roberts, T.J., Scales, J.A., 2002. Mechanical power output during running accelerations in wild turkeys. *Journal of Experimental Biology*; 205, 1485–1494.

Roberts, D., Ageberg, E., Andersson, G., Fridén, T., Ageberg, E., Andersson, G., Fridén, T. (2003). Effects of Short-Term Cycling on Knee Joint

Proprioception in Healthy Young Persons. *The American Journal of Sports Medicine*; Vol 31, Issue 6

Rodacki, AL., Fowler, NE., & Bennett, SJ. (2002). Vertical jump coordination: fatigue effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 34(1):105-16

Roeykens, J., Rogers, R., Meeusen, R., Magnus, L., Borms, J., De Meirleir, K. (1998). Validity and reliability in flemish population of the WHO-MONICA optional study of physical activity question-naire. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 30(7):1071-5.

Romero-Franco N1, Martínez-López EJ, Lomas-Vega R, Hita-Contreras F, Osuna-Pérez MC, Martínez-Amat A. (2013). Short-term effects of proprioceptive training with unstable platform on athletes' stabilometry. *Journal of Strength and Conditioning Research*; (8):2189-97. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827de04c.

Romero-Franco, N., Martínez-López, EJ., Hita-Contreras, F., Lomas-Vega, R., Martínez-Amat, A. (2014a). Effects of an anaerobic lactic training on the postural stability of athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; [Epub ahead of print]

Romero-Franco, N., Gallego-Izquierdo, T., Martínez-López, EJ., Hita-Contreras, F., Osuna-Pérez, MC., Martínez-Amat, A. (2014b). Postural stability and subsequent sports injuries during indoor season of athletes. *Journal and Physical Therapy Science*; 26: 683–687

Romero-Franco, N., Martínez-López, EJ., Hita-Contreras, F., Lomas-Vega, R., Martínez-Amat, A. (2014c). Short-term effects of anaerobic lactic exercise on knee proprioception of track and field athletes. *Isokinetics and Exercise Science*; 22(3): 205-210

Romero-Franco, N., Martínez-López, E. J., Hita-Contreras, F., Lomas-Vega, R., & Martínez-Amat, A. (2015). Effects of an anaerobic lactic training session on the postural stability of athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55, 578-86.

Romero-Franco, N., Jiménez-Reyes, P., Castaño-Zambudio, A., Capelo-Ramírez, F., Rodríguez-Juan, J. J., González-Hernández, J., & Balsalobre-Fernández, C. (2016). Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: comparison with existing reference methods. *European Journal of Sport Science*; 1-7.

Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A. & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 40, 162-169

Rotto, D. M., Kaufman, M.P. (1988). Effect of metabolic products of muscular contraction on discharge of group III and IV afferents. *Journal of Applied Physiology*; Vol. 64 no. 6, 2306-2313

Rowe, P.J., Myles, C.M., Hillman, S.J., & Hazelwood, M.E. (2001). Validation of flexible electrogoniometry as a measure of joint kinematics. *Physiotherapy*; 87(9), 479-488.

Rusko, H., Nummela, A. & Mero, A. (1993). A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *European Journal of Applied Physiology*; 66:97-101

Rybicki, k.j., Waldrop, T.G., Kaufman, M.P. (1985). Increasing gracilis muscle interstitial potassium concentrations stimulate group III and IV afferents. *Journal of Applied Physiology*; Vol. 58 no. 3, 936-941

Sabatini, A.M., Martelloni, C., Scapellato, S., & Cavallo, F. (2005). Assessment of walking features from foot inertial sensing. *IEEE Trans Biomed Eng*, 52(3), 486-494.

Sabina, R. L., Swain, J. L., Patten, B. M., Ashizawa, T., O'Brien, W. E., Holmes, E. W. (1980). Disruption of the purine nucleotide cycle: a potential explanation for muscle dysfunction in myoadenylate deaminase deficiency. *Journal of Clinical Investigation*; 66: 1419-1423.

Salo, A.I.T., Bezodis, I.N., Batterham, A.M. & Kerwin, D.G. (2011). Elite sprinting: Are athletes individually step-frequency or step-length reliant? *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 43(6), 1055-62.

Samozino, P., Morin, J.B., Hintzy, F., Belli, A. (2008). A simple method for measuring forcé, velocity and power out put during squat jump. *Journal Biomechanics*; 41(14): 2940-5

Samozino, P., Morin, J.B., Hintzy, F., Belli, A. (2010). Jumping ability: a theoretical integrative approach. *Journal of Theoretical Biology*; 264(1):11-8

Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, PE., Belli, A., Morin, JB. (2012). Optimal forcé-velocity profile in ballistic movements. *Altius: citius or fortius? Medicine and Science in Sport and Exercise*; 44: 313-322

Samozino P, Edouard P, Sangnier S, Brughelli M, Gimenez P, Morin JB. (2013). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*; doi: 10.1055/s-0033-1354382

Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J-B. (2015). A simple method for measuring power, force, velocity properties and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*; in press.

Sánchez-Medina, L. & González-Badillo, J.J. (2011). Velocity Loss as an Indicator of Neuromuscular Fatigue during Resistance Training. *Medicine Science in Sports and Exercise*; doi: 10.1249/MSS.0b013e318213f880

Schot, P., & Knutzen, K. (1992). A Biomechanical Analysis of Four Sprint Start Positions. *Research Quarterly for Exercise and Sport*; 63 (2), 137-147

Schepens, B., Willems, PA., Cavagna, GA. (1998). The mechanics of running in children. *Journal Physiology*; 509:927-940

Scmidtbleicher, D (1992). Training for power events, en P.Komi (ed.) *Strength and power in sports*. London, Blackwell: 381-395

Sevrez, v. & Bourdin, C. (2015). On the Role of Proprioception in Making Free Throws in Basketball. *Journal Research Quarterly for Exercise and Sport*; Volume 86, 2015 - Issue 3

Sewell, DA., Gleeson, M and Blannin, AK. (1994) Hyperammonemia in relation to high-intensity exercise duration in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 69: 350-354.

Seyfarth, A., Geyer, H and Herr, H. (2003). Swing-leg retraction: A simple model for stable running. *Journal of Experimental Biology*; 206: p. 2547-2555

Sharpe MH, Miles TS. (1993). Position sense at the elbow after fatiguing contractions. *Experimental Brain Research*; 1993;94(1):179-82.

Shumway-Cook A, Woollacott M. (2007). *Motor control: translating research into clinical practice*. 3 ed. (p. 234). Philadelphia, PA: Lippincott William & Wilkins.

Siff, MC. and Verkhoshansky, Y. (2000). *Superentrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.

Silva, A., Sousa, AS., Tavares, JM., Tinoco, A., Santos, R., Sousa, F. (2012). Ankle dynamic in stroke patients: agonist vs. antagonist muscle relations. *Somatosensory Motor Research*; 29(4):111-6.

Simonsen, EB., Thomsen, L., Klausen, K. (1985). Activity of mono- and biarticular leg muscles during sprint running. *European Journal of Applied Physiology*; 54(5):524-532

Skinner, H., Wyatt, M.P., Hodgdon, J.A., Conard, D.W., Barrack, R.L. (1986). Effect of fatigue on joint position sense of the knee. *Journal of Orthopaedic Research*; Volume 4, Issue 1 Pages 112-118.

Skurvydas, A., Jascaninas, J. & Zachovajevs, P. (2000) Changes in height of jump, maximal voluntary contraction force and low-frequency fatigue after 100 intermittent or continuous jumps with maximal intensity. *Acta Physiologica Scandinavica*; 169(1): 55-62

Slawinski, J., Bonnefoy, A., & Levêque, J.M. (2010). Kinematic and Kinetic Comparisons of Elite and Well-Trained Sprinters During Sprint Start. *The Journal of Strength and Conditioning Research*; 24(4), 896-905.

Slawisnski, J., Termoz, N., Rabita, G., Samozino, P. (2015). How 100-m event analyses improve our understanding of world-class men's and women's sprint performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*; doi: 10.1111/sms.12627

Sleivert, G. and Taingahue, M. (2004). The relationship maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *Eur J Appl Physiol*; 91:46-52

Smilios, I. (1998). Effects of varying levels of muscular fatigue on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 12(3):204-8.

Soderman, K., Alfredson, H., Pietila, T., Werner, S. (2001). Risk factors for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation during one outdoor season. *Knee Surgery, Sports Traumatology Arthroscopy*; 9(5):313-21

Sprague, P. & Mann, R.V. (1983). The effects of muscular fatigue on the kinetics of sprint running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*; 54, 60-66.

Stafilidis, S., Arampatzis, A. (2007): Muscle-tendon unit mechanical and morphological properties and sprint performance. *Journal of Sports Sciences*; 25: 1035-1046

Stathis, CG., Febbraio, MA., Carey, MF. and Snow, RJ. (1994). Influence of sprint training on human skeletal muscle purine nucleotide metabolism. *Journal of Applied Physiology*; 76:1802-1809.

Stathis, CG., Zhao, S., Carey, MF., Snow, RJ. (1999). Purine loss after repeated sprint bouts in humans. *Journal of Applied Physiology*; 87(6): 2037-2042

Stratford, PW and Goldsmith, CH. (1997). Use of standard error as a reliability index of interest: An applied example using elbow flexor strength data. *Physical Therapy*; 77(7):745-750.

Surenkok, O., Isler, AK., Aytar, A., Gultekin, Z., Akman, M.(2006). Effect of knee muscle fatigue and lactic acid accumulation on balance in healthy subjects. *Isokinetic and Exercise Science*; 14, 301–306.

Susco, T.M., Valovich, McLeod, T.C., Gansneder, B.M., Shultz, S.J (2004). Balance Recovers Within 20 Minutes After Exertion as Measured by the Balance Error Scoring System. *Journal of Athletic Training*; 39(3):241-246.

Tamminen, K.A., Holt, N.L, & Neely, K. C. (2013). Exploring adversity and the potential for growth among elite female athletes. *Psychology of Sport & Exercise*; 14, 28-36. doi: 10.1016/j.psychsport.2012.07.002

Taube, W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F., Gollhofer, A (2007). Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*; 28(12):999-1005.

Tellez, T., & Doolittle, D. (1984). Sprinting from start to finish. *Track Technique*; 88, 2802-2805.

Thacker, S.B (1999). The prevention of ankle sprains in sports. A systematic review of the literature. *American Journal of Sports Medicine*; 27: 753-760.

Thomson, A., Bezodis, I. & Jones, R.L. (2009). An in-depth assessment of expert sprint coaches' technical knowledge. *Journal of Sports Sciences*; 27, 8, 855-861.

Thorlund, JB., Aagaard, P., & Madsen, K. (2009). Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. *International Journal of Sports Medicine*; 30: 273-278

Thorpe, J.L., Ebersole, K.T.(2008). Unilateral balance performance in female collegiate soccer athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*; 22(5):1429-1433.

Tornheim, K. & Lowenstein, J.M. (1976) Control of phosphofructokinase from rat skeletal muscle. *Journal Biological Chemistry*; 251, 7322-7328

Trojian, T.H., McKeag, D.B. (2006). Single leg balance test to identify risk of ankle sprains. *British Journal of Sports Medicine*; 40(7):610-613.

Tropp, H., Ekstrand, J., Gillquist, J .(1984). Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. *Medicine Science of Sports and Exercise*; 16: 64-66.66.

Torres, R., Vasques, J., Duarte, JA., Cabri, JM. (2010). Knee proprioception after exercise-induced muscle damage. *International Journal of Sports Medicine*; 31(6):410-415.

Toumi, H., Poumarat, G., Best, Tm., Martin, A., Fairclough, J. and Benjamin, M. (2006) Fatigue and muscle-tendon stiffness after stretch-shortening cycle and isometric exercise. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*; 31(5): 565-572.

VanCappenolle, H., Delecluse, C., Goris, M and Diels, R. (1990). Evaluation of the start and sprint action. In *techniques in athletics (volumen 2). Sporthochschule*, (Edited by G.P. Brugseman and JK. Ruhl), Cologne, pp. 396-401

Vandewalle, H., Peres, G., Helle, J., Parel, J., Monod, H. (1987). Forcé-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Correlation with the height of a vertical jump. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 4(4):268-89

Vandewalle, H., Peres, G and Monod, H. (1989). Standars anaerobic exercise tests. *Sports Med* 4, 268-289

Verdejo, R., & Mills, N.J. (2004). Heel-shoe interactions and the durability of EVA foam running-shoe midsoles. *Journal of Biomechanics*, 37(9), 1379-1386.

Verkhoshansky, Y. (2002). *Teoría y metodología del entrenamiento deportivo*. Paidotribo, Barcelona.

Vescovi, JD., McGuigan, MR.(2008). Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J Sports Sci*. 2008 Jan 1;26(1):97-107.

Vicent, WJ. (1999, 2ªed.). *statistics in kinesiology*. Champaign (IL): Human Kinetics.

- Vittori, C. (1990). L'allenamento della forza nello sprint. *Atletica Studi*, 1-2.
- Vittori, C. (1996). The European school in sprint training: The experiences in Italy. *New studies in athletics*, 11, 85-92.
- Volkov, N.I. y Lapin, V.I. (1979). Analysis of the velocity curve in sprint running. *Medicine and Science in Sports*; 11(4):332-337
- Vucetic, V., Matkovic, B. y Sentija, D. (2008). Morphological Differences of Elite Croatian Track-and-Field Athletes. *Collegium. Antropologicum*; 32 (2008) 3: 863-868
- Vuillerme, N., & Hintzy, F. (2007). Effects of a 200W-15min cycling exercise on postural control during quiet standing in healthy young adults. *European Journal of Physiology*; 100(2):169-75.
- Wakeling, J.M., Pascual, S.A., Nigg, B.M., & von Tscherner, V. (2001). Surface EMG shows distinct populations of muscle activity when measured during sustained sub-maximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*; 86(1), 40-47.
- Wearing, S.C., Urry, S.R., & Smeathers, J.E. (2000). The effect of visual targeting on ground reaction force and temporospatial parameters of gait. *Clinical Biomechanics*; (Bristol, Avon), 15(8), 583-591.
- Weyand, P., Sternlight, D., Bellizzi, M. and Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*; 89, 1991-1999.
- Weyand PG, Sandell RF, Prime DNL, Bundle MW (2010) The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *Journal of Applied Physiology*; 108:950-961.
- Wiemann, K., & Tidow, G. (1995) Relative activity of hip and knee extensors in sprinting - implications for training. *New Studies in Athletics*; 10 (1): 29-49
- Wilk R, Weizman I, Shilo BZ. (1996). Tracheless encodes a bHLH-PAS protein that is an inducer of tracheal cell fates in *Drosophila*. *Genes Development*; 10:93-102.
- Wilkins, Joseph C; Valovich McLeod, Tamara, C; Perrin, David H; Gansneder, Bruce M. (2004). *Journal of Athletic Training*; Dallas39.2 (Apr-Jun 2004): 156-161.

Williams, D.S., Davis, I.M., Scholz, J.P., Hamill, J., & Buchanan, T.S. (2004). Higharched runners exhibit increased leg stiffness compared to low-arched runners. *Gait & Posture*, 19(3), 263-269.

Williams, D.S., McClay, I.S., & Hamill, J. (2001). Arch structure and injury patterns in runners. *Clinical Biomechanics*; 16, 341-347.

Williams, C.A., and Ratel, S. 2009. Definitions of muscle fatigue. In *Human Muscle Fatigue*. Edited by C.A. Williams and S. Ratel. Routledge, Abingdon, UK. pp. 3–16.

Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, Rand Hoff, J (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*; 38 (3): 285-8

Wiswell, RA., Jaque, SV., Marcell, TJ., Hawkins, SA., Tarpenning, KM., Constantino, N., Hyslop, DM. (2002). Maximal aerobic power, lactate threshold, and running performance in master athletes. *Medicine Science in Sports and Exercise*; 32:1165–1170

Wong, W.Y., Wong, M.S., & Lo, K.H. (2007). Clinical applications of sensors for human posture and movement analysis: a review. *Prosthetics and Orthotics International*; 31(1), 6275.

Woodman, O.J. (2007). Introduction to Inertial Navigation. *Journal of Navigation*; 9(03), 3-37.

Yague, P. H. Y De La Fuente, J. (1998). Changes in height and motor performance relative to peak height velocity. A mixed-longitudinal study of Spanish boys and girls. *American Journal of Human Biology*; 10, 647-660.

Young, W.B. Mclean, and J. Ardagna, (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 35(1):13-19.

Young, W.B., McLean, B. and Ardagna, J. (1996). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*; 35,13-19.

Young, W. and Prior, J. (2001). Resistance training for Short sprints and Maximum-speed sprint. *Strength and Conditioning Journal*; 23, 7-13

Yuan Y, Chan KM.(2004). A longitudinal study on the ammonia threshold in junior cyclists. *British Journal of Sports Medicine*; 38(2):115-9.

Yuan, Y., So, R., Wong, S., & Chan, K. M. (2002). Ammonia threshold—comparison to lactate threshold, correlation to other physiological parameters and response to training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*; 12(6), 358-364.

Zachary, G. Fox, Jason, P., Mihalik, J., Troy, Blackburn, Claudio L. Battaglini, and Kevin M. Guskiewicz. (2008). Return of Postural Control to Baseline After Anaerobic and Aerobic Exercise Protocols. *Journal of Athletic Training*; Vol. 43, No. 5, pp. 456-463.

Zameziati, K., Mornieux, G., Rouffet, D., Belli, A. (2006). Relationship between the increase of effectiveness indexes and the increase of muscular efficiency with cycling power. *European Journal of Applied Physiology*; 96, 274–281 10.1007/s00421-005-0077-5

Zatsiorsky, V. (1994) *Advanced Sport Biomechanics*. The Pennsylvania State University, Biomechanics Laboratory; PA, USA

Zazulak, B.T., Hewett, T.E., Reeves, N.P., Goldberg, B. & Cholewicki, J. (2007) Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk—a prospective biomechanical-epidemiologic study. *American Journal of Sports Medicine*; 35, 1123-1130

Zernicke, R. F., & Whiting, W. C. (2000). Mechanisms of musculoskeletal injury. *Biomechanics in sport*; 507.