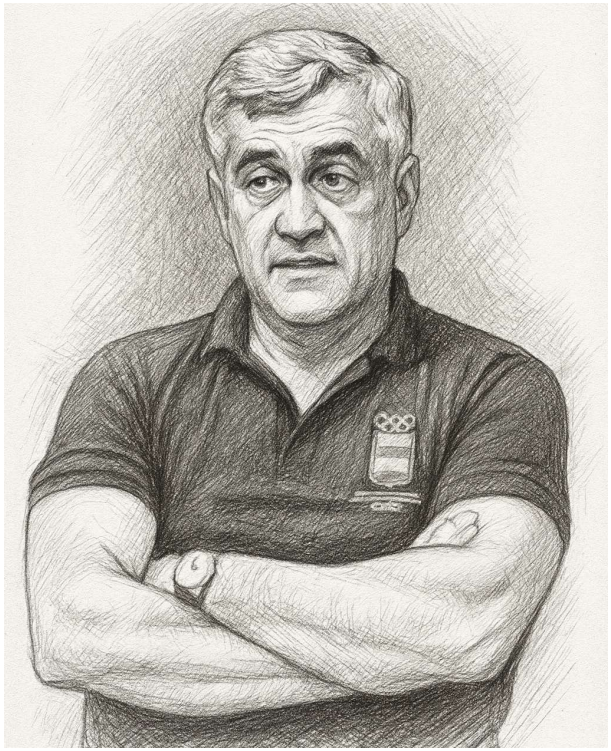
Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo

DR. Juan Manuel García Manso



"ENTENDIENDO LA FUERZA"

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN AL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

GENERALIDADES

No es necesario que cada uno de los movimientos que utilicemos en nuestro entrenamiento sea específico para cada modalidad deportiva, pero si es necesario que cada movimiento pueda contribuir, directa o indirectamente, en la mejora del rendimiento en esa modalidad



¿DE QUÉ DEPENDE EL RENDIMIENTO DEPORTIVO?



MULTIPLES ADAPTACIONES ESTRUCTURALES & REORGANIZACIÓN FUNCIONAL ESPECÍFICA

ADAPTACIÓN BIOLÓGICA

- **ESTRUCTURAL** → Composición Corporal, Tamaño y Forma de Estructuras
- **FUNCIONAL** → Órganos: Corazón, Pulmones, etc. Sistemas: Endocrino, Inmune, etc.

ADAPTACIÓN CONDICIONAL

- **FUERZA**
- **MOVILIDAD**
- **COORDINACIÓN**
- **VELOCIDAD**
- **RESISTENCIA**

ADAPTACIÓN CONDUCTUAL

- **COGNITIVA** → Concentración, Análisis, Comprensión y Toma de Decisión
- **PSICOLÓGICA** → Agonismo, Perseverancia, Asunción del Riesgo, etc.
- **VOLITIVA** → Motivación, Control del Estrés o Afectividad, Resistencia al Fracaso



FUERZA MUSCULAR

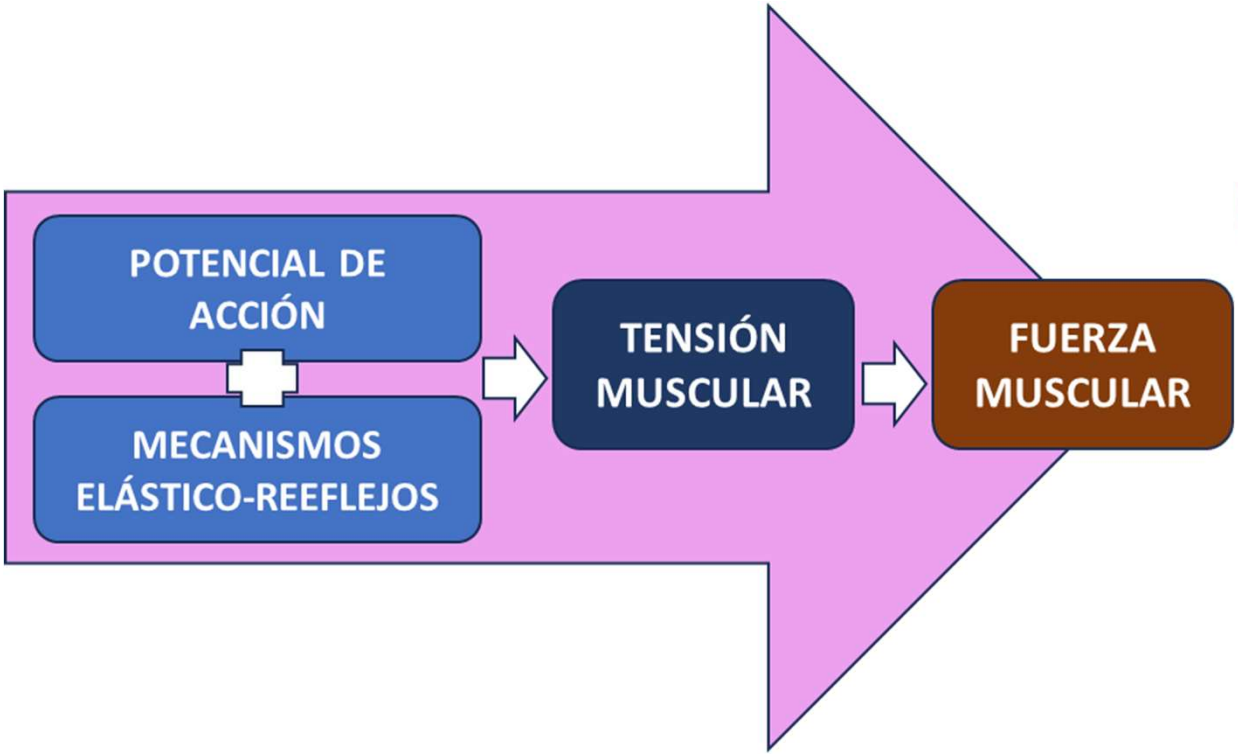
CAPACIDAD FÍSICA (CAPACIDAD CONDICIONAL)

Expresa la **TENSIÓN generada por Músculo**, o **Grupo de Músculos, cuando son Activados** (**Contraídos** o **Deformados**) ⇒

para generar una **RESPUESTA MUSCULAR** con la que

ejecutar una **ACCIÓN MOTRIZ (GESTO DEPORTIVO)**

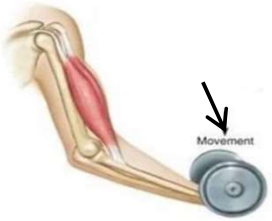


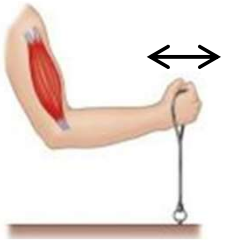




TIPO DE CONTRACCIÓN MUSCULAR







ESTÁTICA

ISOMÉTRICA

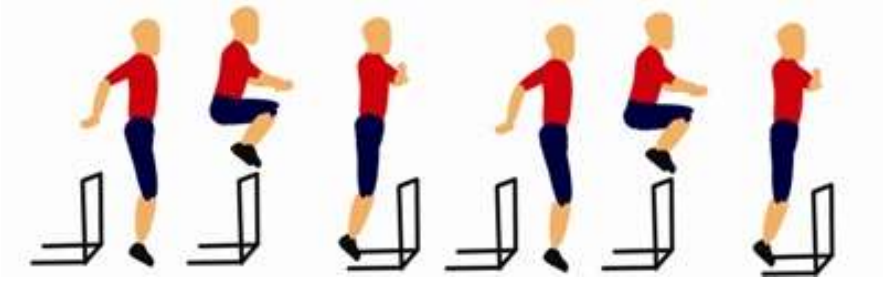
ANISOMÉTRICA

CONCÉNTRICA

EXCÉNTRICA

DINÁMICA

PLIOMÉTRICA (C.E.A.)

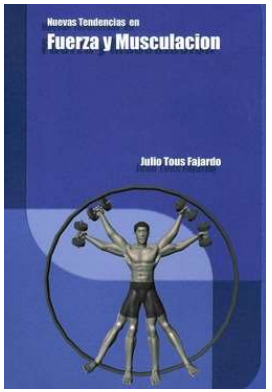


STRENGTHENING MUSCLE

John Atha
University of Technology Loughborough - Leicester (England)



Exercise and Sport Sciences Reviews, 9(1), 1-73. 1981.
En "**Nuevas tendencias en fuerza y musculación**"
Julio Tous Fajardo (1999)



(52 Combinaciones Potenciales)

Rango de Movimiento

Constante
- Isométrica - Estática

Mayor
- Excéntrica - Pliométrica

Menor
- Concéntrica - Miométrica

Fluctuante
- Auxotónica - Alométrica





Velocidad de Desarrollo

Constante
- Isocinética

Mayor
- Bradocinética

Menor
- Tacocinética

Fluctuante
- Alocinética

TENSIÓN MUSCULAR

CONSTANTE - DECRECIENTE - CRECIENTE - FLUCTUANTE

ISOTÓNICA TELOTÓNICA AUXOTÓNICA ALOTÓNICA

MANIFESTACIONES DE LA FUERZA SEGÚN EL ORIGEN DE LA TENSIÓN

TENSIÓN CONTRACTIL

- POTENCIALES DE ACCIÓN

TENSIÓN REFLEJA

- POTENCIACIÓN

TENSIÓN PASIVA

- C.E.P. – C.E.S.
- FASCIAS

FUERZA ACTIVA ⟷ **FUERZA REACTIVA**

- **FUERZA REFLEJA**
- **FUERZA ELÁSTICA**

Magnitud de Fuerza

- Supramáxima
- Máxima
- Submáxima
- Moderada
- Ligera

Velocidad de Desarrollo

- Desarrollo Controlado
- Desarrollo Rápido
  - Explosivo Tónica
  - Explosivo Balística

Duración de la Tensión

- Acciones Aisladas
- Acciones Cíclicas
- Acciones Acíclicas
- Acción Mantenida

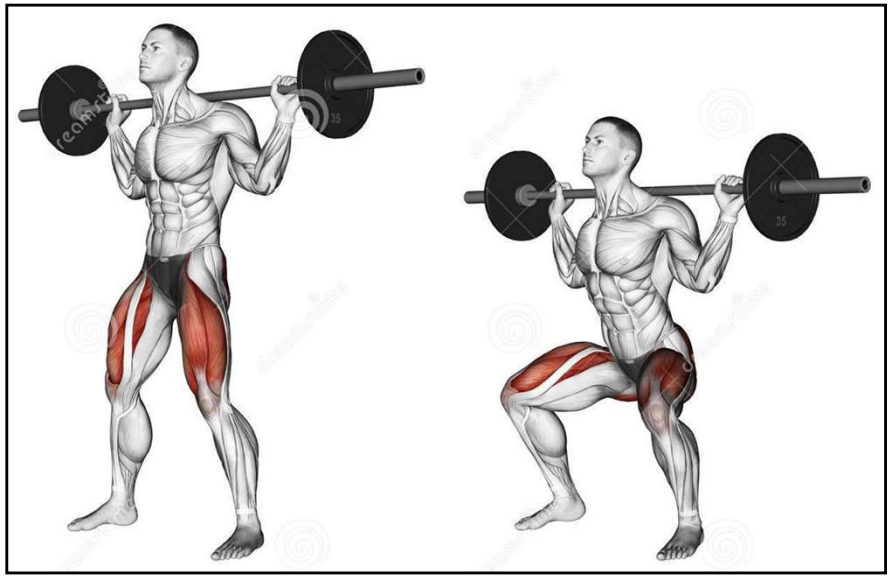


SELECCIÓN DEL EJERCICIO
TAREA O ESTÍMULOS DE ENTRENAMIENTO

CLASIFICACIÓN DE LOS EJERCICIOS DE FUERZA

Establecer una acertada TAXONOMÍA de EJERCICIOS tiene especial relevancia para elaborar correctamente ESTRATEGIAS DE TRABAJO EFICIENTES y optimizar la PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN y PERIODIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO

TAREAS CERRADAS *vs*. TAREAS ABIERTAS
(NIVEL DE ESPECIFICIDAD DE LA TAREA)





ESTRATEGIAS DE TRABAJO

PARA EL DESARROLLO DE LA

FUERZA



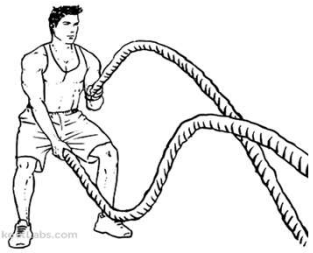
MODELO TRADICIONAL

TAREAS CERRADAS

(Aislamiento - Globales)



Gestos
Iguales Repetidos



MODELO ALTERNATIVO (HOLÍSTICO - FUNCIONAL)

TAREAS ABIERTAS

(Aislamiento - Globales)

Incertidumbre & Fluctuación

- Imprevisibilidad Motriz
- Variabilidad Motriz



Diversificación de:

- Planos de Fuerza
- Vectores de Fuerza



DIVERSIFICACIÓN DE VECTORES DE FUERZA

Dynamic Rotational - Stability (DRS) / Estabilidad Dinámica Rotacional (EDR)

Fernando Hernández Abad (2024) (Modificado)



DISEÑO DE LA TAREA

NIVEL DE CORRESPONDENCIA CON EL GESTO DEPORTIVO

TAREAS CERRADAS

++

CORRESPONDENCIA MECÁNICA

TAREA *vs*.

GESTO DEPORTIVO

Especificidad Dinámica

(Cinética)

OPTIMIZACIÓN Y MEJORA CONDICIONAL DEL GESTO

+ +++



Grado de Correspondencia Mecánica

No tiene que relacionarse siempre con un beneficio directo a la tarea

Baja Correspondencia Motora

Puede ir orientada a compensar una desventaja mecánica de la tarea y al, contrario, con un déficit de Fuerza Especial

TAREAS ABIERTAS

+++

CORRESPONDENCIA MOTORA

TAREA *vs*.

GESTO DEPORTIVO

Especificidad Coordinativa

(Gestual)

OPTIMIZACIÓN Y MEJORA TÉCNICA DEL GESTO

CLASIFICACIÓN DE LOS EJERCICIOS DE FUERZA

- **EJERCICIOS TRADICIONALES**
  - **CORRESPONDENCIA MOTORA: OBJETIVO O GRADO DE ESPECIFICIDAD DEL EJERCICIO**
    - Básicos ⇒ Complementarios o Auxiliares
    - Específicos (Sostén o Soporte del Movimiento)
    - Competitivos
  - **CORRESPONDENCIA DINÁMICA: MODELO DE EJECUCIÓN**
    - Tipo de Contracción
    - Ejercicios de Cadena Abierta *vs*. Cadena Cerrada
    - Ejercicios Unilaterales *vs*. Ejercicios Bilaterales
    - Ejercicios de Pre y Post-Fatiga



- **EJERCICIOS FUNCIONALES (ESPECÍFICOS O DE ELEVADA CORRESPONDENCIA)**
  - **CORRESPONDENCIA MOTORA: OBJETIVO O GRADO DE ESPECIFICIDAD DEL EJERCICIO**
    - Nivel de Integridad Coordinativa
    - Grado de Incertidumbre y Fluctuación Motriz
      - Variabilidad Motriz
      - Imprevisibilidad Motriz
  - **CORRESPONDENCIA DINÁMICA: MODELO DE EJECUCIÓN**
    - Diversificación de Planos y Vectores de Fuerza



PROPUESTA TRADICIONAL

EJERCICIOS DE ENTRENAMIENTO

- GENERALES
  - GLOBALES
  - ANALÍTICOS
  - \+
  - CALISTÉNICOS
- COMPLEMENTARIOS (AUXILIARES)
- BÁSICOS
- ESPECÍFICOS
  - COMPETICIÓN











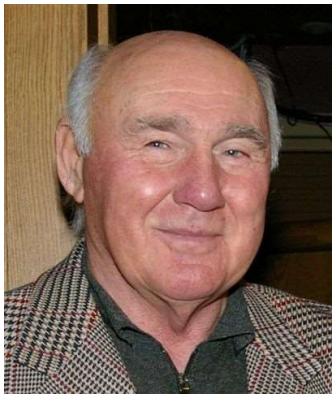


“PART PRACTICE”

Trabajan, principalmente, una o más Partes del Gesto de Forma Genérica y/o Analítica

“WHOLE PRACTICE”

Trabajan el Gesto Completo, o Partes Fundamentales, de Forma Específica o Similar a la Competición

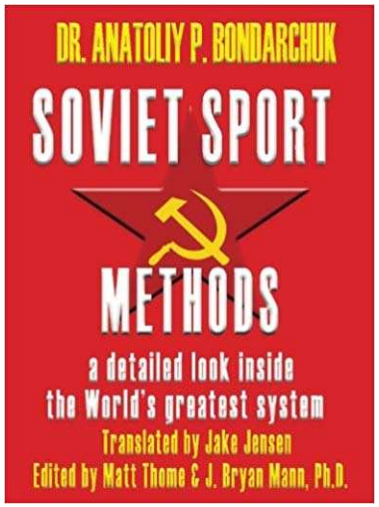


EJEMPLO DE TAXONOMIA TRADICIONAL

ANATOLY PAVLOVYCH BONDARCHUK

Soviet Sport Methods:
a detailed look inside the World's greatest system

CreateSpace Independent Publishing Platform (2016)



- **EJERCICIOS PREPARATORIOS**
  - **EJERCICIOS PREPARATORIOS GENERALES**

    Utilizan, en ocasiones, sistemas de energía y movimientos diferentes a los del gesto competitivo que debe desarrollar el atleta (Salvo deportes de Levantamiento).
  - **EJERCICIOS PREPARATORIOS ESPECIALES**

    Estos ejercicios están más cerca del evento competitivo en el sentido de que usan los mismos músculos y sistemas, pero ejecutando patrones de movimiento algo diferentes.
- **EJERCICIOS DE DESARROLLO ESPECÍFICOS**

  A menudo denominados de "**Fuerza Específica**“ o “**Transferencia de Fuerza**”, combina los mismos músculos y sistemas que el evento competitivo, así como partes de los movimientos de competición.
- **EJERCICIOS COMPETITIVOS**

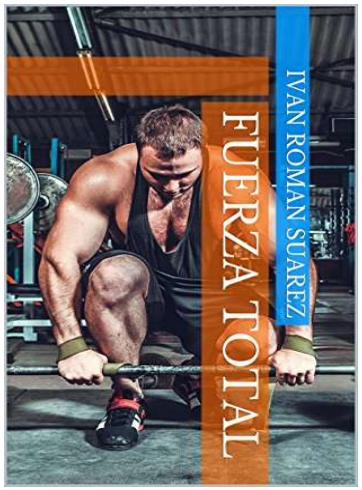
  Se incluyen el/los gestos competitivos o con ligeras variaciones del mismo.

FUERZA TOTAL

Iván Román Suárez
La Habana (Cuba). 2005.

EJERCICIOS PARA EL LEVANTAMIENTO DE PESAS

- **CLÁSICOS**
  - **ARRANCADA**
  - **ENVIÓN (DOS TIEMPOS)**
- **ESPECIALES**
  - **PARA LA ARRANCADA**
  - **PARA EL ENVIÓN**
  - **ESPECIALES COMBINADOS**
  - **COORDINACIÓN MUSCULAR**
- **AUXILIARES**
  - **EJERCICIOS BRAZOS**
  - **EJERCICIOS PIERNAS**
  - **EJERCICIOS TRONCO**
  - **EJERCICIOS COMBINADOS**
  - **AUXILIARES ESPECIALES**





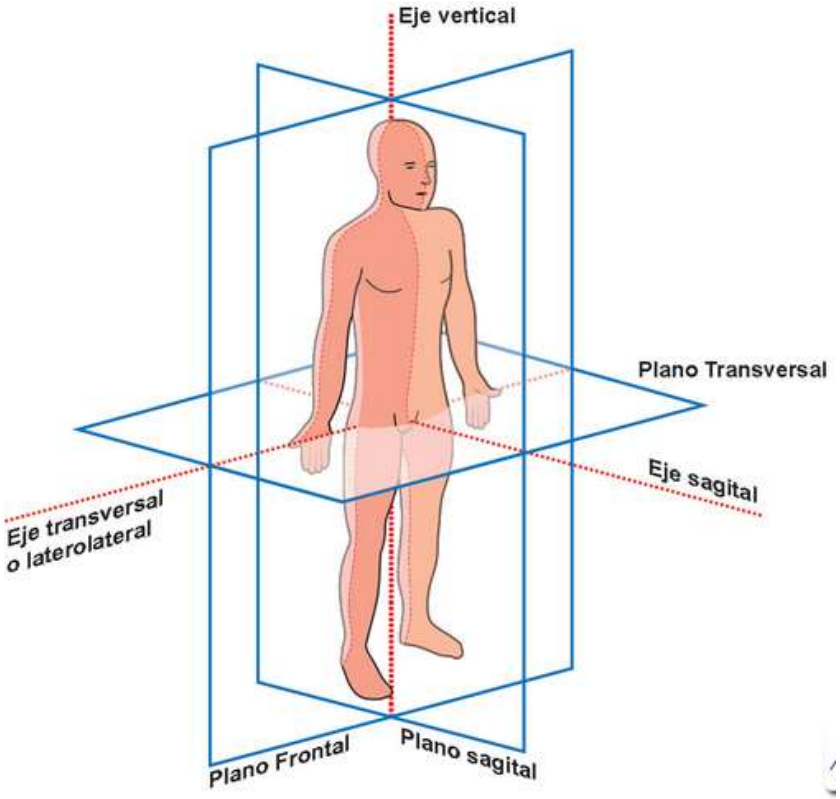
TAREAS ABIERTAS

DEL TRABAJO MUSCULAR CIRCUNSCRITO
A LOS EJES VERTICAL Y TRANSVERSAL (LATEROLATERAL)
Y A LOS PLANOS SAGITAL Y FRONTAL





Hernández-Abad







Frans Bosch

AL TRABAJO EN MULTIEJE & MULTIPLANO,
CON INCERTIDUMBRE MOTRIZ Y VARIEDAD SENSORIOMOTORA

Coordination, Control and Skill

Karl Martin Newell

En D. Goodman, R. B. Wilberg & Ian M. Franks (Eds.)

Differing Perspectives in Motor Learning, Memory, and Control

Advances in Psychology Vol. 27 (pp. 295-317). North-Holland. Elsevier. 1985.

RESPUESTA NEURAL & SENSOMOTORA ESPECÍFICA

FASES EN EL DESARROLLO DE NIVELES DE FUERZA ÚTIL

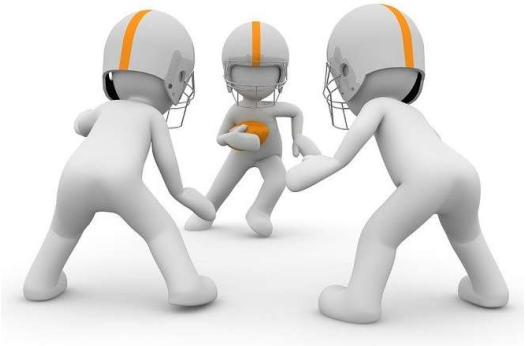
COORDINACIÓN, CONTROL & HABILIDAD

Cognitiva – Asociativa - Autónoma

(Especificas para cada Gesto e Individual para cada Atleta)

TAREAS ABIERTAS

FUERZA EN ENTORNOS CAMBIANTES



TAREAS CERRADAS

FUERZA EN ENTORNOS ESTABLES



BASES CIENTÍFICAS DE LAS TAREAS MORICES



“Los profesores reflexivos y los alumnos brillantes saben lo poco eficaz y aburrido que es repetir y repetir la misma tarea”

NIKOLAI ALEKSANDROVICH BERNSTEIN

Para el autor, la simple repetición sin más de un gesto era simplemente una forma primitiva de aprendizaje



"SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE MOVIMIENTOS“

Nikolai Aleksandrovich Bernstein (1896-1966)

(*REPETITION WITHOUT REPETITION*)





El principio común de cualquier acción motora, es que cualquier acción del órgano ejecutivo (SNC) ni responde a un único patrón, ni es el final del proceso:

El resultado de cualquier acción ejecutada es percibida inmediatamente por el Sistema Sensor-Receptor y se lo comunica mediante retroalimentación al SNC.

Si el órgano ejecutivo ha trabajado de manera incorrecta, insuficiente o excesiva, entonces la señal de retroalimentación del receptor incitará inmediatamente a los centros nerviosos a aumentar o moderar sus impulsos.

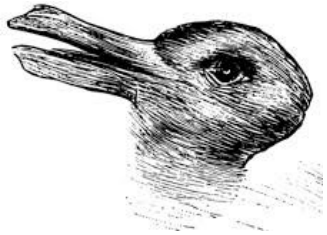
En fisiología, se revela cada vez más la gran universalidad de este sistema de regulación mediante la RETROALIMENTACIÓN

MODELO CIBERNÉTICO DE LA ACCIÓN MOTRIZ

ORIGEN DE LA CONFRONTACIÓN BERNSTEIN *vs*. PAVLOV



Nikolai Aleksandrovitsch Bernstein (1896-1966)



Propuesta alternativa a la rígida ortodoxia pavloviana

Iván Petróvich Pávlov (1849-1936)

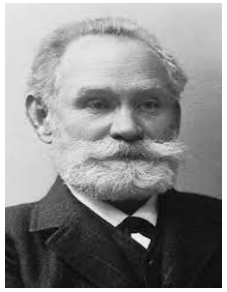
(Inherente al sistema científico del materialismo científico en la URSS)

En la visión pavloviana, el aprendizaje motor utiliza la repetición para fortalecer las vías neurales que llevan los impulsos motores al músculo

Según este modelo, si quieres ejecutar bien un movimiento, simplemente envía el mismo impulso nervioso desde el cerebro y repite el gesto



Para Bernstein ese proceso no es tan simple:
La fuerza ejercida por un músculo depende también de los pequeños reajustes que precisa el gesto en cada repetición



"REPETITION WITHOUT REPETITION"

Es decir, el mismo estímulo nervioso enviado al músculo no siempre dará como resultado que el músculo ejerza el mismo grado de fuerza ni ejecute, exactamente, el mismo patrón de movimiento

Factores como la presencia de fuerzas nuevas o cambios en estructuras pueden alterar la respuesta y el patrón de ejecución

MÍNIMOS CAMBIOS PROVOCAN RESPUESTAS DIFERENTES

LEVELS OF CONSTRUCTION OF MOVEMENTS



NIKOLAI ALEKSANDROVICH BERNSTEIN

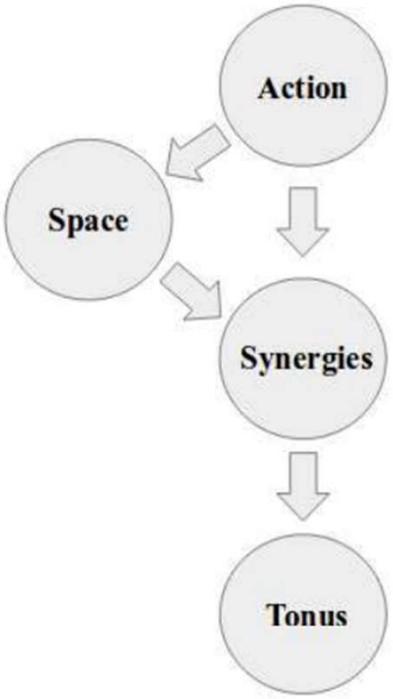
(1896-1966)



CONSTRUCCIÓN JERÁRQUICA DEL MOVIMIENTO

(METÁFORA DE LA ESCALERA EVOLUTIVA)

"El nivel superior del sistema de movimiento está constituido por parámetros topológicos, quedando los aspectos métricos y la selección de grupos musculares a utilizar, a merced de los niveles inferiores de dicho sistema"



Construcción Jerárquica del Movimiento

Teoría del Aprendizaje Motor desde una perspectiva Ecológica & de Sistemas Complejos Sustentada en Conceptos Organizativos de la Cibernética

***Contracción Muscular de Base* (*Nivel de Tono & Postura*):** Nivel medular. preparación básica en el sustento y construcción de patrones de movimiento a realizar.

Sinergias & Espacio

Acción. Desde la corteza frontal se controlan secuencias de movimientos organizados para responder a un patón que requiere diferentes pasos y ajustes para su correcta ejecución.

NIVELES DE ESTRUCTURA DE MOVIMIENTO

(A, B, C, D y E)

ESCALERA EVOLUTIVA



A. **Nivel de Tono Muscular & Postura;**
B. **Nivel de Sinergia (Contracciones Musculares Coordinadas);**
C. **Nivel de Campo Espacial;**
D. **Nivel de Acciones Objetivas (Cadenas Semánticas);**
E. **Nivel de los Actos Motores Intelectuales o Nivel Cortical Superior de Coordinación Simbólica (escritura, habla, etc.).**

Cada nivel corresponde a determinadas formaciones anatómicas del sistema nervioso central y correcciones sensoriales características únicamente de él

El grado de desarrollo de los niveles de coordinación individual puede variar de una persona a otra. Por lo tanto, uno u otro grado de desarrollo y capacidad de entrenamiento es característico no de movimientos individuales, sino que debe ser entendido y abordado como contingentes enteros de movimientos controlados por uno u otro nivel

CONSTRUCCIÓN JERÁRQUICA DEL MOVIMIENTO

(NIKOLAI ALEKSANDROVICH BERNSTEIN: ESCALERA EVOLUTIVA)

NIVEL DE TONO. Nivel medular. Establece el vínculo entre los sistemas neuronal y muscular. Su función es preparar estructuras músculo-articulares para responder adecuadamente a las órdenes de los niveles superiores de construcción del movimiento (S.N.C.) cambiando la excitabilidad de células sensoriales y motoras.

NIVEL DE SINERGIAS (Vínculos Musculares-Articulares). Al residir en el cerebro medio, limita los *grados de libertad* del aparato motor y garantiza la coherencia de los movimientos controlando los diferentes grupos musculares. Están determinadas por la información propioceptiva de todo el organismo. Su función es corregir los detalles de los movimientos.

NIVEL DEL ESPACIO. Ejecución de un movimiento dirigido a un objetivo concreto. Tiene un aporte de estimulación óptica, acústica y táctil que genera el entorno. Percepción del espacio exterior basada en percepciones sensoriales y experiencias previas.

Importante destacar que, cuando se actúa sobre el *Nivel de Sinergias*, el *Nivel del Espacio* no afecta en cómo se produce un movimiento; en cambio, informa al *Nivel de Sinergias* si un determinado movimiento dirigido a un objetivo concreto es posible.

NIVEL DE ACCIONES OBJETIVAS. Reside en corteza frontal. Responsable de controlar secuencias de movimientos organizados para adaptarse a un problema de conducta que requiere muchos pasos para su ejecución correcta.

University of Economics in Katowice

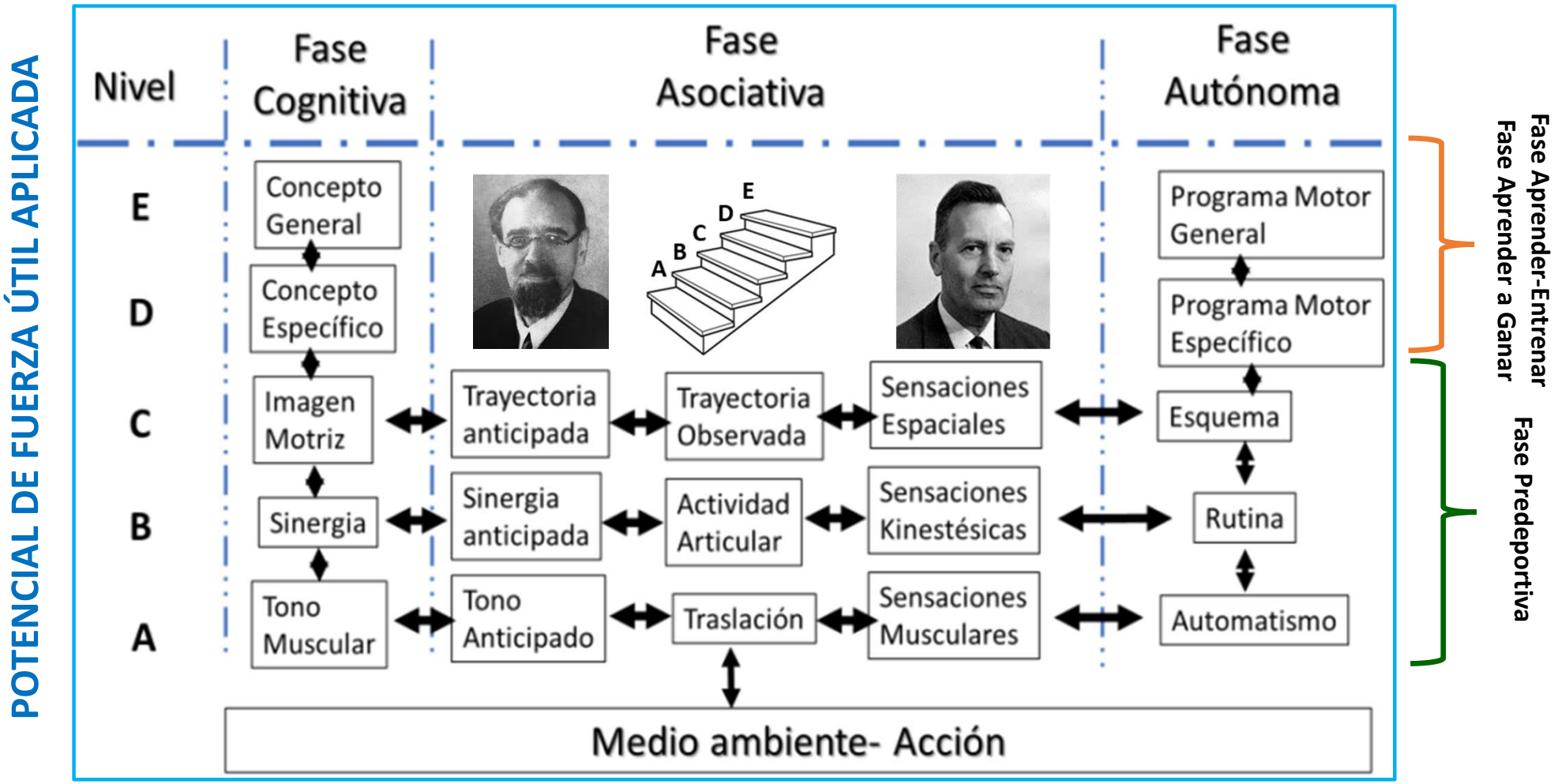
The motor learning process in Humans: Down and Up Bernstein's ladder

Waclaw Petrynsky (2010)

En Luis Miguel Ruiz. "***A Propósito de Bernstein. Pensamientos y Reflexiones sobre el Aprendizaje Motor y Deportivo***". Madrid. 2024.

Modelo de Nikolai Bernstein y las Fases del Aprendizaje Motor según Paul Morris Fitts

ESCALERA EVOLUTIVA DEL APRENDIZAJE MOTOR

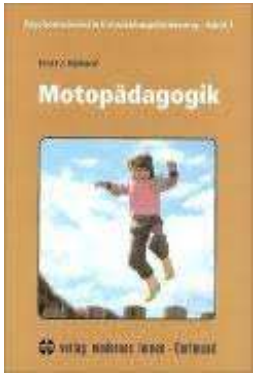




MOTOLOGÍA KIPHARD

(ESTRUCTURA Y COMPONENTES)

ERNST "JOHNNY" KIRPHARD (1923-2010)



EL CONTROL MOTOR COMO PRIMER PASO HACIA EL AUTOCONTROL

MOTOLOGÍA

Ciencia del Desarrollo Sensomotor, Perceptivo Motor, Psicomotor y Acciomotor así como sus alteraciones y metodologías de trabajo

MOTOGÉNESIS

Desarrollo y diferenciación del comportamiento y rendimiento motor

MOTOPATOLOGÍA

Etiología y fenomenología de las alteraciones sensomotoras

MOTODIAGNÓSTICO

Métodos de evaluación y valoración del desarrollo motor, rendimiento motor y comportamiento motor

EDUCACIÓN MOTRIZ

Educación de la personalidad a través de sensaciones sensomotoras, perceptivomotoras, psicomotoras y sociomotoras

TERAPIA MOTRIZ

Métodos de orientación motriz para mejora de alteraciones y/o retrasos evolutivos de la motricidad



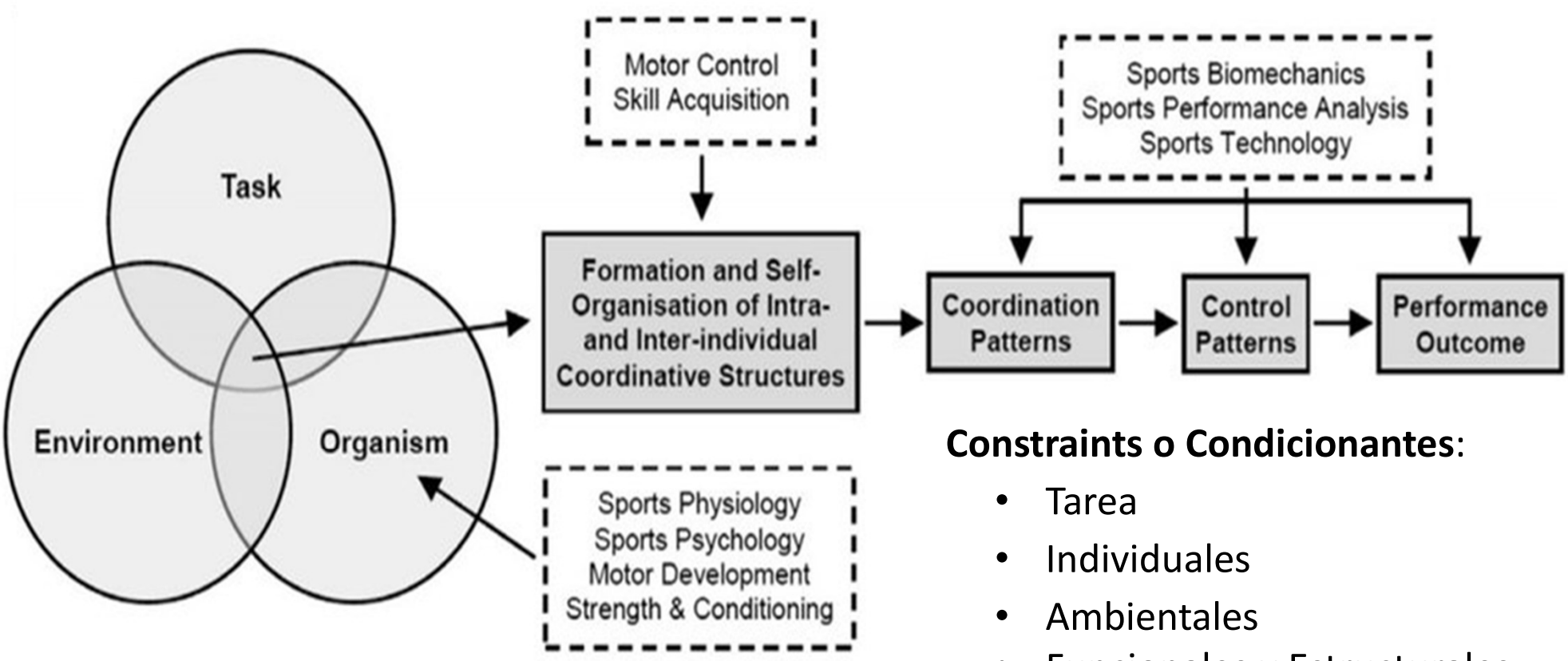
KARL M. NEWELL (NACIDO 1945)

COORDINATION, CONTROL AND SKILL

(Coordinación, Control y Habilidad)

Advances in Psychology, 27, 295-317. 1985

Plantea la existencia de diferentes ***constraints*** o ***condicionantes*** que influyen, desde una perspectiva dinámico-ecológica, en la ejecución de un gesto



Constraints o Condicionantes:

- Tarea
- Individuales
- Ambientales
- Funcionales y Estructurales

ENTRENAMIENTO FUNCIONAL



PROPUESTA DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN BASE AL MOVIMIENTO

TODO ES FUERZA

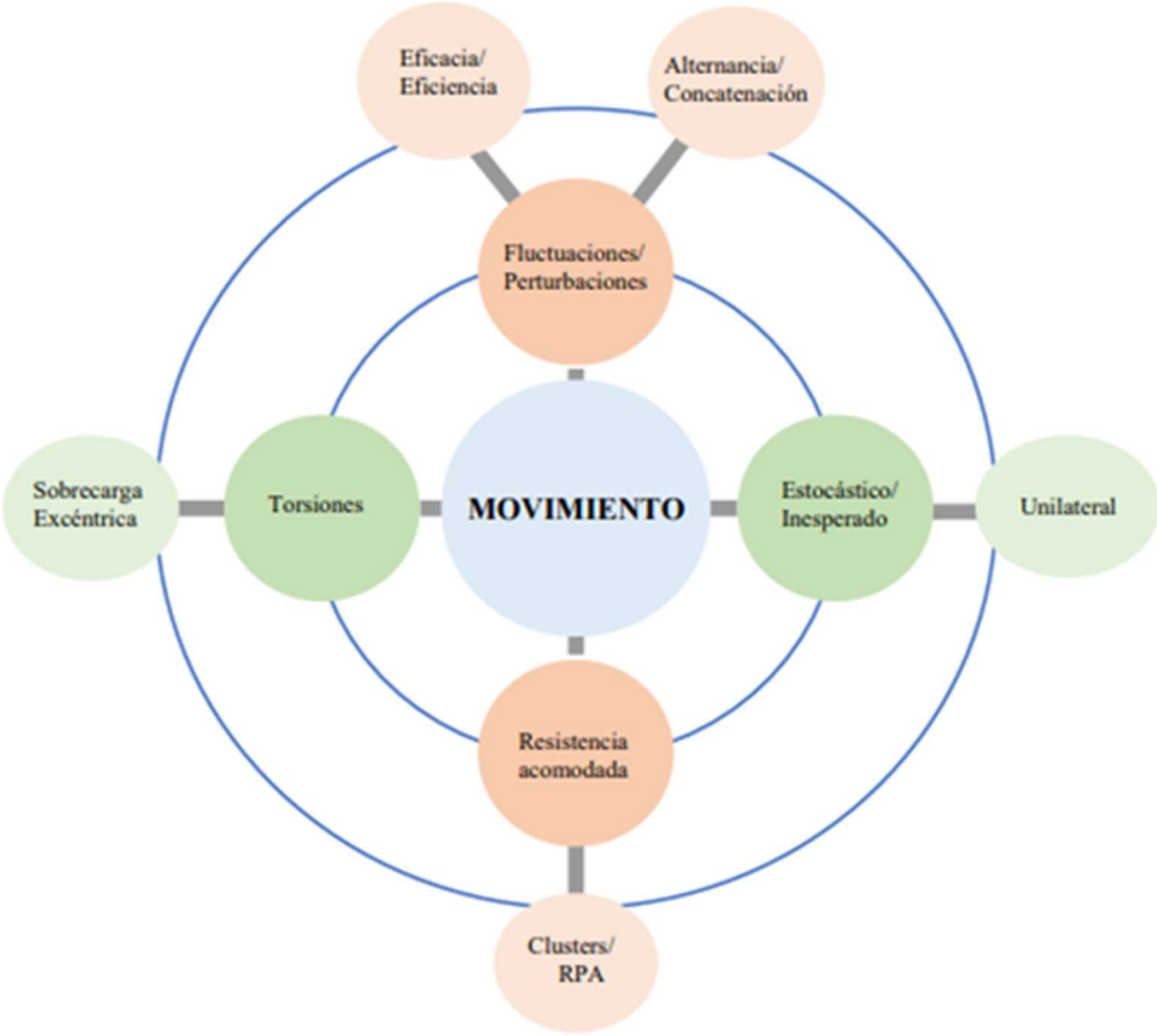
Julio Tous Fajardo

En Francisco Seirul-lo

EL ENTRENAMIENTO DE LOS DEPORTES DE EQUIPO

Barcelona. Mastercede. 2017.





ADAPTACIÓN DEL MODELO DE TRANSFERENCIA

NIVEL DE CORRESPONDENCIA DINÁMICA (MECÁNICA) & CORRESPONDENCIA MOTORA (GESTUAL)

AL ENTRENAMIENTO FUNCIONAL DE LA FUERZA





EL PROBLEMA DE LOS CONCEPTOS "ENTRENAMIENTO FUNCIONAL" Y "EJERCICIOS FUNCIONALES"

American College of Sports Medicine position stand.
Progression models in resistance training for healthy adults.
American College of Sports Medicine
Medicine Science Sports and Exercise; 41(3), 687-708. 2009.



Para ser considerado "funcional":
el entrenamiento debe enfocarse en mejorar los patrones de movimiento

Functional movement screening:
Fundamental movements as an Assessment of Function- Part 2.
Cook G, Burton L, Hoogenboom BJ & Voight ML.
International Journal of Sports Physical Therapy; 9(4), 549-63. 2014.

Combinaciones intencionales de segmentos estables y móviles que trabajan coordinadamente para producir movimientos eficientes

Treinamento funcional para idosos:
uma breve revisão
Resende-Neto AG, Da Silva-Grigoletto ME & Santos MS.
Revista Brasileira de Ciência e Moviment; 24(3), 167-177. 2016.

Especificidad neuromuscular y metabólica similar a las acciones diarias de la persona o deportista

TREINAMENTO FUNCIONAL:
FUNCIONAL PARA QUE E PARA QUEM?

Da Silva-Grigoletto, M. E., Brito, C. J. & Heredia, J. R.
Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano, 16, 714-719. 2014.

Para ser considerado funcional, el entrenamiento físico debe incluir ejercicios que deben ser seleccionados a partir del criterio de **FUNCIONALIDAD**

Uno de los supuestos asociados al concepto de Entrenamiento Funcional es la TRANSFERENCIA

Influencia de una tarea (Ejercicio o Acción Motriz) sobre la calidad y eficiencia de utra diferente

Eso supone la utilización de ejercicios: Integrados, Variados y Multiplanares

Esto sólo se logra cuando se tienen en cuenta y modulan adecuadamente las siguientes variables :

Universidade Federal de Sergipe

a) **Frecuencia adecuada de los estímulos;**
b) **Volumen de cada sesión;**
c) **Intensidad adecuada;**
d) **Densidad;**
e) **Organización metodológica de las tareas.**



ENTRENAMIENTO FUNCIONAL

(TAREAS CONDICIONADAS Y SUPEDITADAS A LOS GESTOS Y SITUACIONES DE COMPETICIÓN)

OPTIMIZACIÓN DE GRADOS DE LIBERTAD

(MARGEN DE MOVIMIENTO)

The Co-ordination and Regulation of Movements (N.A. Bernstein)

INCERTIDUMBRE EN LA TAREA

(IMPREDICIBILIDAD - ENTROPIA)

Teoría del Caos (Edward N. Lorenz - Henry Poincaré)



COMPLEJIDAD (NO-LINEALIDAD) DE LOS MOVIMIENTOS

Estructural y Funcional (Ilya Prigogine, Edgar Morín, etc.)



VARIABILIDAD GESTUAL

Contextual Movement Variability (N.A. Bernstein)

ESPECIFICIDAD DE LOS GESTOS

(Niveles de Correspondencia Dinámica y Correspondencia Motriz)

(Nikolai A. Bernstein)

ANTICIPACIÓN DE LAS ACCIONES

Death out of frightful expectation of death (Laycock, Carpenter, Bernstein, etc.)

BÚSQUEDA DE MAYOR TRANSFERENCIA AL GESTO DEPORTIVO



The coordination and regulation of movements

Nicolai AJeksandrovitch Bernstein

Oxford: Pergamon Press. 1967.

Sistemas que disponen de elevados

GRADOS DE LIBERTAD

serían siempre difíciles, cuando no imposibles, de controlar

Si existen "Demasiados Grados de Libertad",

debes renunciar a algunos de ellos para coordinar adecuadamente tus movimientos

SE PUEDE CALCULAR LOS GRADOS DE LIBERTAD DE CUALQUIER SISTEMA



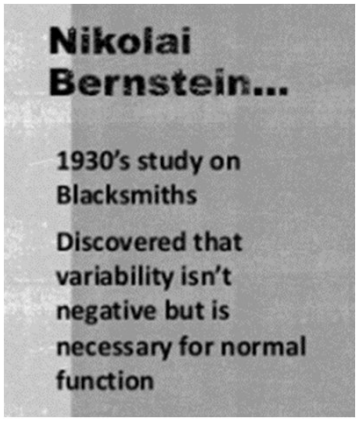
GRADOS DE LIBERTAD = N*D - C

DONDE:

N = Número de Elementos en el Sistema

D = Dimensión del Sistema

C = Número de Restricciones



Los PATRONES DE MOVIMIENTO creados por los COMANDOS MOTORES activados no pueden ser los mismos cada vez que se realiza un mismo Gesto porque cada acción depende de diferentes contextos donde se ejecuta

HIPÓTESIS Y SOLUCIONES PROPUESTAS AL PROBLEMA DE LOS "GRADOS DE LIBERTAD" (1)

HIPÓTESIS DE CONTROL ÓPTIMO

- Plantea como "**optimizar el control motor para un aspecto dado de la tarea**" como una forma de minimizar un cierto "coste" asociado a un movimiento.
- El objetivo del **CONTROL ÓPTIMO** es "**reducir los GDL a partir de dos principios claves**":
  - El "estimador de estado" que dice al SNC lo que está haciendo, incluyendo la retroalimentación sensorial aferente y una copia eferente del comando motor;
  - Las ganancias por retroalimentación ajustables basadas a partir de los objetivos de la tarea.

MODELOS DE CIRCUITO ABIERTO Y CERRADO

- En bucle abierto generalmente se ignora el papel de la retroalimentación sensorial;
- El bucle cerrado intenta incorporar retroalimentación sensorial incluyendo retrasos e incertidumbre asociados con los sistemas sensoriales involucrados en el movimiento.

APRENDIZAJE Y CONTROL ÓPTIMO: A medida que los humanos aprendemos un movimiento:

- Primero reducimos los grados de libertad mediante el endurecimiento de la musculatura para tener un control estricto del gesto;
- Luego, gradualmente, "aflojamos" y exploramos los grados de libertad disponibles a medida que la tarea se vuelve más cómoda, y a partir de ahí encontramos una solución óptima.

HIPÓTESIS Y SOLUCIONES PROPUESTAS AL PROBLEMA DE LOS "GRADOS DE LIBERTAD" (2)

LÍMITES DEL CONTROL ÓPTIMO

- Plantea la forma de entender el control motor y el problema de equivalencia motora a partir de cierta información proporcionada antes de que se pueda realizar una predicción del comportamiento. Es decir:
  - Cuáles son los costos y recompensas de ejecutar un movimiento;
  - Cuáles son las limitaciones de la tarea;
  - Cómo se lleva a cabo la estimación del estado.

HIPÓTESIS DE SINERGIA MUSCULAR

- Para reducir el número de GDL sobre los que debe operar el SNC, se ha propuesto que este controla conjuntamente las sinergias musculares, o grupos de músculos coactivados, en lugar de operar sólo sobre músculos aislados.
  - Una sinergia muscular se define como "un vector que especifica un patrón de activación muscular relativa
    - Se cree que la activación absoluta de cada sinergia está modulada por una única señal de comando neuronal".
  - Se ha propuesto que las sinergias musculares surgen de una interacción entre las limitaciones y las propiedades de los sistemas: SNC y musculoesquelético.

HIPÓTESIS Y SOLUCIONES PROPUESTAS AL PROBLEMA DE LOS "GRADOS DE LIBERTAD" (3)

HIPÓTESIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO Y CONTROL DE UMBRAL

Todos los movimientos son generados por el SNC a través de un proceso gradual de puntos de equilibrio a lo largo de una trayectoria deseada.

- "Punto de equilibrio" se entiende como un estado en el que un campo tiene fuerza cero.
    - Eso significa que los músculos opuestos están en equilibrio entre sí, como dos bandas elásticas que tiran de la articulación hacia una posición estable.
- El control del punto de equilibrio también se denomina "control de umbral" porque las señales enviadas desde el SNC a la periferia modulan el umbral de equilibrio de cada músculo.

CONTROL DE FUERZA Y MODELOS INTERNOS

Establece que el SNC utiliza el cálculo y tipo de fuerzas para determinar las trayectorias de movimiento y reducir los GDL.

- El SNC debe formar modelos, una representación de la dinámica del cuerpo en razón del entorno circundante de trabajo.
- Un SNC que controla la fuerza debe generar momentos de torsión basados en la cinemática del patrón predicho (dinámica inversa).
    - Tanto los modelos de retroalimentación (predictivos) como los de retroalimentación del movimiento pueden desempeñar un papel en este proceso.

HIPÓTESIS Y SOLUCIONES PROPUESTAS AL PROBLEMA DE LOS "GRADOS DE LIBERTAD" (4)

Se ha observado que el SNC sólo controla variables relevantes para el desempeño de una tarea, mientras deja otras variables libres

Esto se denomina

"HIPÓTESIS DE LA VARIEDAD INCONTROLADA" (MCU)

La variedad no controlada se define como el conjunto de variables que, aun presentes, no afectan el desempeño eficiente de la tarea

Por ejemplo, durante una tarea de sentarse o pararse, la posición de la cabeza y el centro de masa en el plano horizontal están más controlados que otras variables, como el movimiento de la mano.

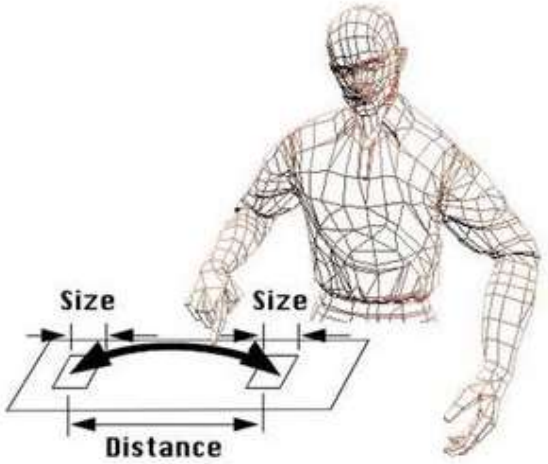
La teoría UCM tiene sentido en la teoría original de Bernstein porque obliga al Sistema Nervioso a controlar únicamente las variables relevantes para el desempeño de la tarea, en lugar de controlar músculos o articulaciones individuales.

HIPÓTESIS Y SOLUCIONES PROPUESTAS AL PROBLEMA DE "GRADOS DE LIBERTAD"



LEY DE FITTS

Paul Morris Fitts Jr.
(1912 –1965)



- **Planteó un modelo predictivo del movimiento que se utiliza principalmente en la interacción y la ergonomía entre humanos y computadoras.**
- **Predice que el tiempo necesario para moverse rápidamente hacia un área objetivo es una función de relación entre la distancia al objetivo y el ancho del objetivo.**
- **Se usa para modelar el acto de señalar, ya sea tocando físicamente un objeto con una mano o dedo, o virtualmente señalando un objeto en un monitor de computadora usando un dispositivo señalador.**



THE COORDINATION AND REGULATION OF MOVEMENTS

Nicolai AJeksandrovitch Bernstein

Oxford: Pergamon Press. 1967.

REPETICIÓN SIN REPETICIÓN

FUENTES PRINCIPALES DE VARIABILIDAD CONDICIONADA POR EL CONTEXTO

A. VARIABILIDAD DE FACTORES ANATÓMICOS:

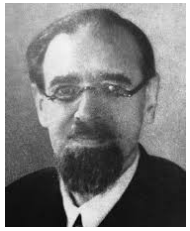
Un músculo cambia su función en función del ángulo de trabajo con respecto a la articulación.
El mismo músculo **NO GENERA** el mismo movimiento cuando cambia la colocación de la estructura.
El comportamiento del músculo depende del contexto.

B. VARIABILIDAD MECÁNICA:

Comprensión del control del movimiento y cómo las fuerzas musculares y externas se complementan entre sí.
El resultado del movimiento puede cambiar, incluso con la misma cantidad de fuerza muscular, debido a influencias externas.
Las fuerzas no musculares (externas) deben aprovecharse, no compensarse.

C. VARIABILIDAD FISIOLÓGICA:

La médula espinal y el cerebro se relacionan entre sí. No es uno de ellos el que está al mando del otro.
Del mismo modo, la señal a las UM no depende únicamente del mensaje de la corteza.
La UM es sensible a la señal del cerebro, pero no están siempre subordinadas a ella.



The coordination and regulation of movements

Nicolai AJeksandrovitch Bernstein

Oxford: Pergamon Press. 1967.

Repetition Without Repetition: Challenges in Understanding Behavioral Flexibility in Motor Skill

Ranganathan R, Lee M. H. & Newell K. M.

Frontiers in Psychology, 11. doi: 10.3389. 2020..

CONCEPTO DE VARIABILIDAD O FLEXIBILIDAD CONDUCTUAL EN EL CONTROL MOTOR

"REPETICIÓN SIN REPETICIÓN"

Describe cómo incluso los movimientos bien aprendidos muestran variación al ser ejecutados de forma repetida en entornos iguales o similares

Se refiere a la capacidad de utilizar múltiples soluciones ejecutando de forma eficiente una tarea o gesto técnico

Estas múltiples soluciones incluyen soluciones que pueden denominarse variaciones del mismo patrón de movimiento (p. ej.: en tenis, usar un golpe de derecha con diferentes cantidades de efecto liftado) y/o soluciones que son lo suficientemente distintas como para poder ser denominadas "cualitativamente" diferentes (por ejemplo, usar un revés o una volea en carrera)

Los 3 principales factores que determinan la flexibilidad o variabilidad son:

- **Las escalas de tiempo durante en las que ocurren las transiciones entre las viejas y las nuevas soluciones de movimiento**
- **Que sea explícita (similar a una estrategia) o implícita (sinergia) y asociada con habilidades cognitivas, como la anticipación y la toma de decisiones.**
- **Las diferentes restricciones a nivel individual (organismo), tarea y entorno.**

Repetition Without Repetition:
Challenges in Understanding Behavioral Flexibility in Motor Skill

Ranganathan, R., Lee, M. H. & Newell, K. M.
Frontiers in Psychology, 11. doi:10.3389/fpsyg.2020.02018. 2018.

Las definiciones de habilidad motora enfatizan aspectos como el logro de la tarea, la consistencia y la eficiencia

La flexibilidad conductual (variabilidad) es fundamental para comprender cómo estos aspectos surgen en contextos que cambian constantemente

FLEXIBILIDAD CONDUCTUAL Y ASOCIADOS DE APRENDIZAJE

- Hace referencia a cambiar directamente las restricciones para desafiar las capacidades del sujeto y observar qué tan bien se cumple el resultado de la tarea
- La transferencia, por otro lado, se refiere a moverse de un punto en el contorno a otro contorno diferente (es decir, un resultado de tarea diferente).

FLEXIBILIDAD CONDUCTUAL Y VARIABILIDAD

- Inferir a partir de la variabilidad de movimiento puede ser difícil porque la variabilidad observada en los patrones de movimiento podría ser parte de un repertorio de movimiento con alta o baja flexibilidad conductual.

FLEXIBILIDAD CONDUCTUAL Y HABILIDAD

- A medida que aumentan los niveles de habilidad o capacidades del sujeto la degeneración del sistema generalmente disminuye.

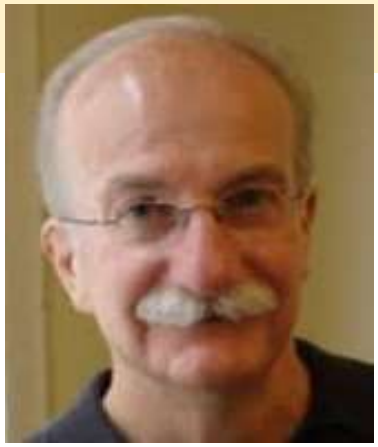
FLEXIBILIDAD CONDUCTUAL Y EXPLORACIÓN

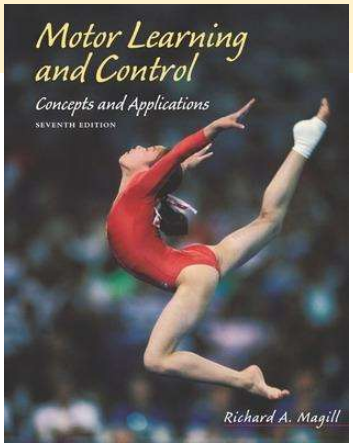
- Se refiere al proceso de buscar y encontrar una nueva solución a un movimiento.
- En ocasiones requieren exploración y creatividad prolongadas para encontrar una solución cualitativamente diferente.

MOTOR LEARNING AND CONTROL: CONCEPTS AND APPLICATION

Richard A. Magill

New York. McGraw-Hill





Influencia de una actividad anterior sobre el aprendizaje de una nueva habilidad

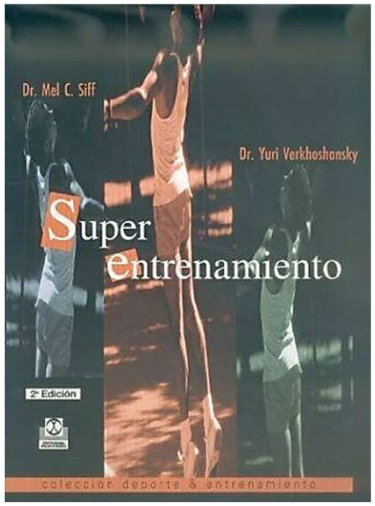
Ganancia (o pérdida) en la capacidad de rendimiento en una tarea como consecuencia de la práctica en otra

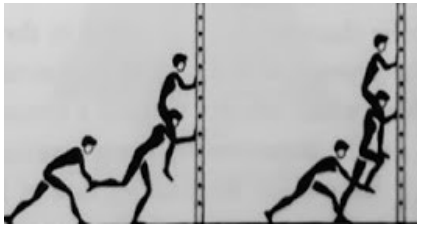
TIPOS DE TRANSFERENCIA :

- **TRANSFERENCIA POSITIVA**: Es la que se produce cuando una tarea mejora el rendimiento sobre otra tarea distinta.
- **TRANSFERENCIA NEGATIVA**: Cuando la realización de un ejercicio dificulta o empeora la realización del siguiente.
- **TRANSFERENCIA NEUTRA:** Una tarea no tiene efecto sobre la otra.



Yuri Verkhoshansky
(1928-2010)





"EFECTO DE TRANSFERENCIA"
"TRANSFERIBILIDAD DEL ENTRENAMIENTO"

PARA QUE UN EJERCICIO O MÉTODO DE TRABAJO CUMPLA EL PRINCIPIO DE CORRESPONDENCIA DINÁMICA Y MOTORA DEBE CUMPLIR CON LOS CRITERIOS DE SEMEJANZA & TRANSFERENCIA EN LOS PARÁMETROS DE:

- **AMPLITUD & DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO:** Características espaciales del movimiento y su relación con el gesto competitivo.
- **ZONAS DE ACENTUACIÓN EN EL DESARROLLO DE LA FUERZA**: Aborda los diferentes niveles de fuerza que se generan en la ejecución de cualquier gesto en todo su rango de movimiento y su relación mecánica con la que se encontrará el deportista en la competición.
- **RITMO & DURACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE FUERZA:** Nivel de explosividad del gesto y su vínculo competitivo. Complementa el parámetro de "*dinámica del esfuerzo*".
- **DINÁMICA DEL ESFUERZO:** Correspondencia cuantitativa entre la dinámica (*Tensión*) de los gestos utilizados en entrenamiento y los que, por su similitud, corresponden al gesto deportivo.
- **RÉGIMEN DE TRABAJO MUSCULAR:** Determinación del tipo de contracción muscular utilizada, adaptándola el gesto competitivo.



Fran Bosch
(nacido 1954)

TRANSFERENCIA Y NIVELES DE ESPECIFICIDAD

FRANS BOSCH

SIMILITUD DEL MOVIMIENTO DE TRABAJO CON EL GESTO DEPORTIVO

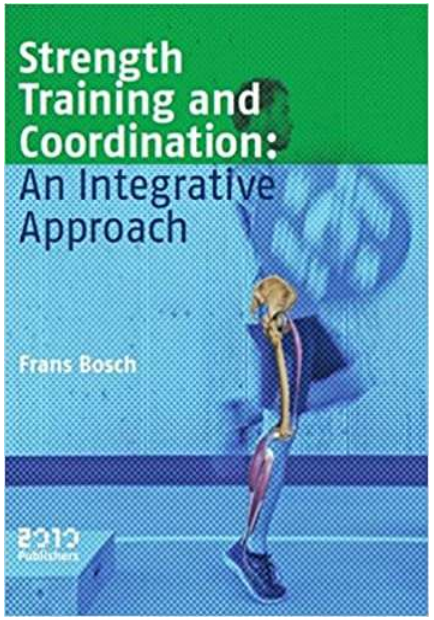
(Similitud Intramuscular & Similitud Intermuscular)

CORRESPONDENCIA DINÁMICA

- **Similitud de Activación de Estructuras Implicadas en el Movimiento:**

CORESPONDENCIA MOTRIZ

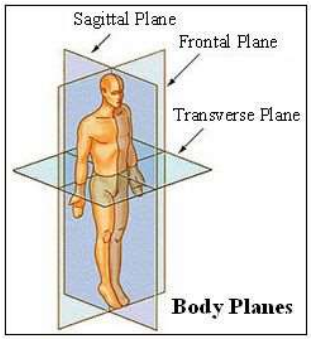
- **Similitud en el Coste Energético de la Actividad**
- **Similitud en los Patrones Sensoriales Solicitados**
  - **Patrones Sensoriales Similares Respecto al Entorno**
    - Percepción (Exterocepción)
  - **Patrones Sensoriales Similares Respecto al Gesto Ejecutado**
    - Propiocepción (Interocepción)
- **Similitud en la Intencionalidad del Movimiento**





FORCE VECTOR TRAINING (FVT)

Bret Contreras (2010)



BASADO EN LAS PROPUESTAS:

CONTEXTUAL MOVEMENT VARIABILITY (BERNSTEIN)

CORRESPONDENCIA DINÁMICA Y MOTRIZ (VERKHOSHANKY)

TEORÍA DE LOS VECTORES DE FUERZA

SE CENTRA EN LA UTILIZACIÓN DE EJERCICIOS CON LA MISMA DIRECCIÓN Y VECTOR DE FUERZA QUE EL MOVIMIENTO ESPECÍFICO QUE DESEAMOS MEJORAR

IMPLICA CARACTERIZAR EL EJERCICIO A PARTIR DEL VECTOR DE FUERZA QUE CARACTERIZA EL MOVIMIENTO DE TRABAJO

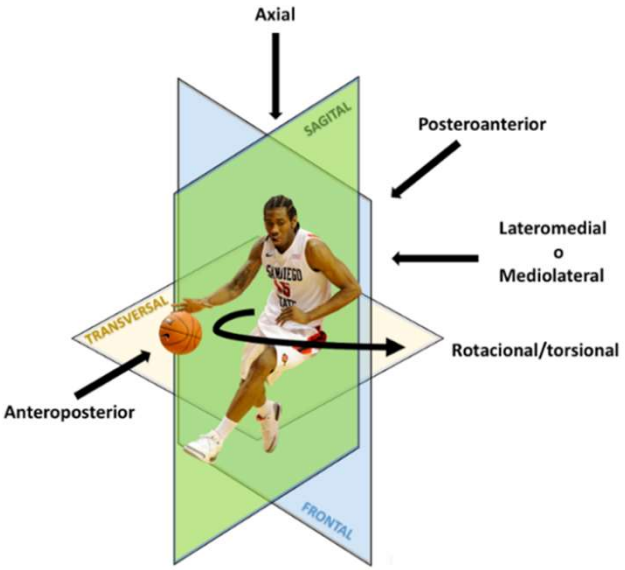
Identifica ejercicios de entrenamiento (p.ej. sentadillas) que pueden tener una elevada especificidad a los movimientos de la competencia (p.ej. correr)

Un vector se define como un segmento orientado que viene caracterizado por:

ORIGEN, MAGNITUD, DIRECCIÓN Y SENTIDO

LOS SEIS VECTORES BÁSICOS DE ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA Y LOS VECTORES ALTERNATIVOS

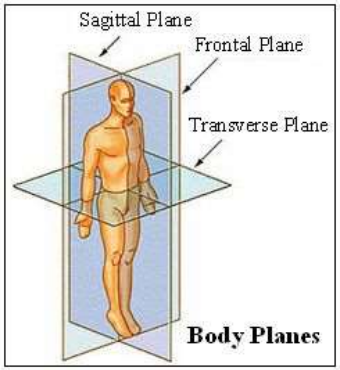
Force Vector Training (FVT) - Bret Contreras (2010) (Modificado)



VECTORES BÁSICOS

1. AXIAL
2. ANTERO-POSTERIOR
3. LATERO-MEDIAL
4. POSTERO-ANTERIOR
5. TORSIONAL
6. CO-CONTRACCIONES

EJERCICIOS BÁSICOS



VECTORES ALTERNATIVOS

7. MIXTO AXIAL/ANTERO-POSTERIOR
8. VARIABILIDAD VECTORIAL (ENTRENAMIENTO DIFERENCIAL)
9. ALTERNANCIA VECTORIAL (ALTERNANCIA Y CONCATENACIÓN)
10. IMPREDICIBILIDAD VECTORIAL (DIVERSIFICACIÓN DE VECTORES)

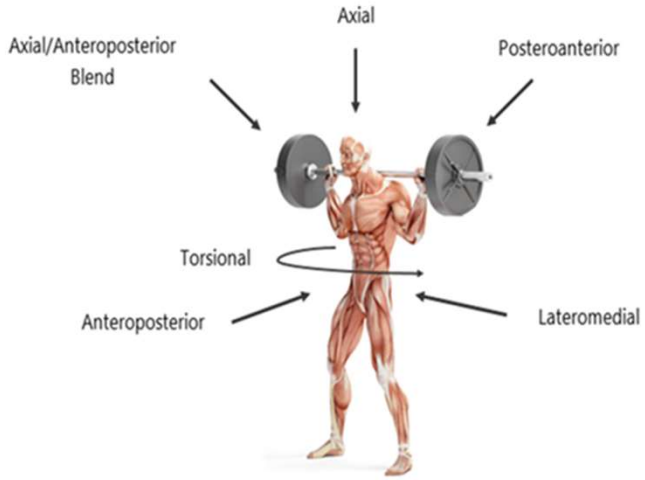
EJERCICIOS ALTERNATIVOS

VECTORES DE FUERZA AXIAL

(Supero-inferior e Infero-superior)

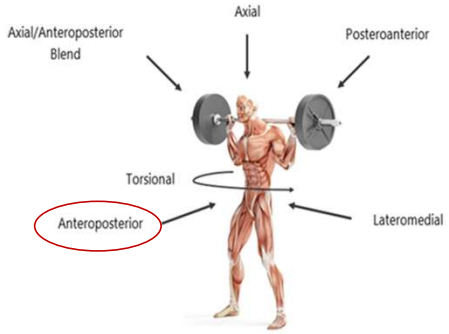
Force Vector Training (FVT)

Bret Contreras (2010)



los seis vectores de carga primaria

- **Squat y sus Variantes**
- **Variantes de Deadlift y Good Morning**
- **Levantamientos Olímpicos (Clean, Jerk, Snatch y sus Variantes)**
- **Squats a 1 Pierna (Static Lunges, Bulgarian Split Squats, Step Ups, Pistols)**
- **Vertical Pressing (Press Militar y sus Variante)**
- **Vertical Pulling (Dominadas (Ponos y Supinas), Remos Verticales, Shrugs-Encogimientos)**
- **Curls de Bíceps con Barra (Plana, Barra-Z, etc.).**
- **Saltos Verticales, Pliométricos Verticales y Saltos a la comba**



VECTORES DE FUERZA ANTERO-POSTERIOR

Force Vector Training (FVT)

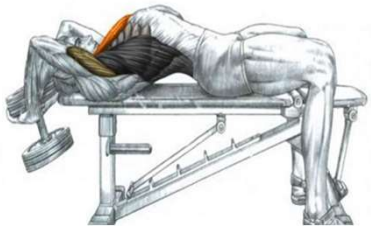
Bret Contreras (2010)



- **Glúteos en Puente a una Pierna**
  - **Glúteos en Banco a una Pierna**
    - **Glúteos en Banco con Barra**
- **Cuadrupedia: Elevaciones Alternativas de Piernas**
- **Tirones de Polea Baja (de espaldas) con Cable entre Piernas**
- **Hiperextensiones de Troco en Banco Scott**
  - **Hiperextensiones Elevando Piernas**
- **Curls Nórdicos de Isquiotibiales**
  - **Puentes focalizando en Isquiotibiales**
- **Bench Press o Push Ups (Fondos Brazos)**
  - **Press con Polea Baja**
- **Planchas (Abdominales)**
  - **Abdominales con Rueda y Abdominales “V”**
- **Pullovers**
- **Sprints**
  - **Boundings**



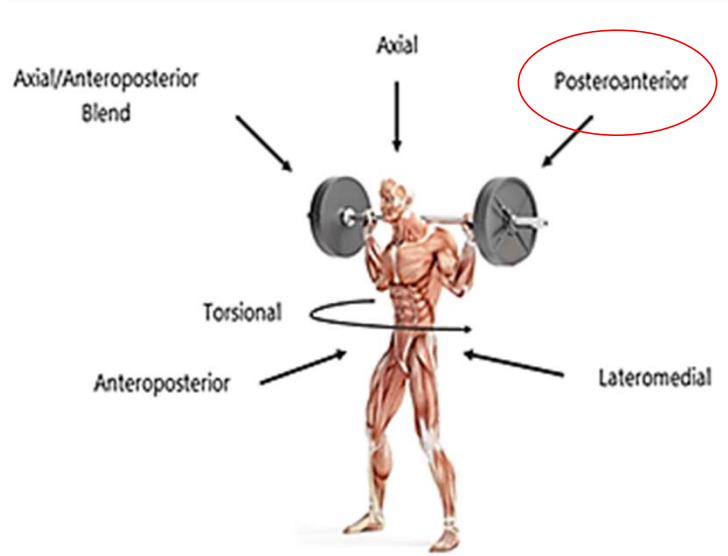




VECTORES DE FUERZA POSTERIO-ANTEROR

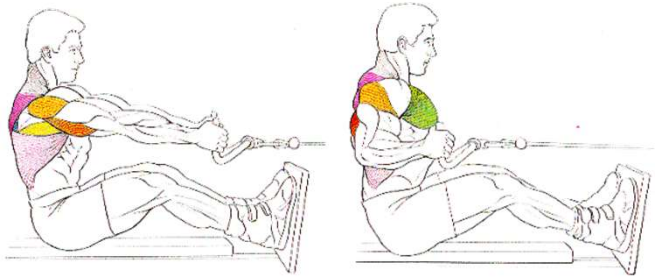
Force Vector Training (FVT)

Bret Contreras (2010)



- Extensiones con Bandas Elásticas
- Lunges con Barras/Mancuernas
- Arrastre Atrás de Trineos
- Remos Sentados
    - Remos Invertidos
        - Remos en Máquina Hammer
            - Remo a una Mano
                - Remo en Polea de Pie
                    - Tirones en Polea Alta
- Hops hacia Atrás
- Sprint en Bici Pedaleando Hacia Atrás



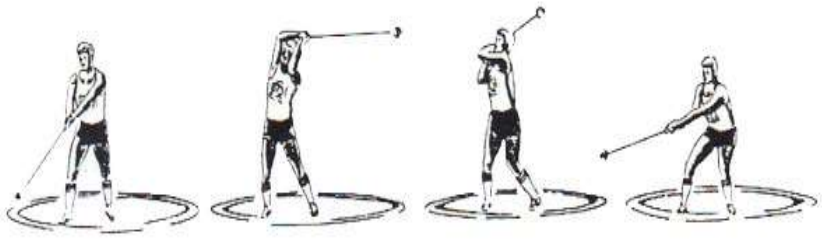


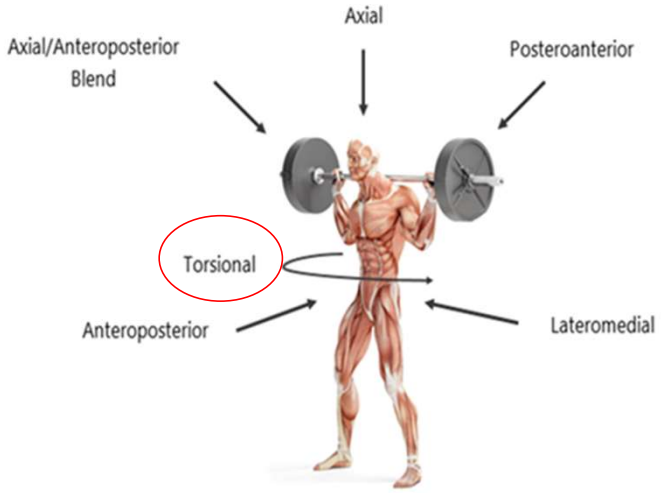


VECTORES DE FUERZA TORSIONAL

Force Vector Training (FVT)

Bret Contreras (2010)

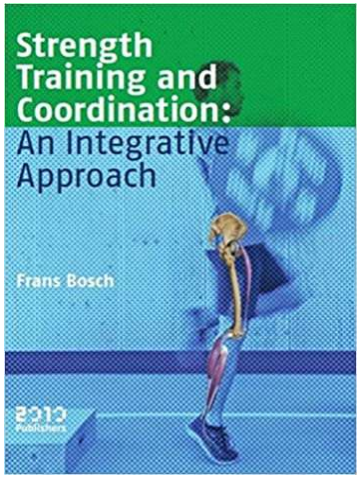


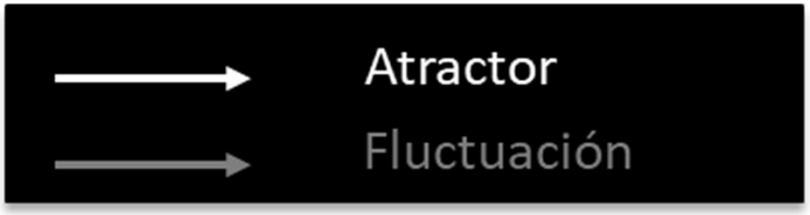


- **Tracciones de Gomas con Rotación (Diferentes Trayectorias)**
- **Tracciones Rotacionales en Polea**
- **Rotaciones de Cadera (Gomas y Poleas)**
- **Volteos y Giros con Balones o Martillos**
- **Multilanzamientos de Balones Medicinales con Rotación**
- **Abducciones y Rotaciones Coxo-Femorales (Gomas)**
- **Pec Deck, Pec Deck Inverso, Aperturas y Pájaros en Diferentes Posiciones (Especial atención a las acciones unilaterales de este movimiento)**
- **Balanceos, Golpeos y Lanzamientos**

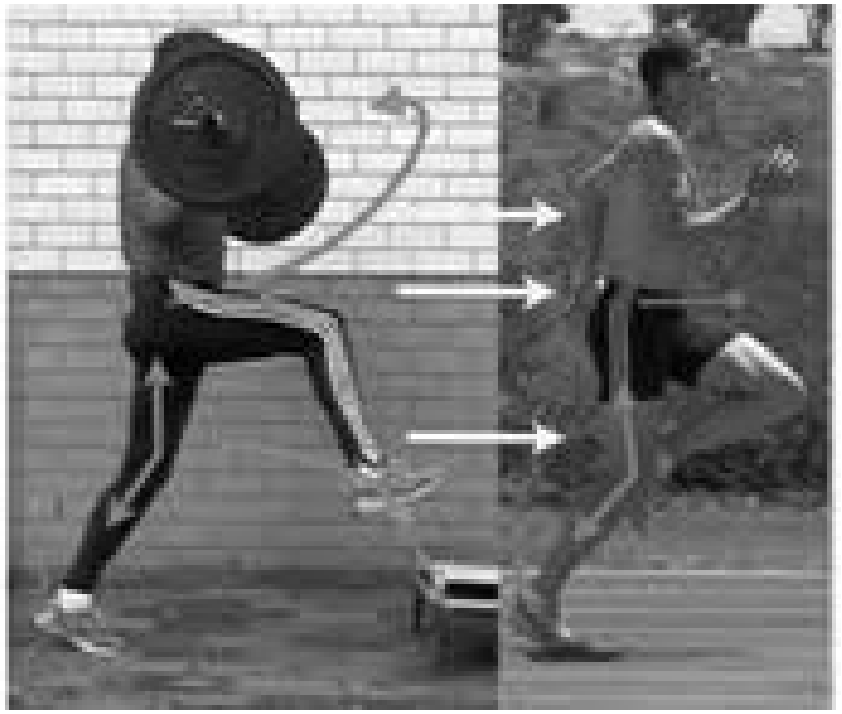
FACTORES LIMITANTES DE LOS NIVELES DE ESPECIFICIDAD

(FRAN BOSCH)





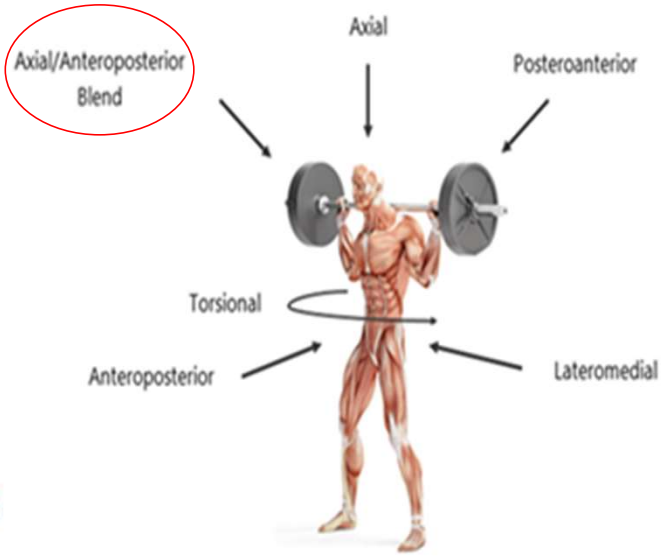
- VALORES (NIVELES) DE SOBRECARGA
  - CORRESPONDENCIA DINÁMICA
- VELOCIDAD DE EJECUCIÓN DEL GESTO
- GRADOS DE LIBERTAD
- VARIABILIDAD DEL GESTO EJECUTADO
  - FLEXIBILIDAD
- POTENCIAL TRANSFERENCIA NEGATIVA



VECTORES DE FUERZA MIXTOS AXIAL/ANTERO-POSTERIOR

Force Vector Training (FVT)

Bret Contreras (2010)







- **Paso Profundo**
- **Hiperextensiones 45º**
- **Kettlebell Swings**
- **Patadas traseras en cuadrupedia, Leg Press invertidos, Power Runner Machine y Leg Press**
- **Bench Press Inclinados, Bench Press Declinados y Tríceps en Banco (Dips)**
- **Remo con Barra, Remo con Barra T y Remo en Plano Inclinado**
- **Empujar Carros y Arrastrar Carros**
- **Caminar con Cargas (manos) y Caminar con Cargas en los Hombros (Yoke Walks)**
- **Sprints**
    - **Aceleraciones, Correr a Saltos y Empujar un Rival**

ENTRENAMIENTO O APRENDIZAJE DIFERENCIAL

- **FLUCTUACIONES de los PATRONES DE MOVIMIENTO** y la **INCERTIDUMBRE como VARIABLES DETERMINANTES para lograr, y poder explicar, las ADAPTACIONES GENERADAS y su TRANSFERENCIA al Gesto Deportivo.**





- **Se persigue que el deportista EXPLORE SU CAPACIDAD PERCEPTIVO-MOTORA, en busca de DESARROLLLAR NUEVOS PATRONES COORDINACINATIVOS O ATRACTORES DE EJECUCIÓN, que le lleven al descubrimiento de la respuesta muscular más adecuada para resolver, de forma específica y efectiva, las diferentes situaciones con las que se deberá enfrentar un deportista durante la realización de cualquier modalidad deportiva.**

IMPREDICIBILIDAD



La impredicibilidad es un parámetro consustancial a todos los deportes de estructura abierta y, por lo tanto, un elemento fundamental a tener en cuenta en el diseño de los programas de entrenamiento



EDWARD NORTON LORENZ (1917-2008)

"Entonces supe que la atmósfera real se comportaba de forma inestable …, los pronósticos meteorológicos a largo plazo eran imposibles … los sistemas dinámicos complejos tales como el tiempo climático son tan increíblemente sensibles que el menor detalle puede afectarlos"

Esta propiedad básica de los sistemas caóticos es lo que los matemáticos llaman

DEPENDENCIA SENSIBLE A LAS CONDICIONES INICIALES

Fenómeno popularmente conocido como:

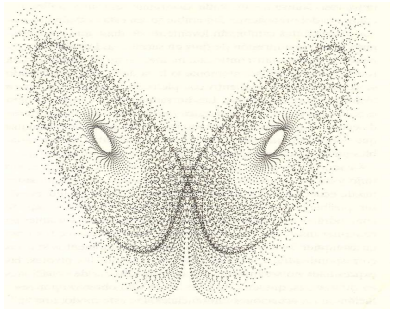
EFECTO MARIPOSA

DETERMINISTIC NONPERIODIC FLOW

Edward Norton Lorenz

Journal of Atmospheric Sciences, 20, 130-141. 1963.

Lorenz planteó que pequeñas diferencias en un sistema dinámico (p.ej. la atmósfera o la meteorología) podrían generar diferentes resultados que, a menudo, pueden llegar a ser sorprendentes o insospechados



PREDICTABILITY: DOES THE FLAP OF A BUTTERFLY'S WING IN BRAZIL SET OFF A TORNADO IN TEXAS?

Edward Norton Lorenz (1972)

American Association for the Advancement of Science



EFECTO MARIPOSA

El batir de las alas de una mariposa puede provocar un huracán en otra parte del mundo

TEORÍA DEL CAOS Y EFECTO MARIPOSA

Explican que algo tan complejo como el universo (un sistema caótico flexible)

ES IMPREDECIBLE

EJERCICIOS DE FUERZA INCORPORANDO ELEMENTOS INESPERADOS

(IMPREDICIBILIDAD VECTORIAL)







Consiste en incluir, dentro de los ejercicios,

ELEMENTOS DISTORSIONANTES INESPERADOS

que alteren la resistencia a vencer (aumentándola o disminuyéndola), la trayectoria del movimiento, el equilibrio, el patrón de movimiento, la acción muscular, etc.

SU APLICACIÓN BUSCA:

RÁPIDAS ADAPTACIONES DE AJUSTE NEUROMOTOR

Similares a los que sufre el deportista en aquellas modalidades deportivas en las que las técnicas no son cerradas y se pueden ver significativamente alteradas por la acción de rivales/compañeros o variaciones del terreno.

Effects of resistance training using known *vs* unknown loads on eccentric-phase adaptations and concentric velocity

Hernández-Davó, J.L., Sabido, R., Behm, D.G. & Blazevich, A..J.

Scandinavian Journal Medicine Science Sports;28, 407-417. 2018.



MUESTRA: 25 jugadores Juniors de balonmano altamente entrenados

PROTOCOLOS: 4 semanas de entrenamiento (2d/s)

- PB con rebote de cargas variables (30%, 50% y 70% del 1RM] conocidas (KL).
- PB con rebote de cargas variables (30%, 50% y 70% del 1RM] desconocidas (UL)
- Se midió: Velocidad concéntrica y excéntrica, Energía Cinética excéntrica (EC) y Rigidez (R) musculo-articular antes de la transición excéntrica/concéntrica.

RESULTADOS:

- Aumentos similares en $\mathbf{V_{ECC}}$ y **EC** 30% de KL y UK, pero mayores en UL con 50-70% 1RM.
- UL aumenta la **R** en todas las cargas (con mayor magnitud de cambios).

KL mejoró V_{CC} solo con cargas del 30% 1 RM; **UL mejoró con cargas de 50% y 70% 1RM**

- UL logró mayores mejoras en V_{CC} potencialmente por **Δ** en **V** (así como **R** y **EC**) de la fase excéntrica.

EL ENTRENAMIENTO DE CARGA DESCONOCIDA PARECE UNA ESTRATEGIA EFICIENTE PARA LA MEJORA DE LA FUERZA Y LA POTENCIA EN LOS MOVIMIENTOS CON CICLO DE ESTIRAMIENTO-ACORTAMIENTO

DEATH OUT OF FRIGHTFUL EXPECTATION OF DEATH

Aleksander Nikolaievich Bernstein

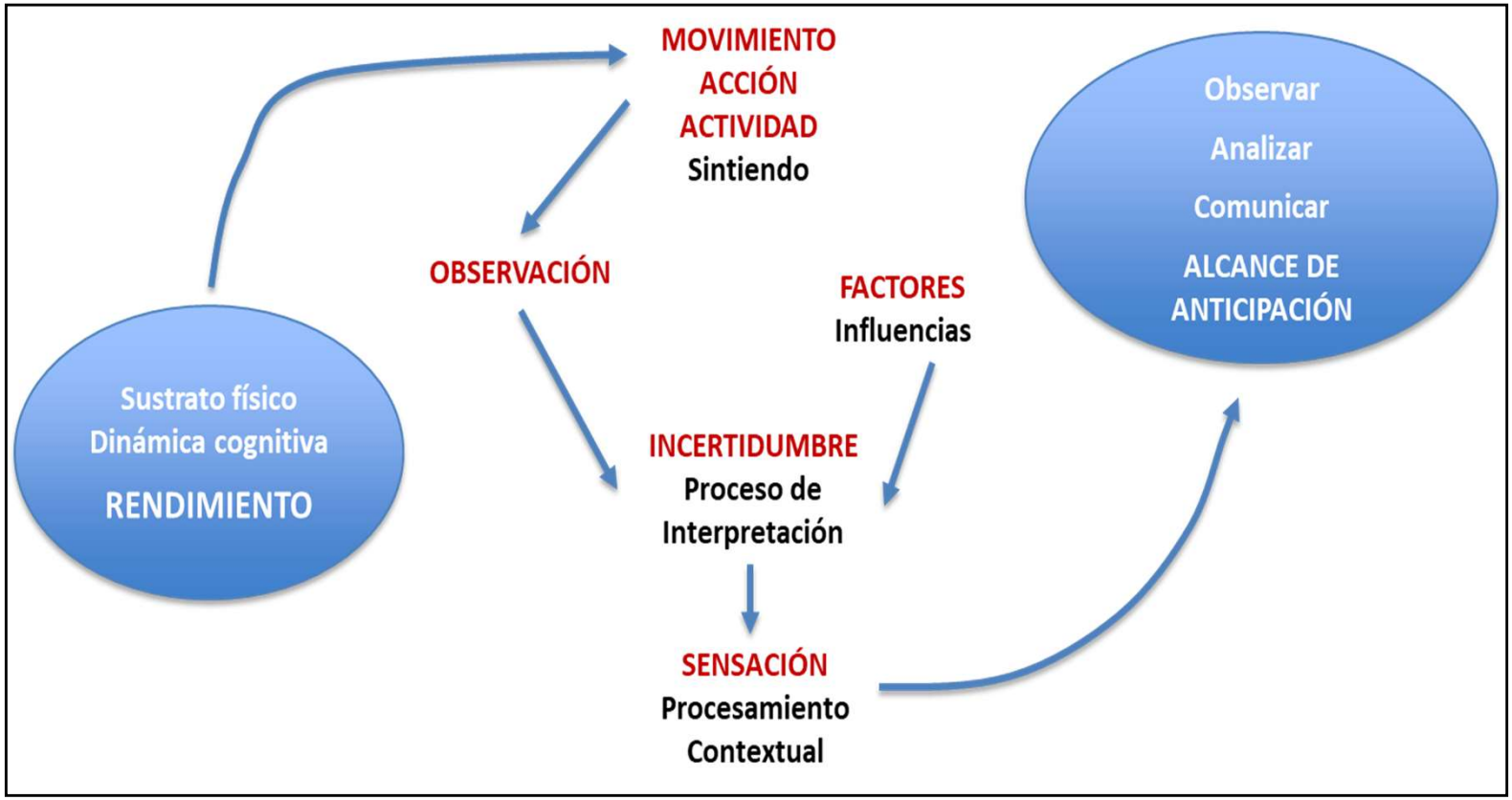
Science of Life, 2, 149 (1965)

ANTICIPACIÓN

EL FUTURO COMO UN FACTOR DETERMINANTE DE LA ACCIÓN

LA ANTICIPACIÓN COMO UN ELEMENTO CONSTITUTIVO ESENCIAL DEL MOVIMIENTO

El proceso de anticipación es el resultado de mecanismos de naturaleza sistémica y de condición no determinista



ANTICIPACIÓN MOTRIZ

(TEORIA IDEOMOTRIZ)

William James (1842 - 1910)

William Benjamin Carpenter (1813 - 1885)

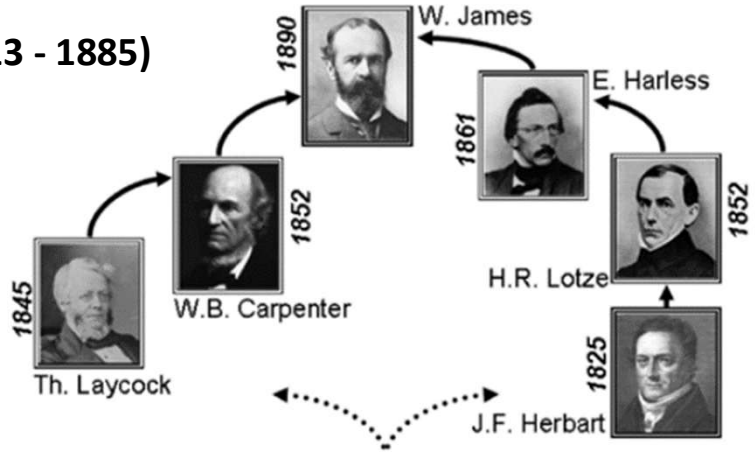
Thomas Laycock (1812–1876)

Emil Harleß (1820 - 1862)

Rudolf Hermann Lotze (1817 –1881)

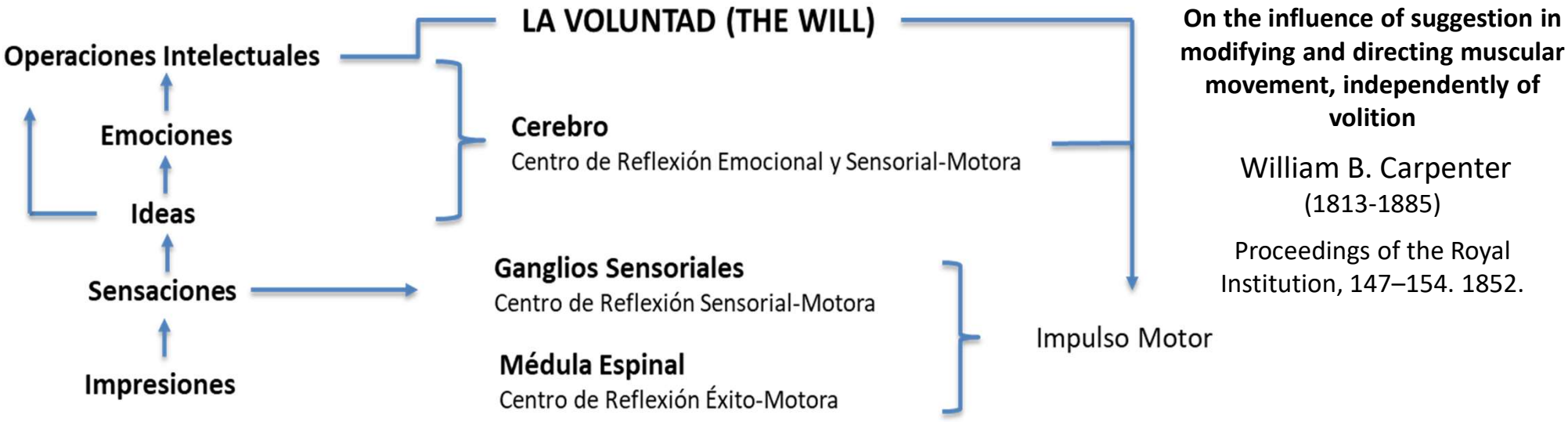
Johann Friedrich Herbart (1776 - 1841)

ESCUELA INGLESA



ESCUELA ALEMANA

Influencias Fisiológicas, Filosóficas y Psicológica de sXVII y sXVIII



On the influence of suggestion in modifying and directing muscular movement, independently of volition

William B. Carpenter
(1813-1885)

Proceedings of the Royal Institution, 147–154. 1852.

INTERFERENCIA

WILLIAM F. BATTIG (1929-1979)

Evidence for coding processes in "rote" paired-associate learning
Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 5(2), 177-181. 1966.

Intratask Facilitation ⇒ Interferencia Contextual
Interferencias provocadas por la incorporación de otras tareas o variaciones en la inicial

LAS INTEFERENCIAS EN EL ÁMBITO MOTOR

H.T.A "JOHN WHITING (1929-2001)

LA PRÁCTICA ALEATORIA

Planteaba que los aprendizajes de acciones motrices deberían incluir siempre la búsqueda, a través de la práctica, de la solución de un problema determinado

ENTRENAMIENTO DIFERENCIAL

El término **DIFERENCIAL**, **Wolfgang I. Schöllhorn** (nacido en 1960) lo toma del ***cálculo diferencia***l (*cuando delta x tiende a cero y se convierte en dx*) y del trabajo del filósofo **Jacques Derrida** (1930-2004) sobre "***la différance***"

Con este término deseaba enfatizar la necesidad de considerar las mínima diferencias existentes entre dos movimientos consecutivos

Schöllhorn comparó sus propuestas de ***perturbación*** y ***ruido*** con las planteadas por la aleatoriedad de las propuestas de la ***interferencia contextual***, lo que le permitió comprobar que el nivel de aprendizaje era mayor con su propuesta

Critica lo que habitualmente denomina una comprensión coloquial de la aleatoriedad

Schöllhorn adopta posiciones derivadas de la
Teoría de los *Sistemas Dinámicos*
y plantea el papel que la ***Resonancia Estocástica*** tiene lugar durante un proceso de Aprendizaje Motor



ENTRENAMIENTO O APRENDIZAJE DIFERENCIAL

Applications of systems dynamic principles to technique and strength training

Wolfgang Inmanuel Schöllhorn (nacido en 1960)

Acta Academiae Olympiquae Estoniae, 8, 67-85. 2000.

Universidad Gutemberg-Mainz

Considerando las FLUCTUACIONES como DESVIACIONES DEL PATRÓN DE REFERENCIA, obligando a que el deportista reaccione y se adapte, constantemente, a las RESTRICCIONES CAMBIANTES DEL ENTORNO (*Constrains* o *Ruido*).

OBJETIVO: desarrollar estrategias diferentes y aprender mecanismos que permitan respuestas rápidas, eficientes y seguras ante situaciones no previstas durante la ejecución de un movimiento.

PROCEDIMIENTOS :

- **MODIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES Y/O FINALES DEL MOVIMIENTO**
- **CAMBIO EN LA UTILIZACIÓN DE ELEMENTOS INTEGRADOS EN LA EJECUCIÓN**
- **TRANSFORMACIÓN DEL PATRÓN TEMPORAL DE LOS MOVIMIENTOS**
    - **VALORES ABSOLUTOS Y RELATIVOS DE DURACIÓN Y RITMO DE EJECUCIÓN**



ENTRENAMIENTO O APRENDIZAJE DIFERENCIAL

Apprendimento differenziale: un turbo per il corpo e per il cervello
Schöllhorn W. I., Henz D. & Horst F.
SDS-Scuola dello Sport, XXXVI. 114, 9-18 . 2017.



CUANDO EL RUIDO ADQUIERE UN PAPEL CONSTRUCTIVO

CUALQUIER APRENDIZAJE MOTOR,GESTO O ENTRENAMIENTO INVOLUCRA UNA CANTIDAD, MÁS O MENOS GRANDE, DE RUIDO

Entendiendo el ruido como cualquier interferencia que afecta a un proceso de ejecución de un gesto o la ejecución de un entrenamiento

SE SUSTENTA EN DOS CONCEPTOS PRINCIPALES:

- **CONCEPTO DE ESTOCASTICIDAD**: hace referencia a la influencia del ruido (en todas sus facetas) durante un proceso de aprendizaje o entrenamiento.
- **CONCEPTO DE RESONANCIA**: subraya la armonización (PotenciadoraoReductora) de dos o más señales con una tendencia óptima para cada situación

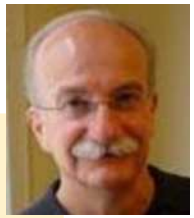
VALOR O NIVEL ÓPTIMO DE RUIDO INCORPORADO:

No es único y depende de múltiples aspectos, entre los que destacan:

- **Principio de Individualidad**
- **Entornos en los que se desarrollan (Restricciones del Entorno)**



ALTERNANCIA Y CONCATENACIÓN DE EJERCICIOS



The locus of contextual interference in motor-skill acquisition
Timothy D. Lee (nacido 1955) & Richard A. Magill (nacido en 1944)
Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 9(4), 730-746. 1983.



Todo es Fuerza
Alternancia y Concatenación de Movimiento *vs*. Práctica Monótona
Julio Tous Fajardo (nacido 1971)
En "El entrenamiento en los Deportes de Equipo" (2017)
Francisco Seirul-lo Vargas (nacido en 1945)



Insertar, o alternar, elementos con la finalidad de obligar a reprogramar o reconstruir los patrones de movimiento que se están ejecutando

La concatenación puede ser en los Planos Biomecánico, Técnico o Táctico



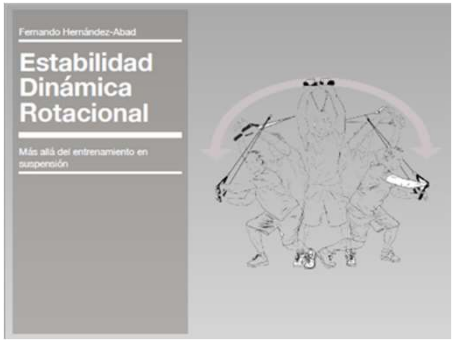


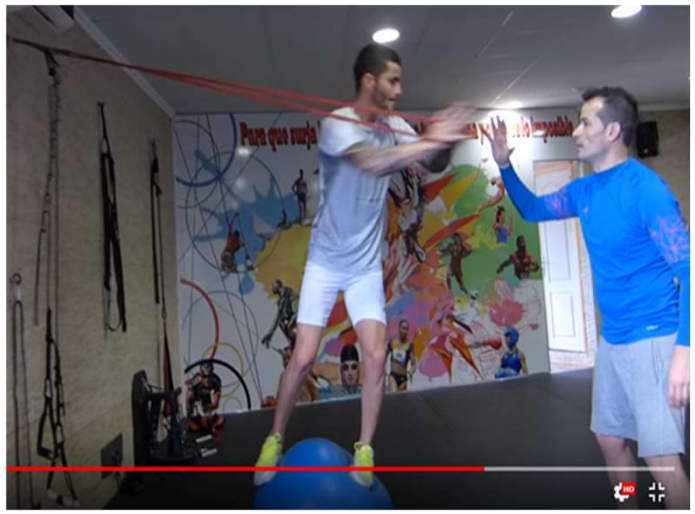
Proponen, entre otras cosas, realizar un movimiento en la Fase de Aceleración y otro diferente, a ser posible antagónico, en la Fase de Desaceleración

DIVERSIFICACIÓN DE VECTORES DE FUERZA

Dynamic Rotational - Stability o Estabilidad Dinámica Rotacional (DRS) (2024)

Fernando Jesús Hernández Abad de la Cruz (nacido en 1976)





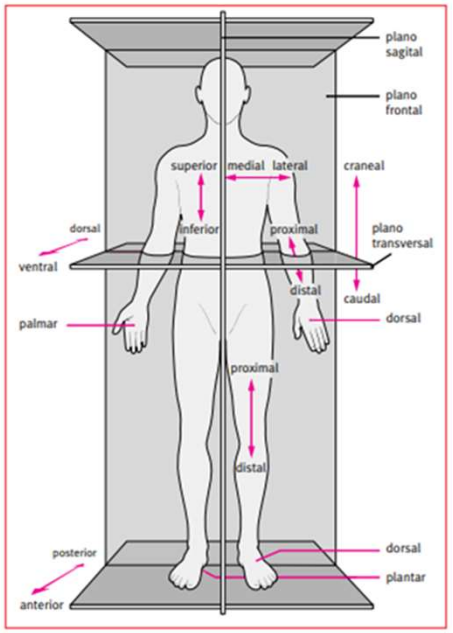
Uso simultáneo de Multipoleas, Polipastos y otros materiales como las Poleas Cónicas, FitBalls, Elastómeros, Vibratorias, Suspensión, etc., con el objetivo de diseñar

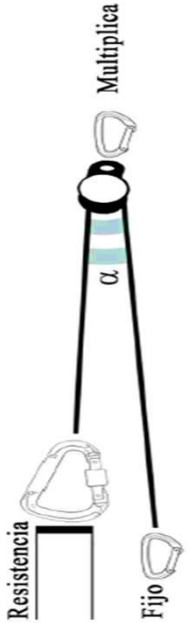
TAREAS MÁS ESPECÍFICAS DE ENTRENAMIENTO

ACTIVIDADES POLIFUNCIONALES

ACTIVIDADES MUTIPLANARES (DRS)







La tridimensionalidad, alternancia e imprevisibilidad de movimientos que se realizan en los diferentes deportes, implica realizar permanentes ajustes posturales anticipatorios y compensatorios que desafían tanto a la integridad como a la funcionalidad de las distintas áreas corporales.

DIVERSIFICACIÓN DE VECTORES DE FUERZA

(Dynamic Rotational - Stability - DRS)

Estabilidad Dinámica Rotacional (EDR)

Fernando Hernández Abad (2021)



ESTABILIDAD DINÁMICA ROTACIONAL

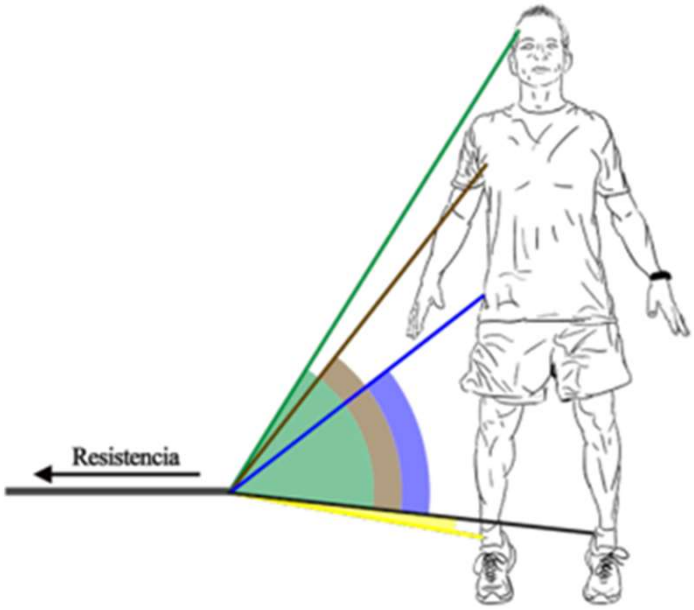
"Capacidad multisistémica de nuestro organismo para dar respuesta temporal, formal y metabólica, a vectores de fuerza que generan momentos de rotación sobre una o varias áreas anatómicas"

DIVERSIFICACIÓN DE PLANOS Y VECTORES:

Variable utilizada para gestionar la carga de entrenamiento.

Consiste en:

"diversificar un vector de fuerza primario mediante una o varias poleas a dos o más áreas anatómicas de manera que la resistencia neta fluctúe entre cada uno de los puntos de fijación secundarios"



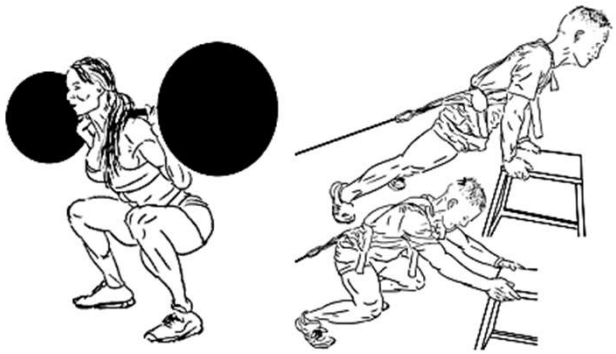
Potencia un alto grado de coactivación muscular

DIVERSIFICACIÓN DE VECTORES DE FUERZA

Dynamic Rotational - Stability o Estabilidad Dinámica Rotacional (DRS)

Fernando Hernández Abad (2021)

EL CONCEPTO DE ESPECIFICIDAD EN LAS TAREAS ABIERTAS



Especificidad Inespecífica
***vs*.**
Inespecificidad Específica

A la izquierda (*Sentadilla*): ejemplo de tarea de gran especificidad en su modelo biomecánico de ejecución que potencia adaptaciones inespecíficas en determinados momentos del proceso de entrenamiento, es lo que se denomina:

ESPECIFICIDAD INESPECÍFICA

A la derecha (*Rugby Squat*): ejemplo de tarea de baja especificidad (abierta) en su modelo biomecánico de ejecución, pero de gran especificidad en la aplicación de fuerza hacia situaciones de juego real, es lo que denomina:

INESPECIFICIDAD ESPECÍFICA

DIVERSIFICACIÓN DE VECTORES DE FUERZA (2024)

Dynamic Rotational - Stability o Estabilidad Dinámica Rotacional (DRS)

Fernando J. Hernández Abad de la Cruz (nacido 1976)

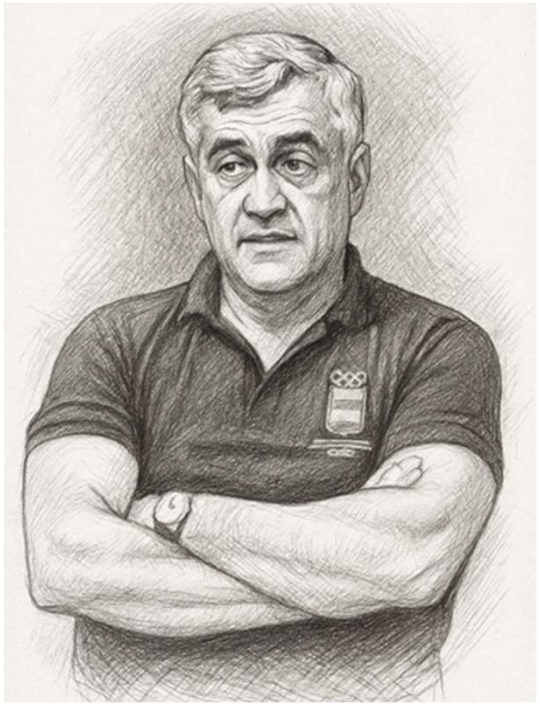


ASPECTOS A CONTEMPLAR EN EL DISEÑOS DE LAS TAREAS

- **Rangos de Movimiento a utilizar en cada serie: Grados de Libertad**
- **Fluctuación de la Resistencia Externa (Carga)**
- **Perturbaciones a Incluir durante la Ejecución de cada Repetición**
  - Sobre el Elemento de Entrenamiento (Goma, Polipasto, Versa, etc.)
  - Sobre el Propio Deportista (Tracciones, Empujones, Desequilibrios, etc.)
- **Introducción de Elementos para la Ejecución**
  - Balones, Raquetas, Sticks, etc.
- **Alteración de Correspondencia Motriz dentro de la Serie**
  - Modificación de los Niveles de Similitud con el Gesto Deportivo

Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo

Dr. Juan Manuel García Manso



"ENTENDIENDO LA FUERZA"

RESPUESTA ADAPTATIVA

¿QUÉ NOS HACE MÁS FUERTES?



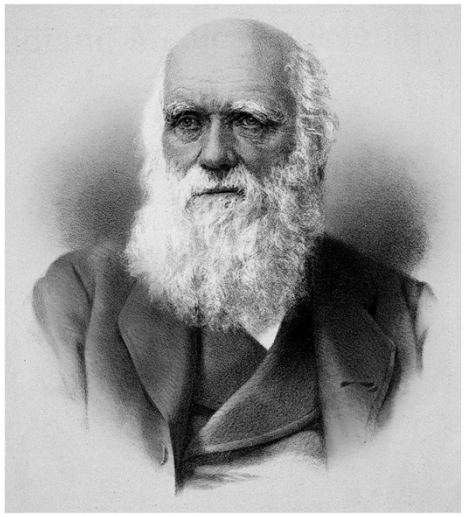
¡¡¡ ASTERIX !!!

- PONTE A ENTRENAR Y OLVIDA LA PÓCIMA -

PUNTO DE PARTIDA

EVOLUCIÓN, ANTROPOMAXIMOLOGÍA & RENDIMIENTO DEPORTIVO

El Deporte es *DARWINIANO*, en el sentido de que solo los sujetos que son, a priori "MÁS APTOS“ (morfológica & físicamente hablando), alcanzarán el Máximo Nivel de Rendimiento en una modalidad deportiva



Charles Robert Darwin
(1809-1882)

Vladimir Vasilievich Kuznetsov
(1931-1986)



DEPORTISTAS DE ALTO NIVEL *VS.* POBLACIÓN NORMAL

Antropomaximología & Ley de Racionalidad

VLADIMIR VASILIEVICH KUZNETSOV (1931-1986)

Departamento de Capacidades de Reserva del Hombre

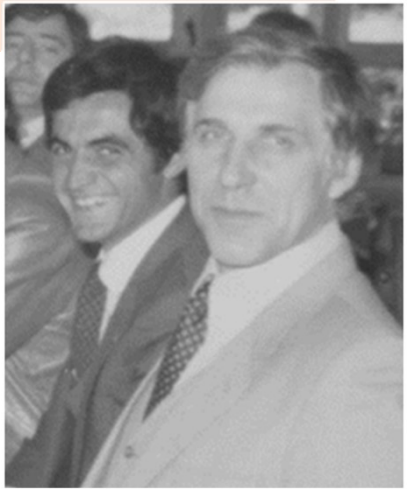
Instituto Soviético de Investigaciones Científicas sobre Cultura Física de la URSS

FUENTE INICIAL: Participantes en Campeonatos Europeos y Juegos Olímpicos (JJ.OO. Helsinki 1952, Melbourne 1956, Roma 1960 y Tokio 1964)

"ANTROPOMAXIMOLOGÍA"

Ciencia de las capacidades humanas de reserva ante situaciones extremas

¿Por qué algunas personas son físicamente tan superiores a otras y alcanzan logros deportivos que no están al alcance de la mayoría?



Vladimir V. Kuznetsov
Juan M. García-Manso

El organismo de un campeón, o de cualquier deportista de Alto Nivel, ni es igual, ni se comporta de la misma forma a como lo hace el de las personas sedentarias o el de la media de la población

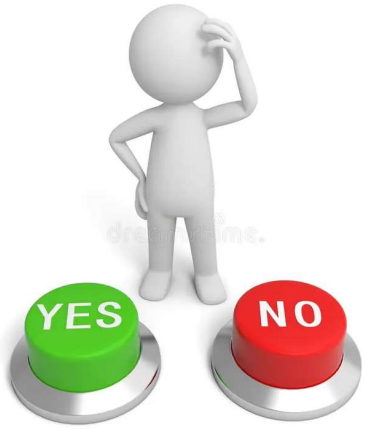
LEY DE LA RACIONALIDAD

Señalaba que el estudio de estos deportistas con altas capacidades y elevados rendimientos, podrían ser beneficioso, a la vez que donantes ideales de información para las ciencias humanas del siglo XX

BASE DE LOS PRINCIPIOS DE ESPECIFICIDAD, INDIVIDUALIDAD & LÍMITE DE RENDIMIENTO

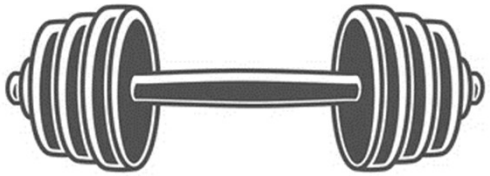
(PERFILES POR MODALIDAD)

HACIÉNDONOS CADA VEZ MÁS FUERTES





¡ WE CAN DO IT !





El aumento de la Fuerza durante las primeras semanas de Entrenamiento (RESPUESTA AGUDA) tiene un fuerte componente NEURONAL subyacente y con el Entrenamiento a Largo Plazo (RESPUESTA CRÓNICA) se debe a la HIPERTROFIA MUSCULAR

ENTRENAMIENTO DE FUERZA

(RESPUESTA ADAPTATIVA)

CAMBIOS ESTRUCTURALES

Composición, Tamaño & Forma

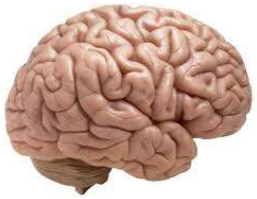


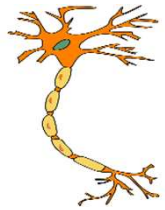
- COMPONENTE ÓSEO
- COMPONENTE MUSCULAR
  - COMPONENTE CONTRACTIL
  - COMPONENTE ELÁSTICO
- COMPONENTE GRASO



CAMBIOS NEUROMUSCULARES

Estructural & Funcional





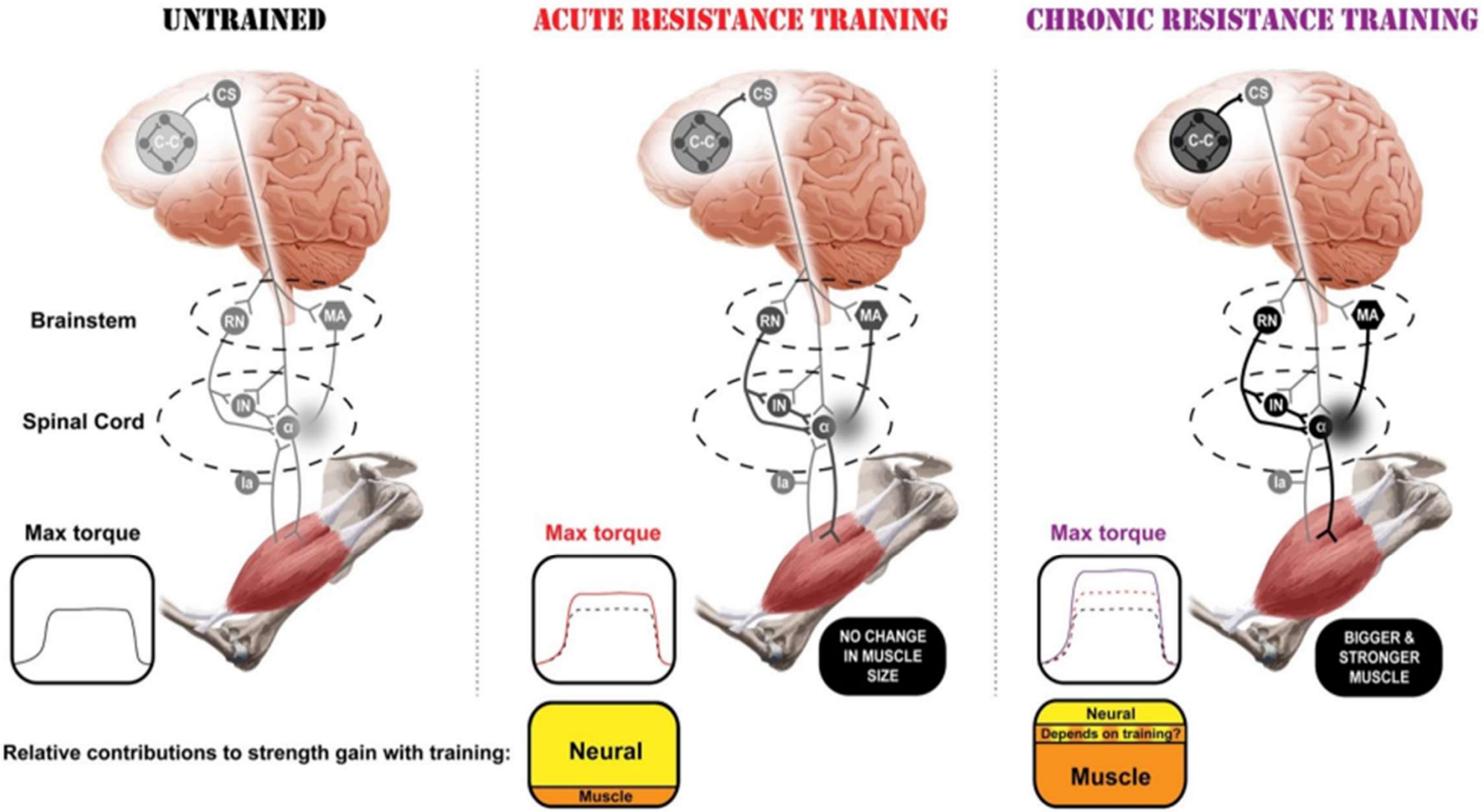
- Neurotransmisores
- Factores Neurotróficos
- Sinapsis
- Neuronas
- Células Gliales

Memorial University
of Newfoundland

Chronic resistance training:
is it time to rethink the time course of neural contributions to strength gain?

Pearcey, G. E. P., Alizedah, S., Power, K. E., & Button, D. C.

European Journal of Applied Physiology, 121, 2413-2422. 2021.



McMaster University

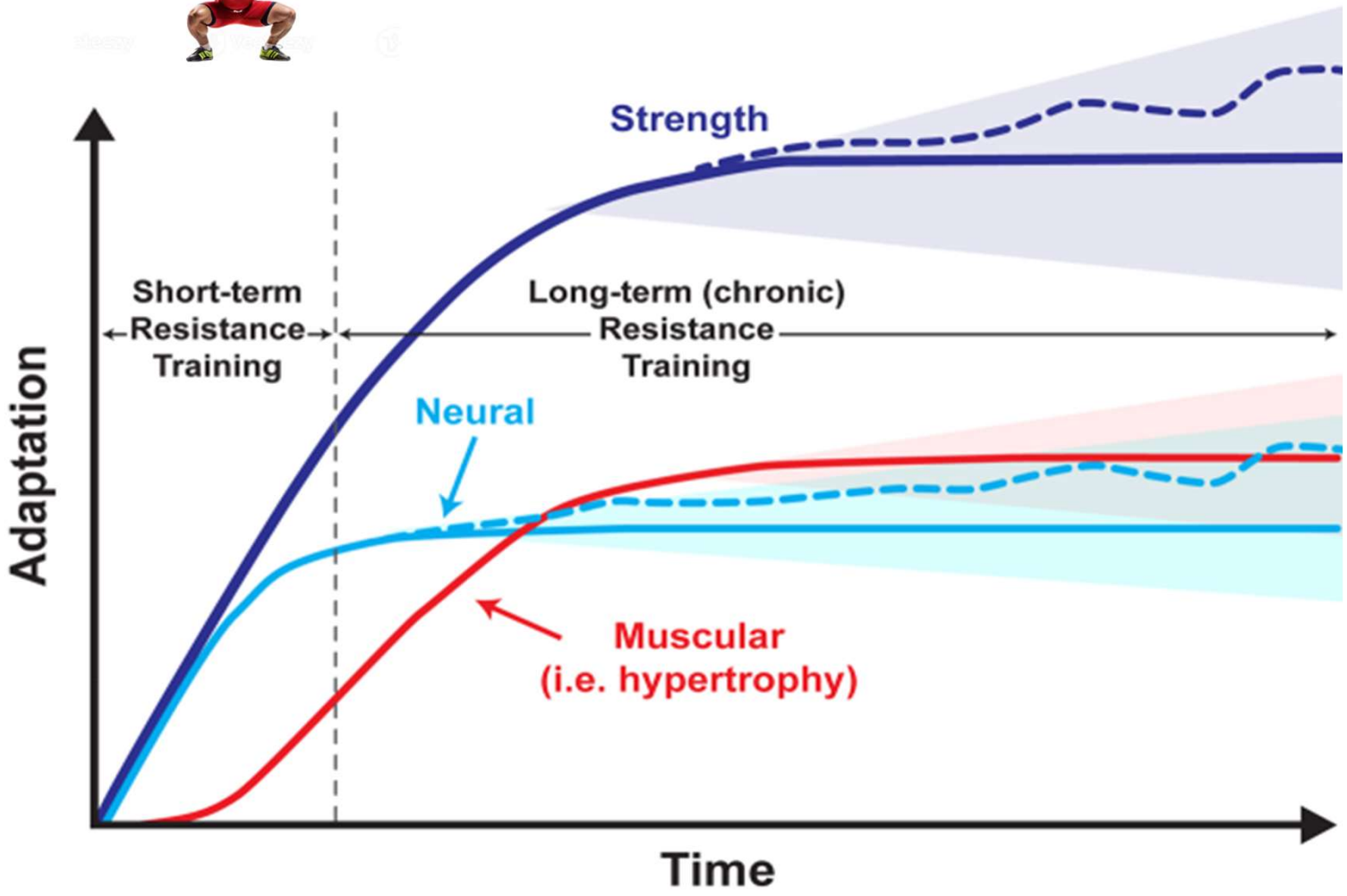


Neural adaptation to resistance training

Digby Graham Sale

Medicine and Science in Sports and Exercise

20(5 Suppl), S135-145. 1988



Los niveles de Fuerza dependen, no sólo de la cantidad y calidad de los músculos involucrados, sino también de la capacidad del Sistema Nervioso para activar adecuadamente la musculatura involucrada

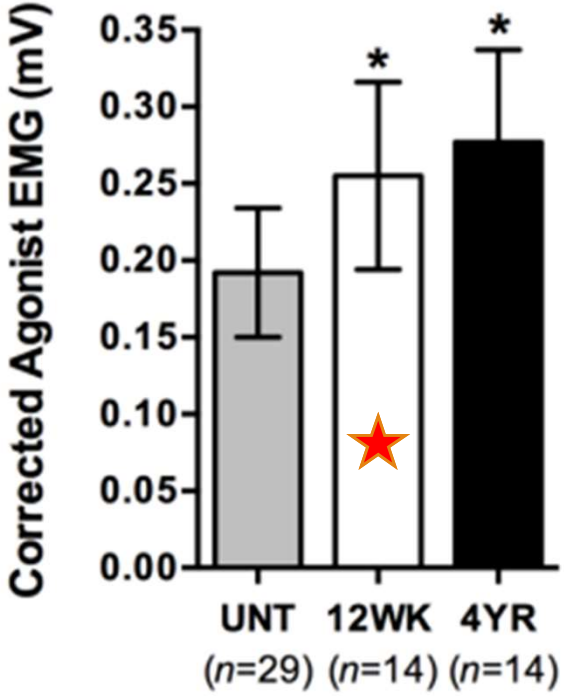
Neural adaptations after 4 years *vs* 12 weeks of resistance training *vs* untrained

Balshaw TG, Massey GJ, Maden-Wilkinson TM, Lanza MB. & Folland JP.
Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 29(3), 348-359. 2019.

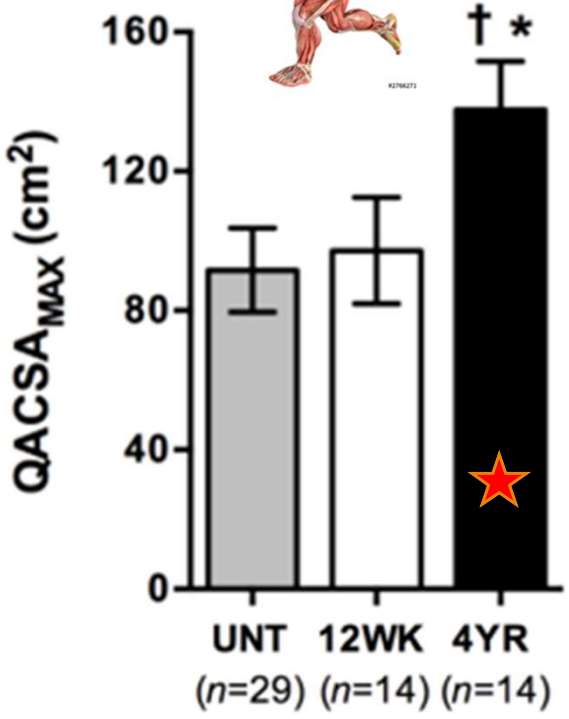
ESTUDIO DE LA SECUENCIA TEMPORAL DE LA RESPUESTA ADAPTATIVA AL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

Loughborough University

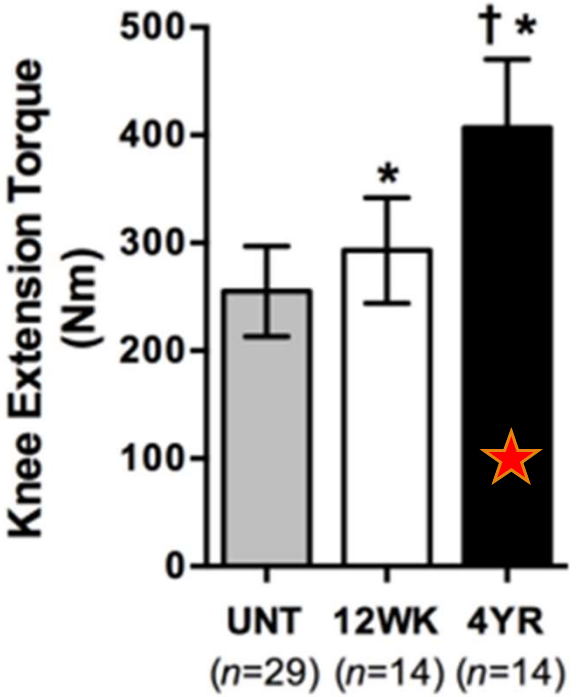












UNIVERSITY of STIRLING

Enhanced skeletal muscle contractile function and corticospinal excitability precede strength and architectural adaptations during lower-limb resistance training

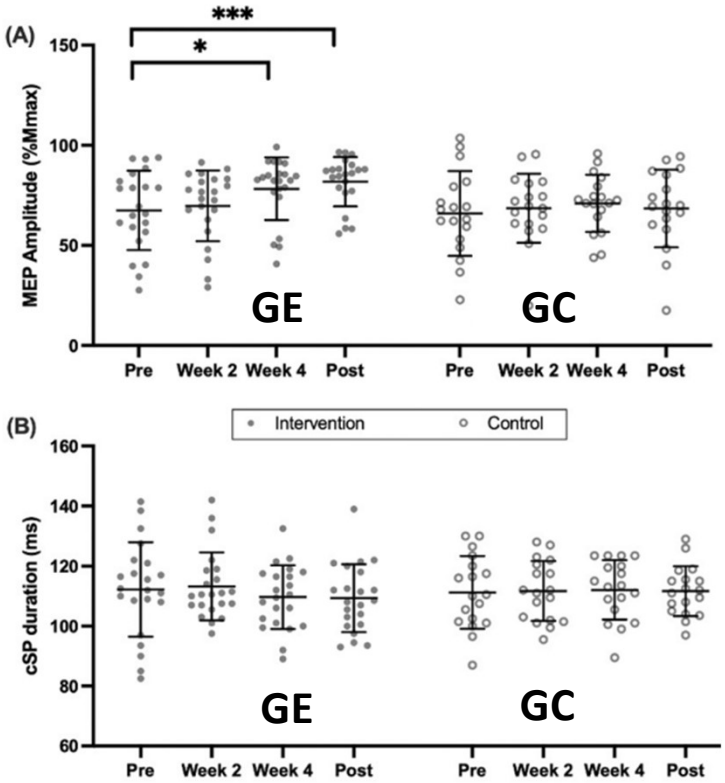
Wilson, M. T., Hunter, A. M., Fairweather, M., Kerr, S., Hamilton, D. L., & Macgregor, L. J.

European Journal of Applied Physiology, 123(9), 1911-1928. 2023.

Las Propiedades Contráctiles mejoradas y la Excitabilidad Corticoespinal se produce antes que cualquier adaptación de la Arquitectura Muscular, Neural y de Fuerza

Aumentos posteriores de Fuerza pueden explicarse por adaptación en la arquitectura

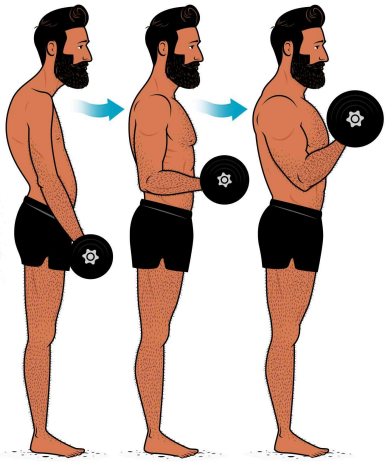
Muestra: GE: 23 participantes – GC: 20 participantes



G	GE				GC			
	Ángulo Penneación (º)		Grosor del Músculo (cm)		Ángulo Penneación (º)		Grosor del Músculo (cm)	
FASE	VL	RF	VL	RF	VL	RF	VL	RF
Pre	19.04 ± 2,08	16.54 ± 1,91	2.04 ± 0,34	2.27 ± 0,37	18.74 ± 2,55	16.02 ± 2,97	2.18 ± 0,41	2.16 ± 0,49
2 semanas	19.01 ± 2,08	16.68 ± 1,80	2.34 ± 0,34	2.32 ± 0,37	18.97 ± 2,59	16.16 ± 2,69	2.23 ± 0,39	2.27 ± 0,46
2 semanas	19.04 ± 2,08	16.99 ± 1,59	2.34 ± 0,39	2.36 ± 0,36	18.93 ± 2,61	16.03 ± 2,42	2.27 ± 0,38	2.34 ± 0,29
Post	19.04 ± 2,08	18.72 ± 2,08	2.64 ± 0,41	2.56 ± 0,32	18.97 ± 2,55	15.96 ± 2,47	2.25 ± 0,38	2.26 ± 41

CAMBIOS ESTRUCTURALES







ESPECÍFICOS & INDIVIDUALIZADOS

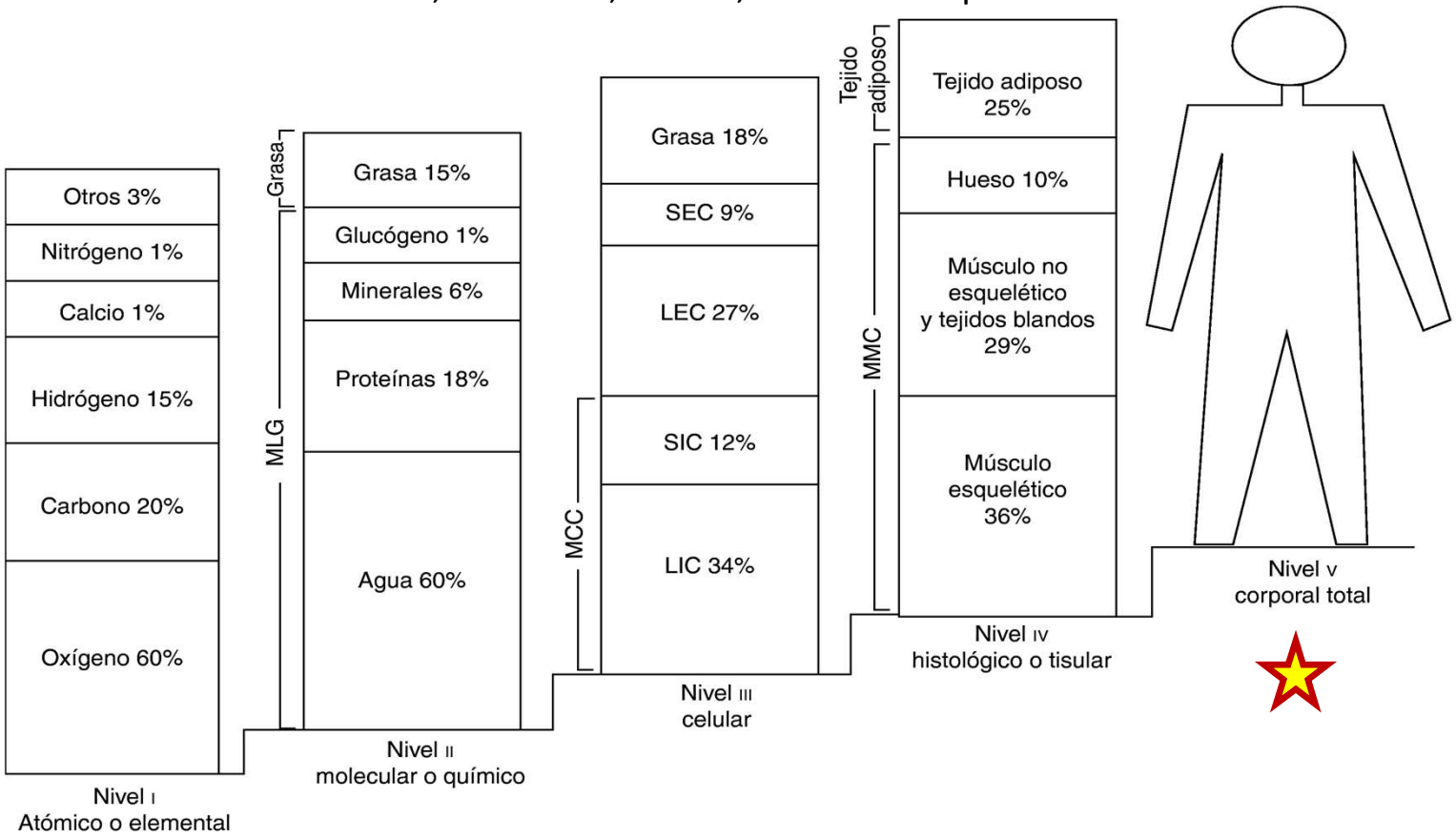
COMPOSICIÓN CORPORAL

Rama de la **Biología Humana** que se ocupa de la determinación (*in vivo*) de los Componentes Corporales, las Relaciones Cuantitativas entre ellos y los Cambios Cualitativos que se generan cuando son relacionados con sus factores desencadenantes

MODELO MULTICOMPARTIMENTAL DE CINCO NIVELES

Atómico, Molecular, Celular, Tisular & Corporal Total





LEC: Líquidos Extracelulares; **LIC**: Líquidos Intracelulares; **MCC (Masa Celular Corporal)**: LIC+SIC:;
MLG: Masa Libre de Grasa; **MMC**: Masa Magra Corporal; **SEC**: Sólidos Extracelulares; **SIC**: Sólidos Intracelulares

EFECTO DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL TOTAL EN EL RENDIMIENTO EN FUERZA

TAMAÑO, FORMA, PROPORCIONES & ESCALAS

(GLOBAL Y SEGMENTARIA)

FENOTIPO MORFOLÓGICO *VS.* FUERZA

- **TAMAÑO DEL CUERPO**
  - **PESO CORPORAL**
  - **ESTATURA**

- **FORMA DEL CUERPO (BIOTIPO)**
  - **PERFIL ANTROPOMÉTRICO:**
    - Biotipo: Somatotipo
  - **PROPORCIONALIDAD & ASIMETRIAS**

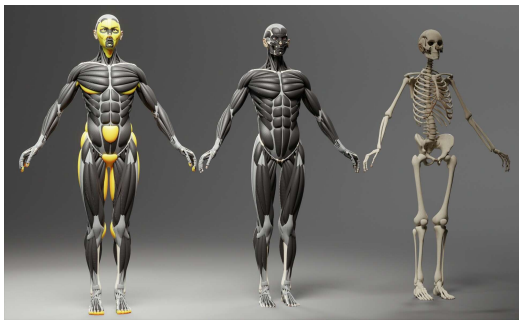


- CUANDO EL TAMAÑO Y LA FORMA SÍ IMPORTAN -



FENOTIPO MORFOLÓGICO [Tamaño, Forma (Biotipo) & Composición Corporal]
nos muestra la compleja interacción existente entre el
GENOTIPO *vs*. DEMANDAS FISIOLÓGICAS, METABÓLICAS, NUTRICIONALES &
ENTRENAMIENTO a que es sometido el deportista



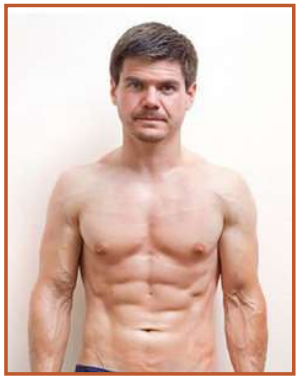




FENOTIPO MORFOLÓGICO PROVOCADO POR EL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA RESPONDE A:







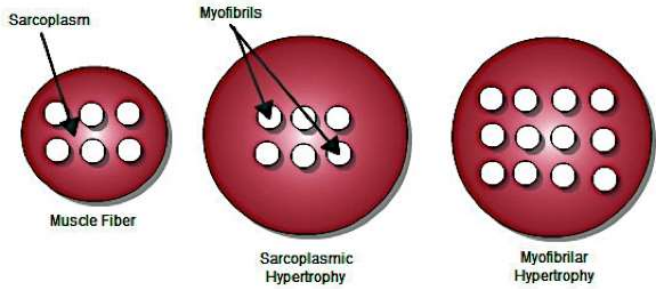
CAMBIO EN EL VOLUMEN (TAMAÑO)

TRANSFORMACIÓN DE COMPONENTES (COMPOSICIÓN)

MODIFICACIÓN DEL DISEÑO (FORMA)

HIPERTROFIA

REMODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS



ALTERACIÓN Y/O CAMBIO

CAMBIOS EN CONFIGURACIÓN

WHEN SIZE DOES MATTER

Body Size, Body Composition and Sport Performance

Juan Manuel García-Manso (2016)



	Variable	Grupo Resistencia (n = 10)	Grupo Fuerza (n = 11)	p-Value	E.S.
RENDIMIENTO	VO_2max (ml/kg/min)	**66.5 ± 5.1**	**45.8 ± 5.0**	**0.000**	**0.90**
RENDIMIENTO	FIM ½ Sentadilla (N)	**834.5 ± 159.4**	**2054.2 ± 501.4**	**0.000**	**0.85**
TAMAÑO	Peso Corporal (kg)	61.2 ± 5.0	82.6 ± 11.9	**0.000**	**0.76**
TAMAÑO	Estatura (cm)	173.6 ± 4.6	171.7 ± 4.7	***ns***	0.19
HUESOS	BMD (g/cm^2)	1.16 ± 0.06	1.33 ± 0.12	**0.000**	0.69
HUESOS	BMC (g)	19974 ± 2467	26244 ± 4235	**0.001**	0.67
GRASA	BFM (g)	4941.8 ± 1775.4	8623.7 ± 5227.1	**0.048**	0.43
GRASA	% FM	8.8 ± 2.6	11.5 ± 5.4	***ns***	0.30
MUSCULO	FFM (kg)	56.23 ± 4.53	73.95 ± 10.23	**0.000**	0.75
MUSCULO	Brazos FFM (kg)	17.19 ± 1.39	22.22 ± 3.23	**0.000**	0.71
MUSCULO	Piernas FFM (kg)	46.69 ± 3.83	52.11 ± 10.63	**0.000**	0.69

Bond University

Anthropometric dimensions of male powerlifters of varying body mass

Justin W. L. Keogh, Patria A. Hume, Simon N. Pearson. & Peter Mellow

Journal of Sports Sciences, 25(12), 1365-1376. 2007.



VARIABLES	PESOS LIGEROS	PESOS MEDIOS	PESOS PESADOS
Squat (kg)	179 ± 49	209 ± 52	264 ± 36
Press Banca (kg)	116 ± 29	143 ± 37	180 ± 28
Peso Muerto (kg)	199 ± 39	230 ± 35	259 ± 27
Estatura (cm)	163.0 ± 7.2	174.7 ± 4.9	174.7 ± 9.6
Peso Corporal (kg)	**68.9 ± 7.9**	**87.7 ± 6.9**	**121.9 ± 17.2**
Endomorfia	3.2 ± 1.8	3.2 ± 0.9	6.3 ± 1.6
Mesomorfia	7.5 ± 1.6	8.0 ± 1.3	10.7 ± 1.7
Ectomorfia	1.1 ± 1.1	0.7 ± 0.7	0.1 ± 0.0
FFM	62.1	78.7	104.2
Grasa Corporal (%)	9.8 ± 3.2	10.1 ± 1.9	14.5 ± 3.0
Masa Muscular (%)	48.1 ± 3.2	48.2 ± 2.2	45.8 ± 2.4
Masa Muscular (kg)	**33.0 ± 4.1**	**39.0 ± 4.2**	**48.2 ± 5.1**
Masa Ósea (%)	16.8 ± 1.3	16.9 ± 1.2	15.9 ± 1.5
Masa Ósea (kg)	11.3 ± 1.1	14.2 ± 1.2	16.7 ± 2.2
Masa Residual (%)	25.3 ± 3.1	24.8 ± 1.2	23.8 ± 1.1

RENDIMIENTO DEPORTIVO

COMBINACIÓN ÓPTIMA

Técnicas & Habilidades Específicas condicionadas por:

Capacidades Condicionales que posea cada Deportista

(Resistencia, Fuerza, Potencia, Velocidad, Coordinación, Equilibrio, Agilidad, etc.)

Aspectos condicionados a su vez al:

TAMAÑO (P.C. & Estatura) & COMPOSICIÓN CORPORAL

TAMAÑO CORPORAL

PESO CORPORAL



ESTATURA



University of South Australia

Body composition and sports performance

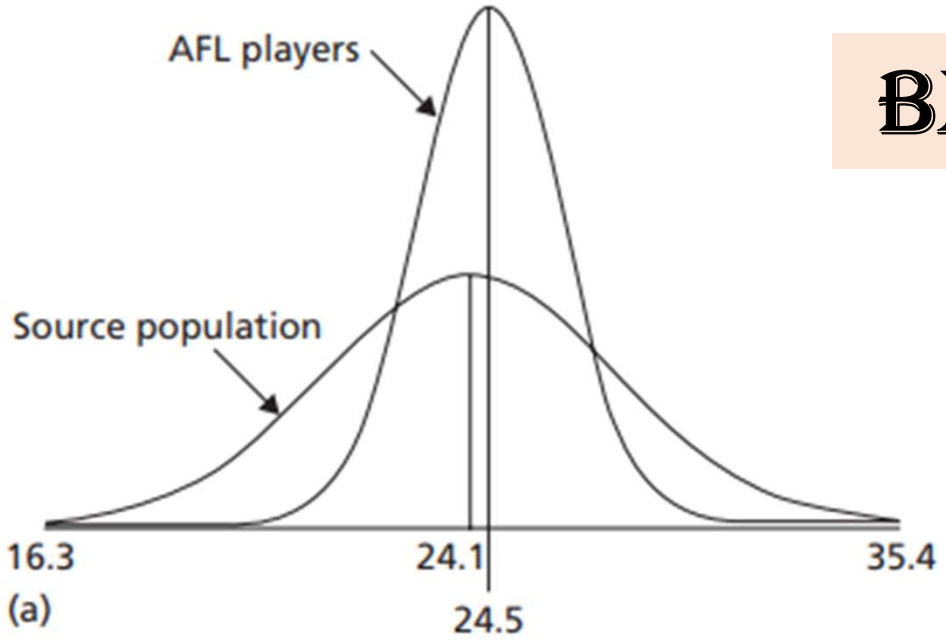
Timothy Olds

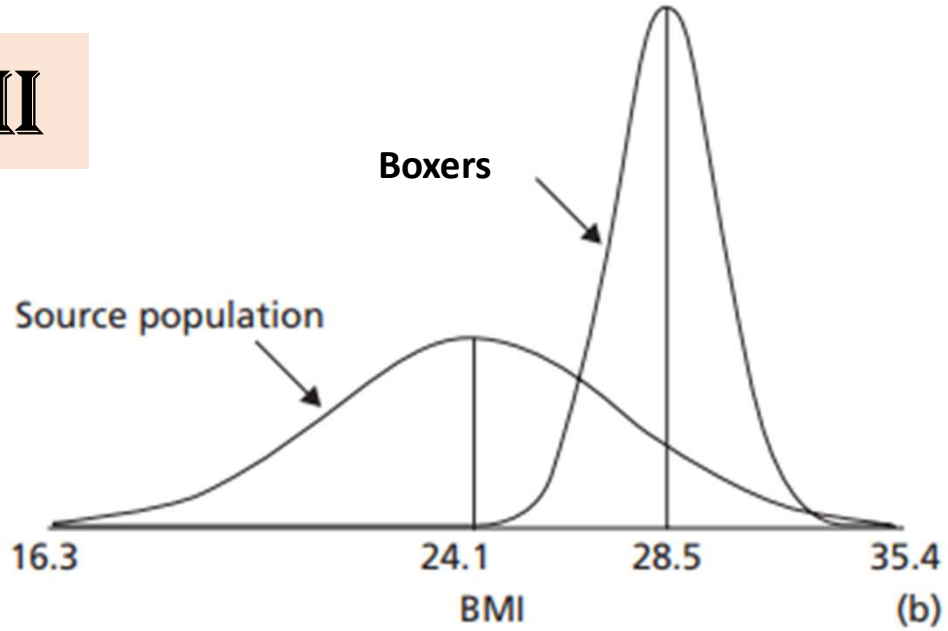
Olympic Textbook of Science in Sport, 129-145. 2008.

Volume XV of the Encyclopaedia of Sports Medicine



BMI





Distribución de los valores del Índice de Masa Corporal (IMC) en:

(a) Jugadores de Fútbol Australiano (AFL);

(b) Boxeadores de Peso Pesado

En comparación con la población de origen de varones jóvenes australianos

Los valores del IMC se representan gráficamente en una escala logarítmica

University of South Australia

Body composition and sports performance

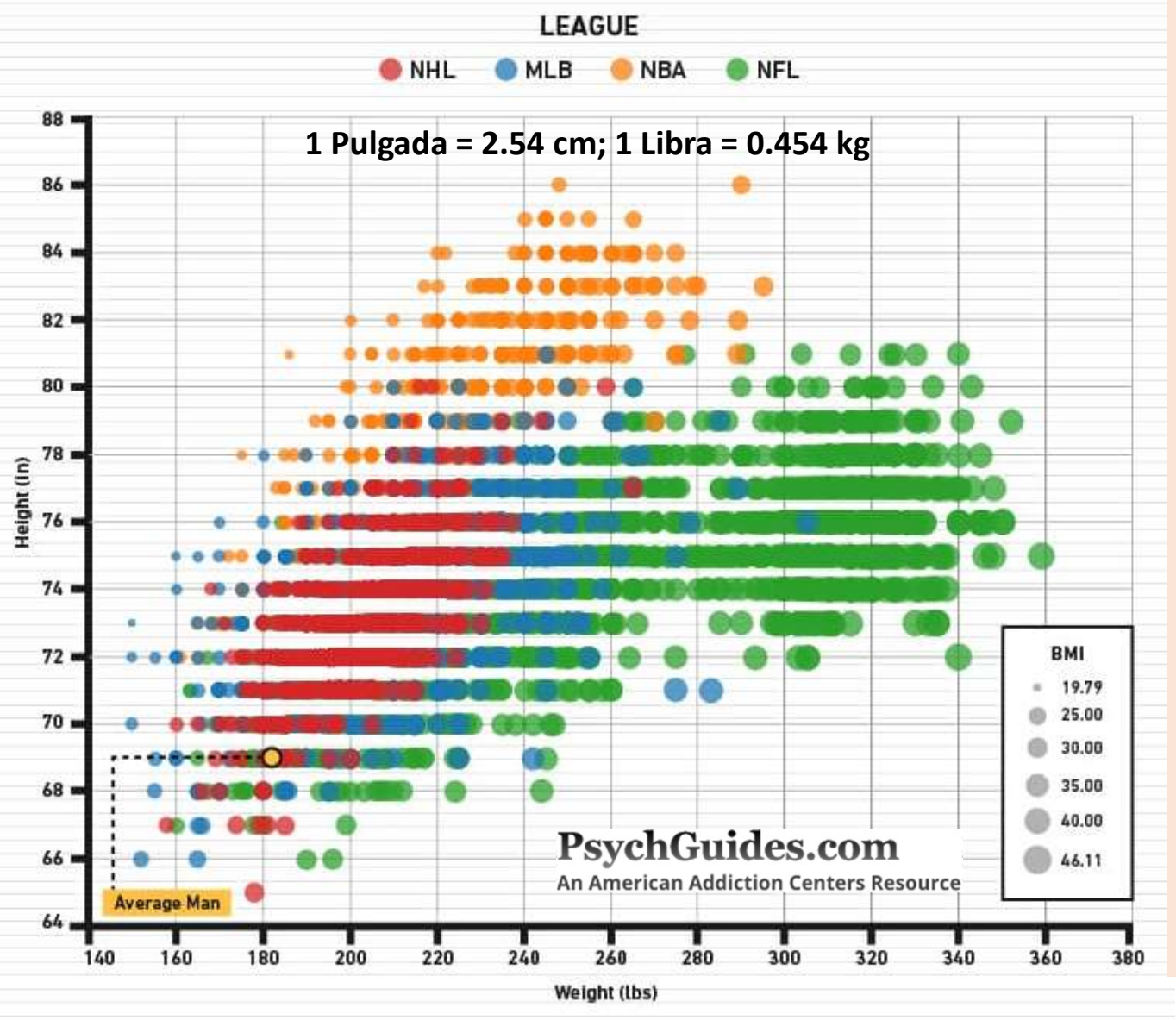
Timothy Olds

Olympic Textbook of Science in Sport, 129-145. 2008.

Volume XV of the Encyclopedia of Sports Medicine

		Height		Mass		
Sport	*n*	Mean (cm)	OZ	Mean (kg)	OZ	BOZ
Source population		*178.6*		*78.7*		
Boxing (HW)	31	189.9	11.0	102.6	3.2	1.0
NBA	1480	200.3	7.0	97.0	18.7	5.4
Rowing (HW)	118	190.5	13.7	87.4	22.1	8.7
RU: forwards	636	187.6	30.7	103.6	7.5	9.5
NFL	7905	187.2	29.3	103.3	16.5	11.3
Hockey	31	179.2	34.9	74.1	21.4	15.2
Cycling: off-road	18	178.6	34.5	71.8	21.8	17.2
Waterpolo	190	186.3	28.1	86.0	28.9	17.6
Marathon	79	172.9	43.3	61.9	19.0	18.1
Running: sprint	33	179.6	32.3	76.1	36.2	22.8
Running: distance	43	174.5	40.5	63.2	30.4	23.8
Diving	43	169.9	36.5	67.1	40.4	25.7
AFL	315	184.9	39.8	82.8	36.2	25.9
Cycling: pursuit	24	178.9	36.7	73.1	36.4	26.8
Cycling: road	247	178.1	39.7	68.5	38.8	27.4
RU: backs	484	179.6	41.5	84.2	34.1	28.1
Soccer	283	174.3	43.7	66.9	32.8	28.1
Swimming	255	182.8	42.5	76.9	37.3	28.8

TAMAÑO CORPORAL *vs*. MODALIDAD DEPORTIVA



Peso Corporal y Estatura de Jugadores de NFL, NBA, MLB y NHL

- Jugadores de NFL tienden a tener mayor P.C. e IMC.
- Jugadores de NBA muestran mayor estatura que cualquier otra modalidad deportiva.
- Jugadores de MLB tienden a ser bajos y con menor P.C.
- Los jugadores de la NHL suelen presentar cuerpos aún más pequeños.

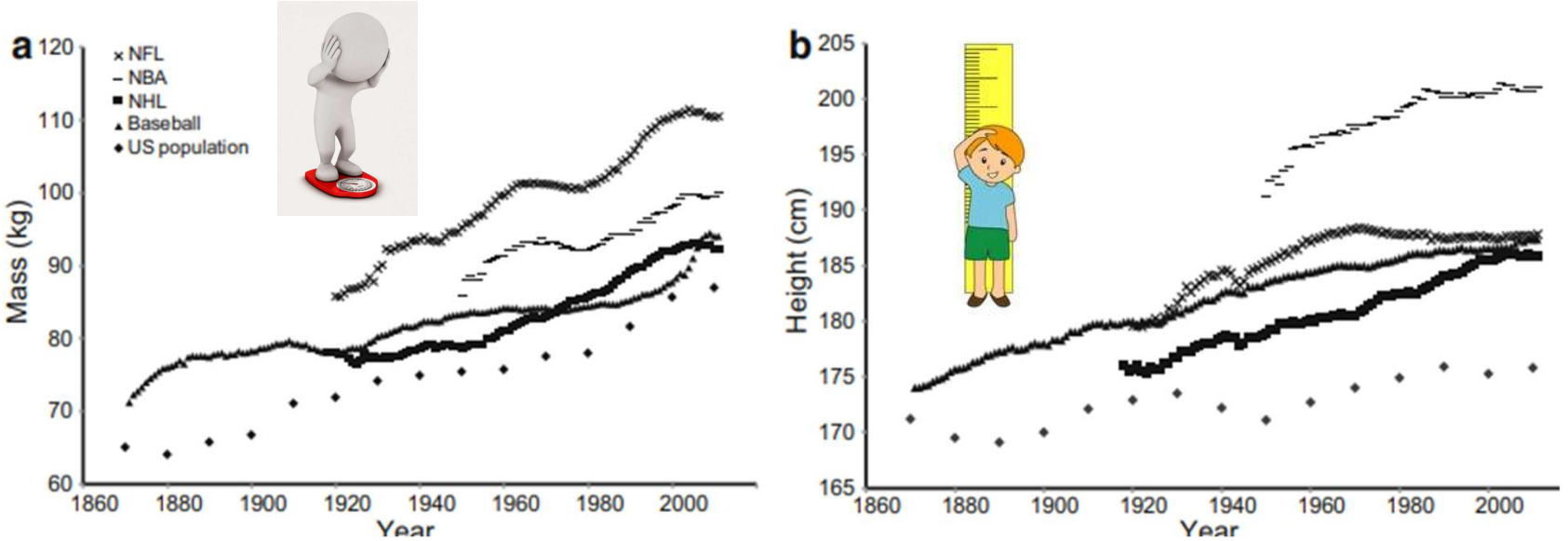
Has athletic performance reached its peak?

Berthelot, G., Sedeaud, A., Marck, A., Antero-Jacquemin, J., Schipman, J., Sauliere, G., Marc, A., Desgorces, F_D. & Toussaint, J. F.

Sports Medicine, 45, 1263-1271. 2015.

Las series temporales de rendimientos en disciplinas olímpicas, como por ejemplo eventos de atletismo y natación desde 1896 hasta 2012 revelan una clara disminución en sus ritmos evolutivos

Actualmente nos acercamos a los límites físicos absolutos y vivimos un período continuo de escasos de récords mundiales



La condición genética, el agotamiento de los acervos fenotípicos, el contexto económico y la disminución de rasgos morfológicos óptimos contribuyen a la limitación de las capacidades físicas

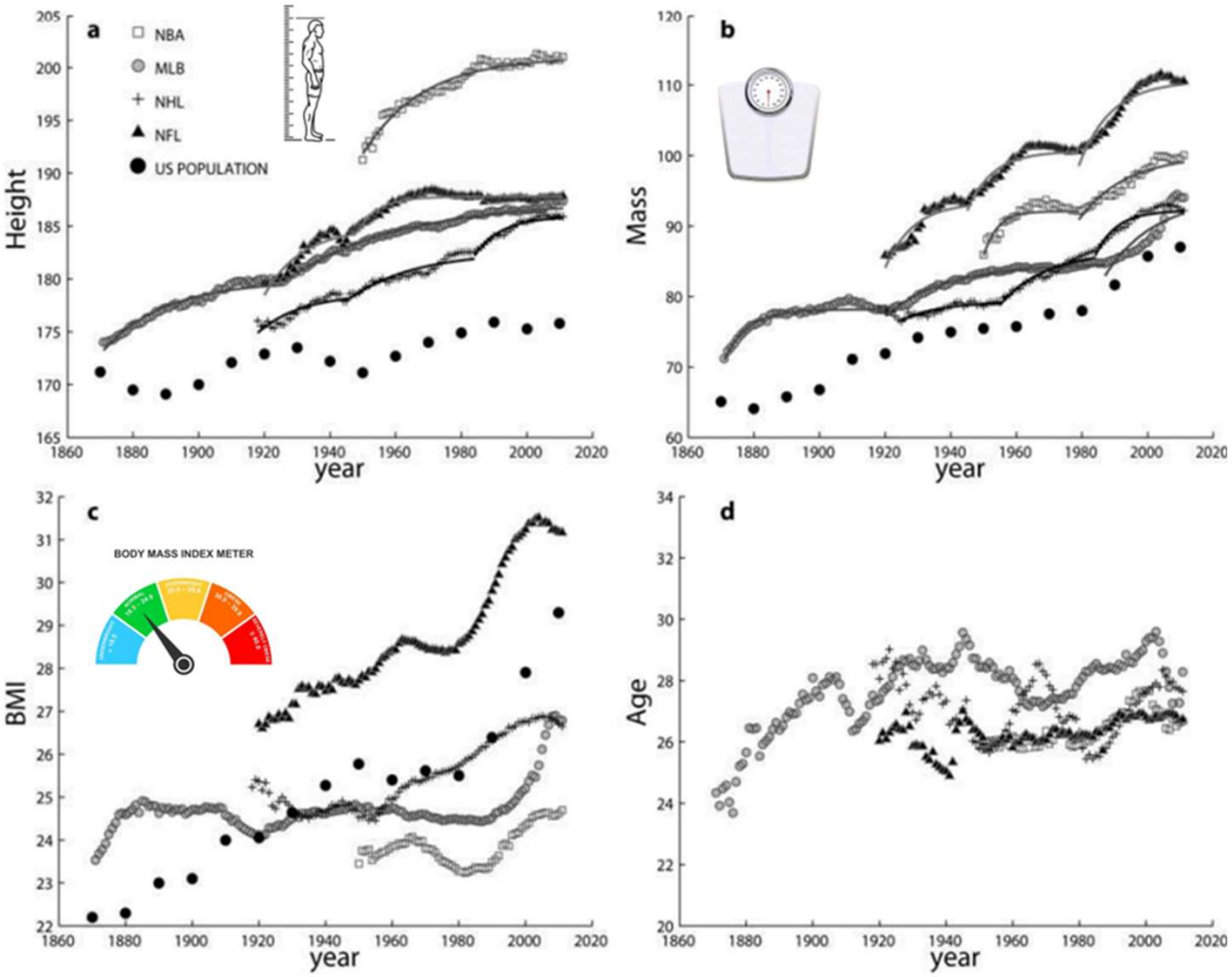
Escenarios opcionales para futuras mejoras dependerán principalmente de la tecnología deportiva y la modificación de las reglas de competencia

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

SECULAR TREND:
morphology and performance

Sedeaud A, Marc A, Schipman J, Schaal K, Danial M, Guillaume M, ... & Toussaint JF. Journal of Sports Sciences, 32(12), 1146-1154. 2014.

Leyes del Crecimiento y la **Biometría** impulsan el **Deporte de Alto Nivel** y organizan el rendimiento en torno a la restricción específica de cada rol de juego



Muestra un **AUMENTO SECULAR** de **PC, Estatura e IMC** de los 4 principales deportistas USA siguiendo un patrón de función multiexponencial.

Sin embargo, esta tendencia parece estabilizarse en la **ESTATURA** tanto en los jugadores profesionales como en la población general.

Al comparar las leyes de crecimiento, las diferencias entre ciertos desarrollos biométricos (**Estatura *vs*. PC**) conducen a preguntas sobre el comportamiento que permitió los grandes aumentos del **PC** en la década de 1980.



Size not everything as all blacks show their strength

Andy McGeady
Irish Times Rugby Magazine,
https://www.andymcgeady.com/size-everything-blacks-show-strength/. 2013.



TAMAÑO *vs*. ESPECIFICIDAD & ROL DE JUEGO

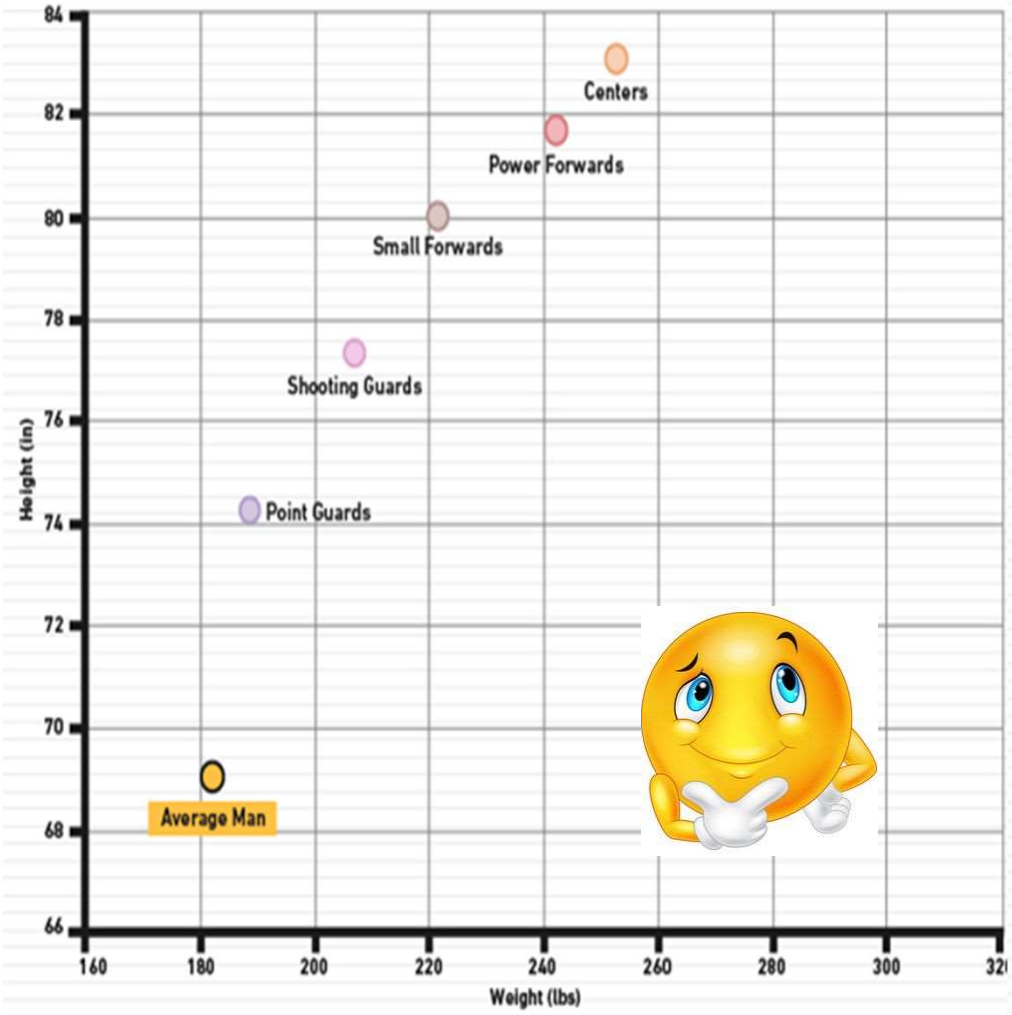
New Zealand			Ireland			South Africa		
Forwards	m	kg	Forwards	m	kg	Forwards	m	kg
Tony Woodcock	1.84	118	Cian Healy	1.85	112	Tendai Mtawarira	1.83	115
Andrew Hore	1.83	110	Rory Best	1.80	110	Bismarck du Plessis	1.89	112
Charlie Faumuina	1.85	125	Mike Ross	1.88	127	Jannie du Plessis	1.88	120
Brodie Retallick	2.04	115	Paul O'Connell	1.98	112	Eben Etzebeth	2.03	117
Sam Whitelock	2.02	102	Donnacha Ryan	2.01	114	Juandre Kruger	1.99	112
Liam Messam	1.90	108	Peter O'Mahony	1.91	108	Francois Louw	1.90	114
Richie McCaw	1.87	106	Sean O'Brien	1.88	108	Willem Alberts	1.92	120
Kieran Read	1.93	108	Jamie Heaslip	1.93	110	Duane Vermeulen	1.93	108
Average	**1.91**	**111.5**	*Average*	**1.91**	**112.6**	*Average*	**1.92**	**114.8**
Backs	m	kg	Backs	m	kg	Backs	m	kg
Aaron Smith	1.69	80	Conor Murray	1.88	94	Fourie du Preez	1.82	91
Aaron Cruden	1.75	82	Jonathan Sexton	1.88	92	Morne Steyn	1.84	91
Julian Savea	1.90	104	Simon Zebo	1.88	94	Bryan Habana	1.80	94
Ma'a Nonu	1.82	104	Gordon D'Arcy	1.80	91	Jean de Villiers	1.90	100
Conrad Smith	1.86	95	Brian O'Driscoll	1.78	93	JJ Engelbrecht	1.90	94
Ben Smith	1.88	85	Tommy Bowe	1.91	96	Willie Le Roux	1.86	90
Israel Dagg	1.86	95	Rob Kearney	1.85	95	Zane Kirchner	1.84	92
Average	**1.82**	**92.1**	*Average*	**1.85**	**93.6**	*Average*	**1.85**	**93.1**



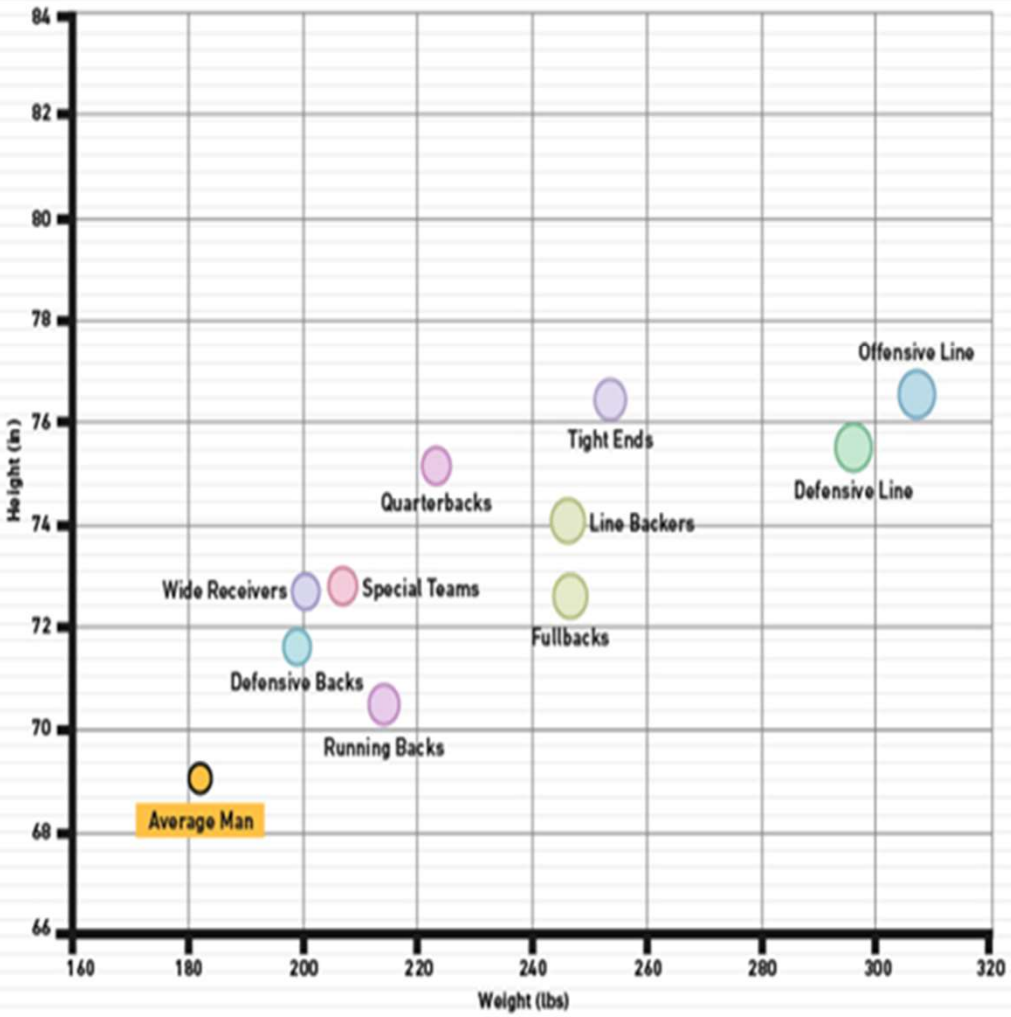
TAMAÑO CORPORAL
VS.
ROL DE JUEGO



NBA



NFL



Differences in Body Composition between Playing Positions in Men's Professional Soccer: A Systematic Review with Meta-Analysis.

Sebastia-Rico J., Martínez-Sanz J.M., González-Gálvez N., & Soriano J.M.
Applied Sciences, 13(8), 4782. https://doi.org/10.3390/app13084782. 2023.






	Goalkeeper	Defender	Midfielder	Forward
	82.43 kg	77.41 kg	72.71 kg	76.50 kg
	185.70 cm	180.77 cm	176.23 cm	179.05 cm
Σ6	58.85 mm	54.87 mm	53.89 mm	52.46 mm
	13.59 % 13.19 kg	11.56 % 11.33 kg	11.59 % 10.14 kg	11.57 % 10.61 kg
	49.50 % 40.80 kg	46.52 % 39.71 kg	47.10 % 35.86 kg	46.48 % 37.85 kg
	2.41 End 4.53 Mes 2.50 Ect	2.27 End 4.77 Mes 2.29 Ect	2.37 End 4.71 Mes 2.25 Ect	2.22 End 4.46 Mes 2.23 Ect
	Balanced mesomorph	Balanced mesomorph	Balanced mesomorph	Balanced mesomorph

DINÁMICA EVOLUTIVA DE LOS DEPORTISTAS DE ALTO NIVEL

TASAS DE CAMBIO EN EL TAMAÑO

(Talla, Peso Corporal, etc.),

COMPOSICIÓN CORPORAL Y RESPUESTA FUNCIONAL,

DIFERENTES A LAS DEL RESTO DE LA POBLACIÓN

Son más elevadas, y siguen distintos ritmos,
que los cambios detectados en esos mismos parámetros
en la población general de la misma edad que no son deportistas



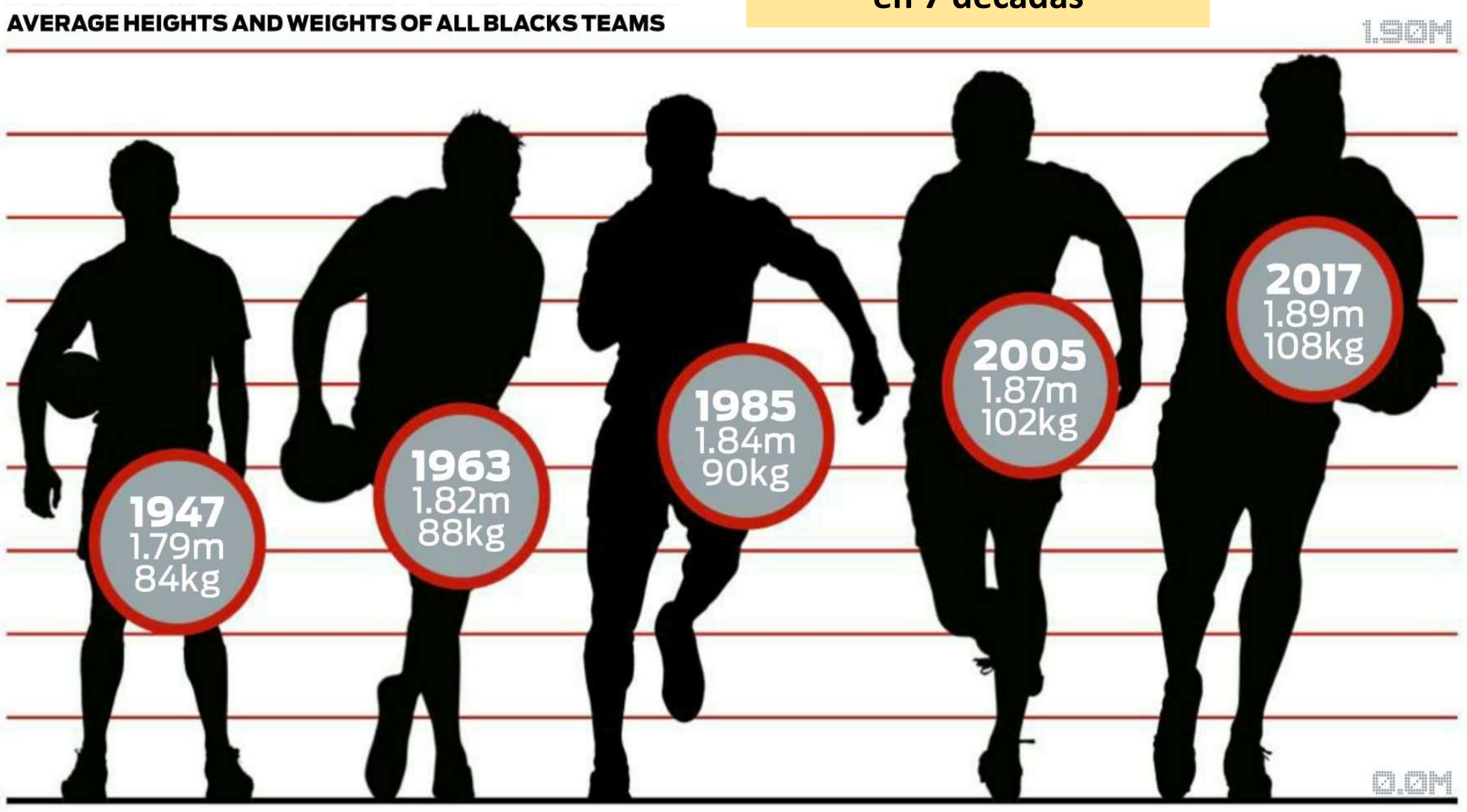




EVOLUCIÓN DE TALLA & PESO CORPORAL

EQUIPO ALL BLACKS (1947-2017)

Incremento: 10 cm y 24 kg en 7 décadas



University of South Australia

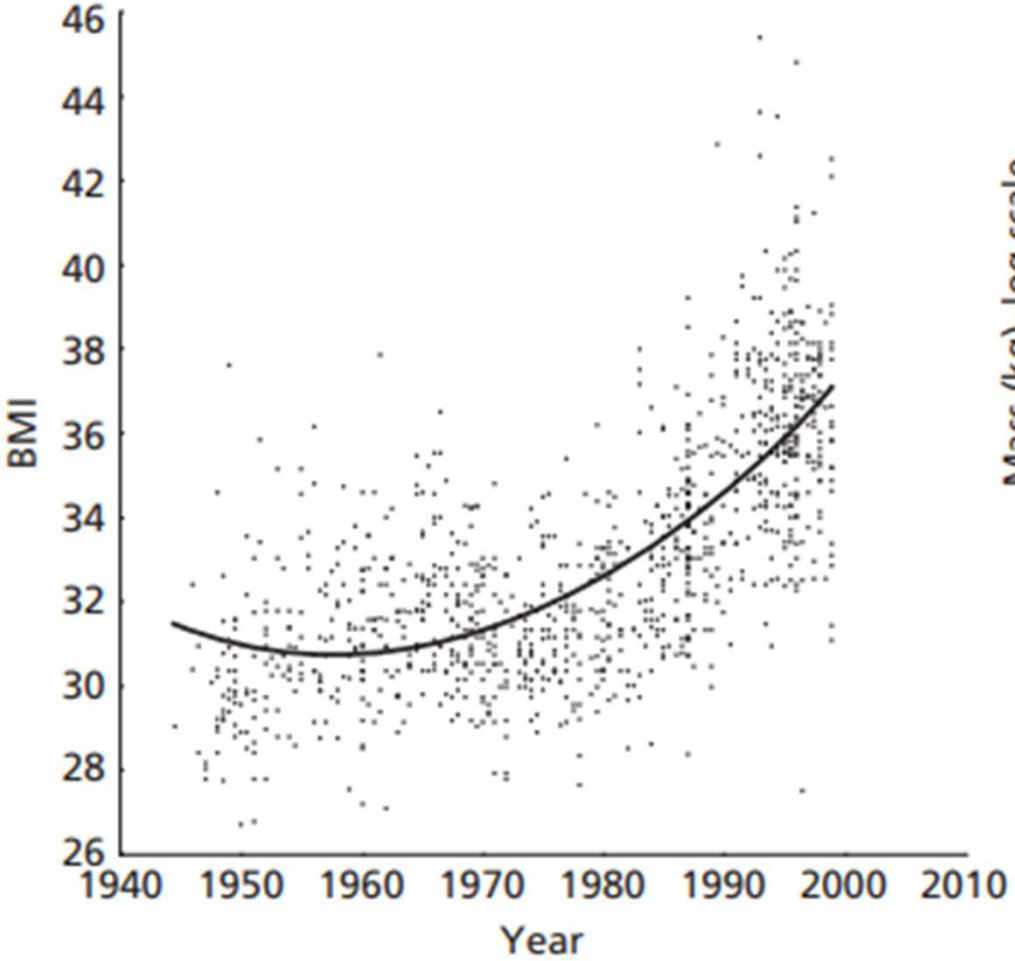
Body composition and sports performance

Timothy Olds

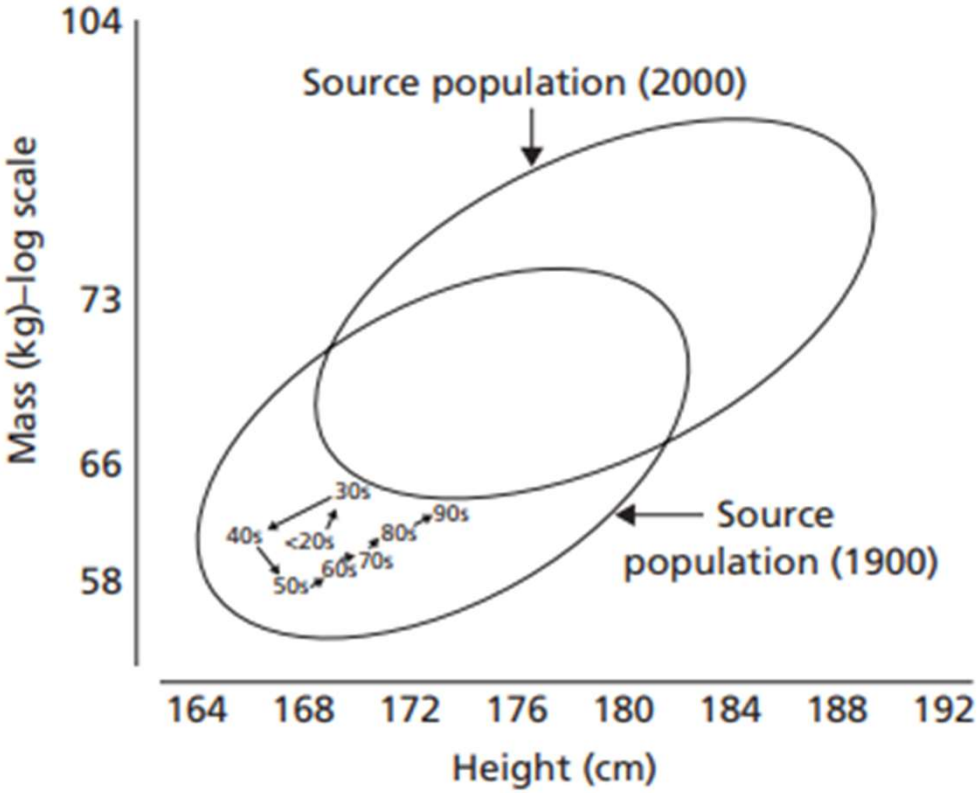
Olympic Textbook of Science in Sport, 129-145. 2008.

Volume XV of the Encyclopedia of Sports Medicine





Evolución del Índice de Masa Corporal (IMC) en 1045 tackles defensivos de la Liga Nacional de Fútbol de EE.UU. desde la II Guerra Mundial



Cambios en Estatura y PC promedio de corredores de maratón (♂) en el siglo XX
Las elipses de densidad son el 67 % para poblaciones de origen en 1900 y 2000.
Las flechas muestran cambios en la estatura y PC de 668 corredores élite entre 1897 y 1999

Morphological Evolution of Athletes Over the 20th Century

Kevin Norton & Tim Olds

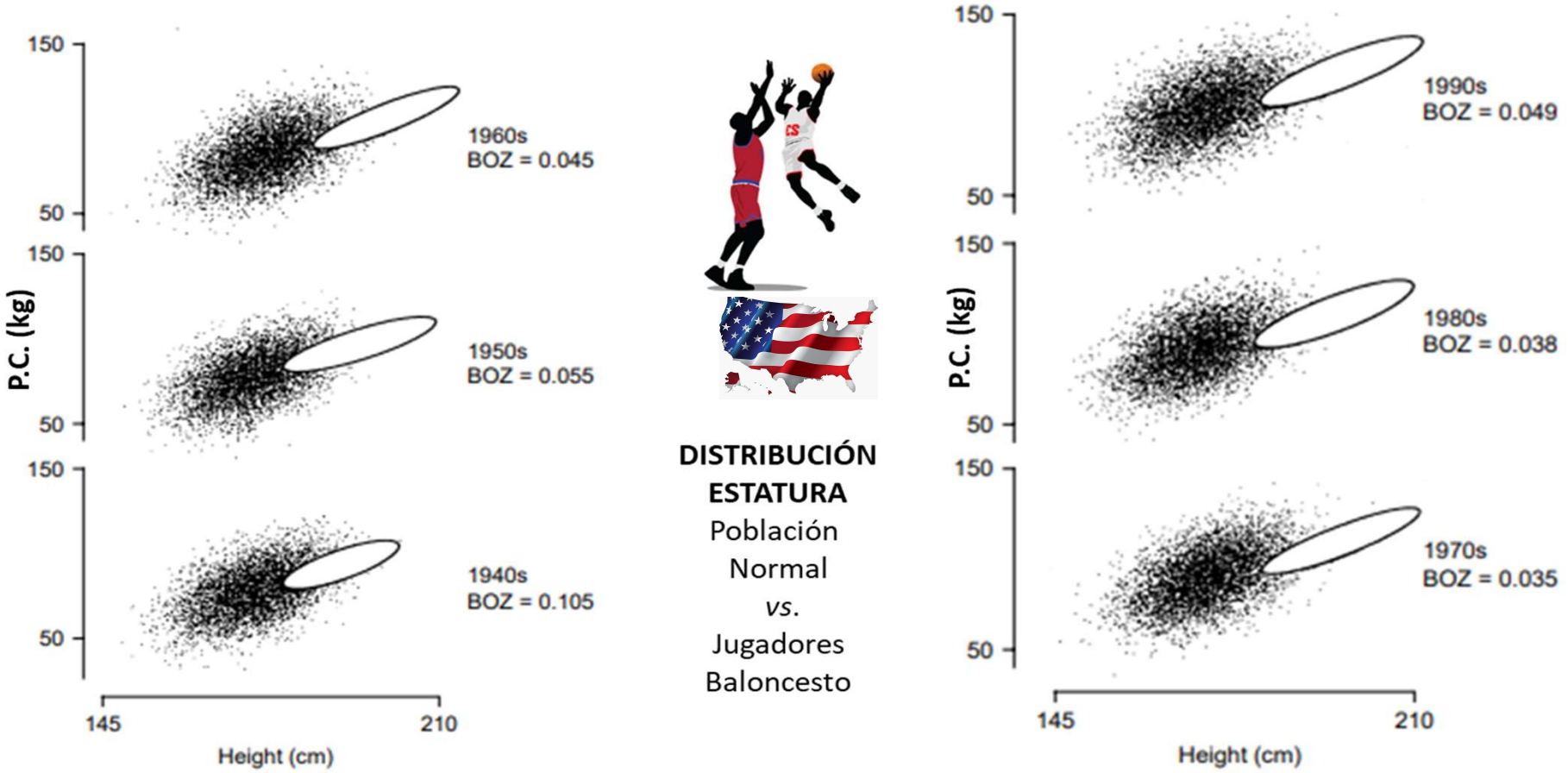
Sports Medicine 31(11), 763-783. 2001.

University of South Australia

Zona de Superposición Bivariada (BOZ) para los jugadores de la Asociación Nacional de Baloncesto desde la década de 1940 hasta la de 1990

Destacan tanto los cambios en la población de referencia (deriva hacia la derecha de puntos)

Creciente alejamiento de los jugadores de baloncesto respecto a estas poblaciones



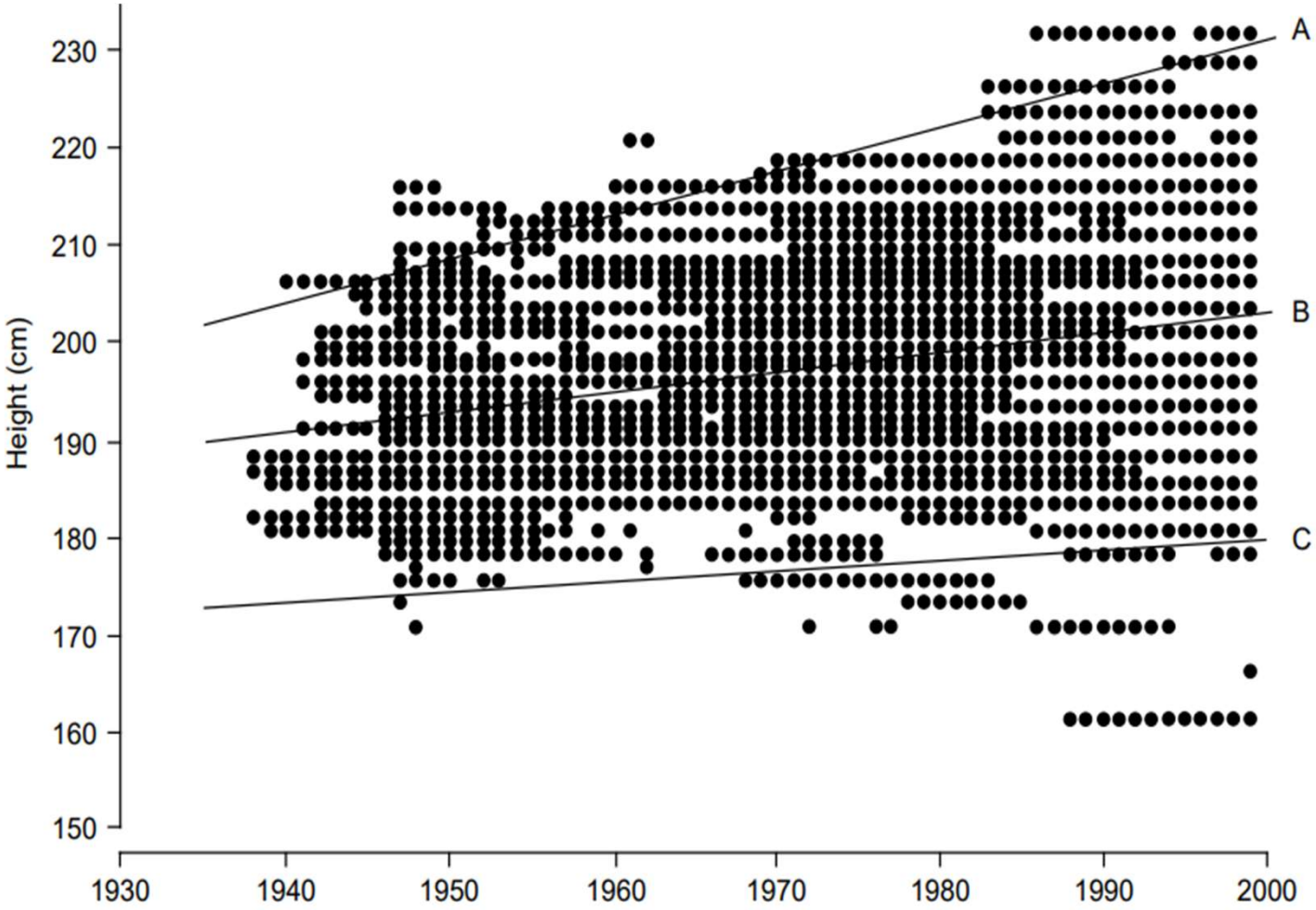
Morphological Evolution of Athletes Over the 20th Century

Kevin Norton & Tim Olds

Sports Medicine 31(11), 763-783. 2001.

University of South Australia

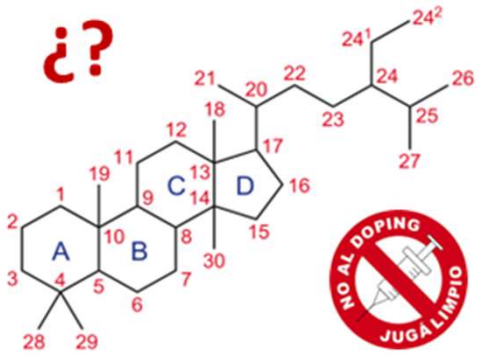
Cambio de Estatura a lo largo del tiempo de los jugadores de la Asociación Nacional de Baloncesto



LÍNEA A
muestra la evolución de la estatura de los 3 jugadores más altos de cada año

LÍNEA B
muestra el valor medio para todos los jugadores

LÍNEA C
representa la tendencia de la población general de EE. UU. para hombres adultos jóvenes









Top 10 de 2022							
Peso		Disco		Jabalina		Martillo	
1,91	126,10	1,97	125,20	1,88	93,70	1,87	105,10
±0,06	±13,99	±0,05	±17,24	±0,05	±7,59	±0,06	±15,34
							
Top 10 de 1972							
1,93	130,50	1,87	125,40	1,89	96,00	1,88	113,80
±0,06	±9,34	±0,31	±17,18	±0,06	±7,76	±0,04	±8,44

PESO CORPORAL



Correlations of Anthropometric and Body Composition Variables with the Performance of Young Elite Weightlifters

Marefat Siahkouhian & Meysam Hedayatneja

Journal of Human Kinetics, 25, 125-131. 2010.

PARÁMETRO	SNATCH (ARRANCADA)	CLEAN & JERK	SQUAT FRONTAL	SQUAT TRAS NUCA
PESO CORPORAL	**0,450****	**0,459****	**0,511*****	**0,482*****

** p<0,05 - *** p<0,01

MUESTRA: 42 jóvenes Levantadores de Pesas masculinos de Nivel Élite
Edada: 16.21 ± 3.22 años; **Estatura:** 166.71 ± 8.65 cm; **P.C.:** 68.27 ± 20.51 kg

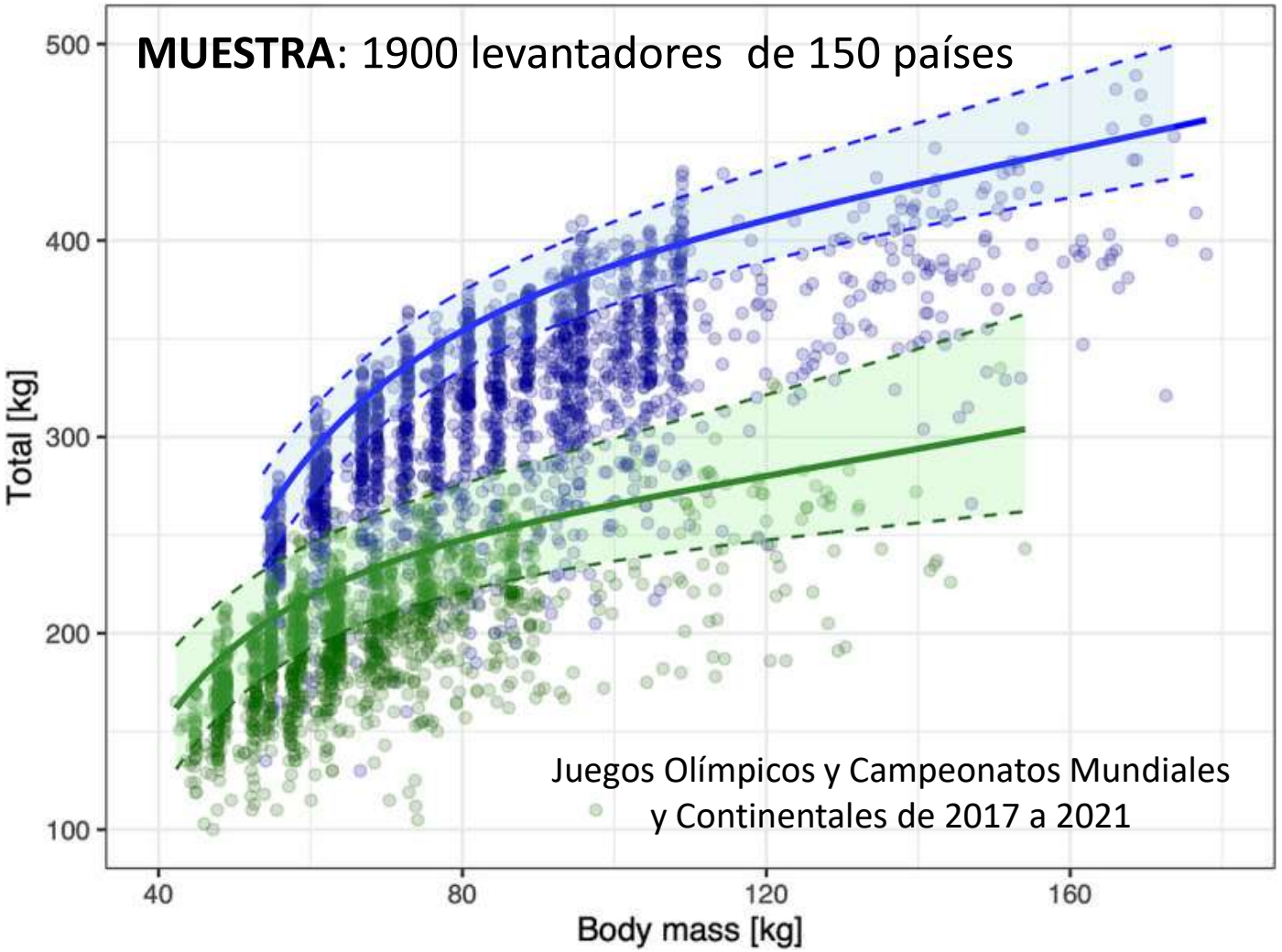
Snatch: 73.8±32.7 kg; **Clean & Jerk:** 91.0±43.8 kg
Front Squat: 109.5±48.1 kg; **Back Squat:** 139.8±75.1 kg

Comparison of Olympic-Style Weightlifting Performances of Elite Athletes: Scaling Models Account for Body Mass

Huebner, M., Meltzer, D. E., Bjarnason, Á., & Perperoglou, A.
Medicine and Science in Sports and Exercise, 55(12), 2281. 2023.

SER MÁS PESADO TE CONVIERTE EN MÁS FUERTE





Male powerlifting performance described from the viewpoint of complex systems

García-Manso J. M., Martín-González J. M., Da Silva-Grigoletto M. E.,
Vaamonde D., Benito P. & Calderón J.

Journal of Theoretical Biology, 251(3), 498-508. 2008.

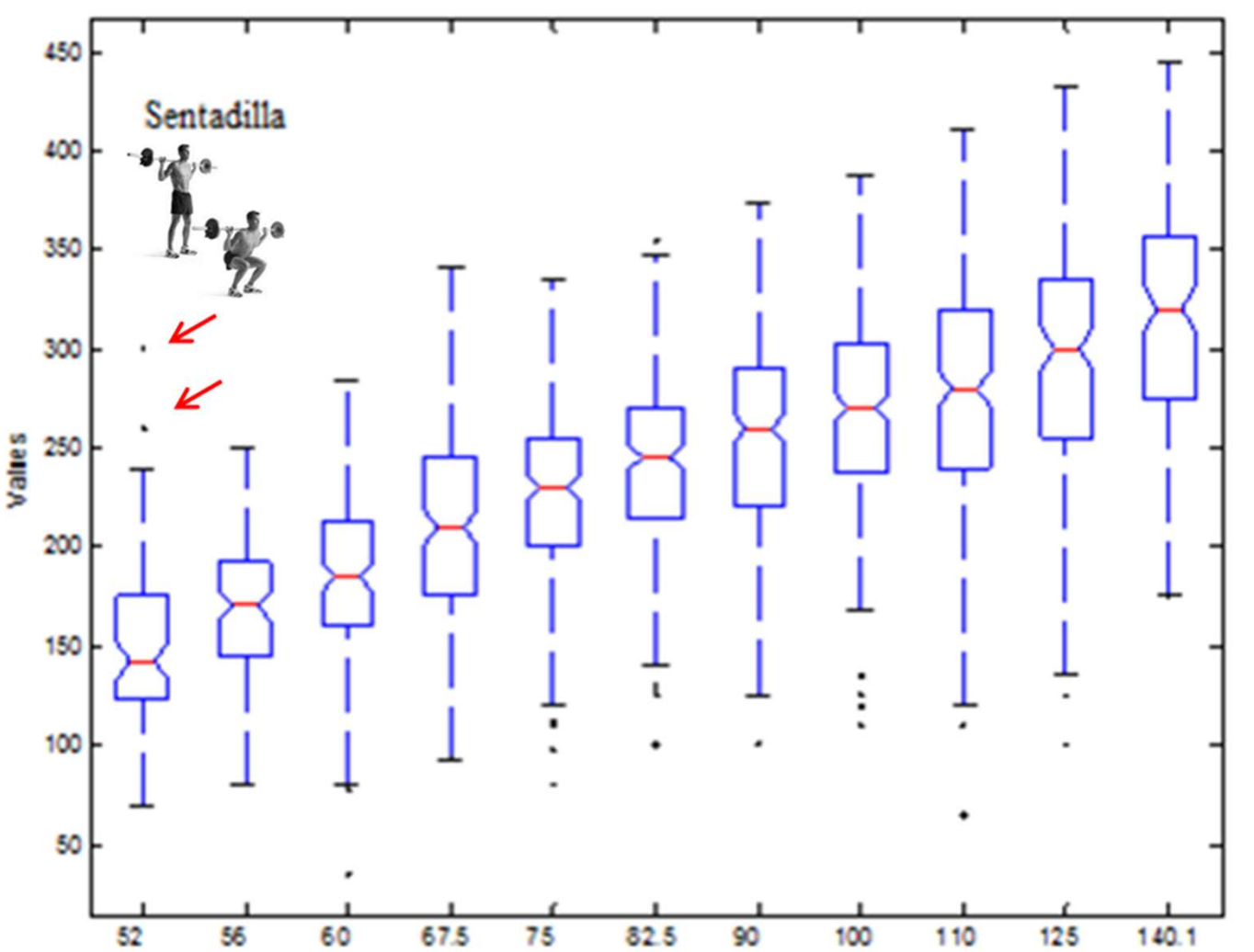
ULPGC

We analysed the scores of 1812 lifters belonging to all body mass categories, and analysed the changes in the results achieved in each weight category and by each competitor.

In powerlifting, official weight categories are generally organised in three different groups: light (<52.0 to <60 kg), medium (<67.5 to <90.0 kg) and heavy (<100 to >125 kg) lifter categories, each one of them with specific allometric exponents.

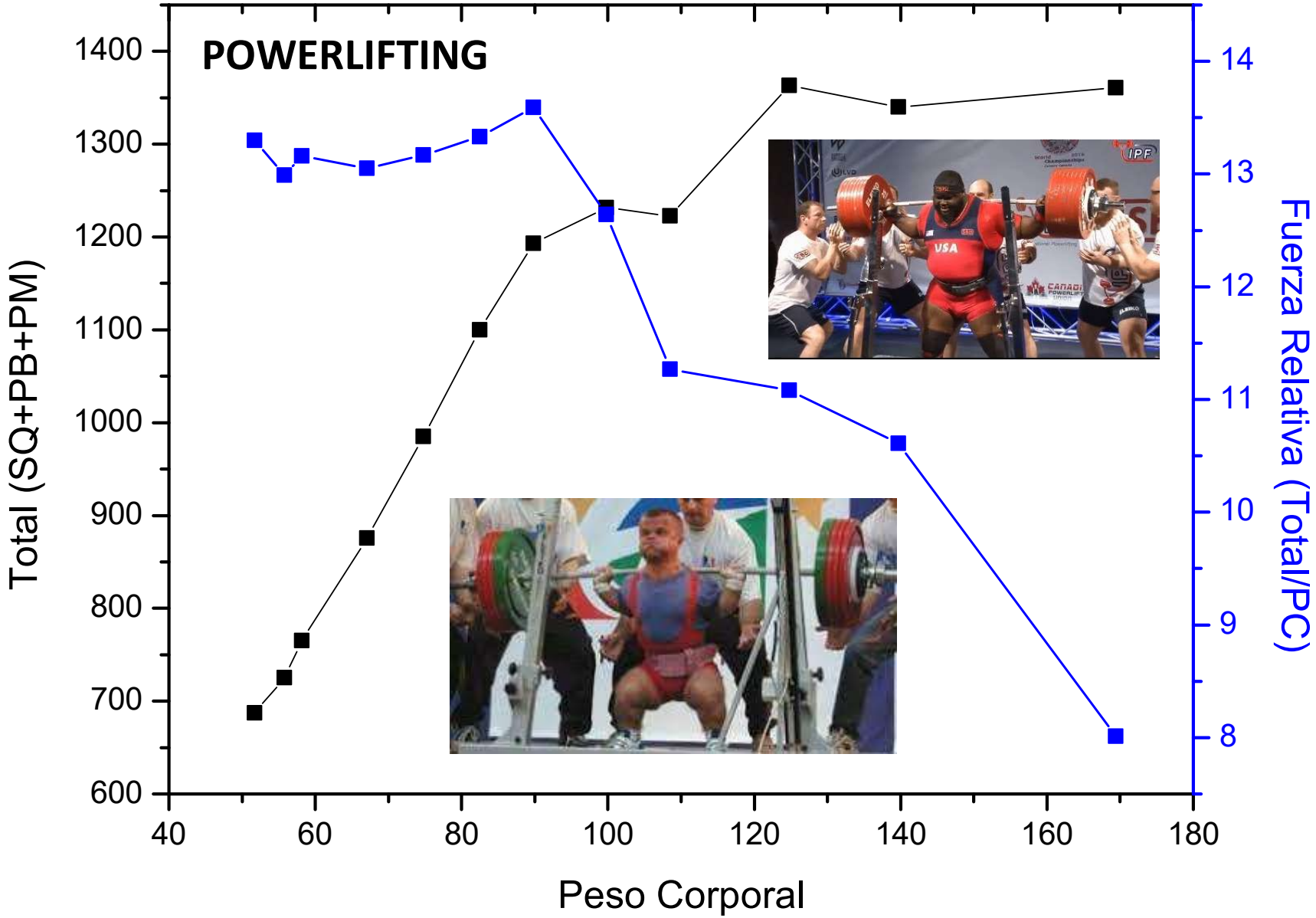
The exponent should be revised periodically and adjusted according to possible changes affecting competition.

SER MÁS PESADO TE CONVIERTE EN MÁS FUERTE



FORMAS DE EXPRESAR LA FUERZA

FUERZA ABSOLUTA *VS.* FUERZA RELATIVA



Universidad Alicante

Relationship of limb lengths and body composition to lifting in weightlifting

Vidal D., Martínez-Sanz J. M., Ferriz A., Gómez-Vicente V. & Ausó E.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(2), 756. https://doi.org/10.3390/ijerph18020756. 2021.

Muestra: 19 deportistas

12 ♂; **Edad**: 28,50 ± 6,37 años; **PC**: 84,58 ± 14,11 kg; **Estatura**: 176,18 ± 6,85 cm

7 ♀; **Edad**: 27,71 ± 6,34 años; **PC**: 64,41 ± 7,63 kg; **Estatura**: 166,94 ± 4,11 cm

PESO CORPORAL	Snatch			Clean		Jerk		C & J
	AV	MV	PI	AV	MV	AV	MV	PI
Correlación	0,152	0,218	0,091	0,606	0,501	0,739	0,435	- 0,056
P-Value	0,571	0,495	0,778	0,037	0,097	0,006	0,157	0,863

AV = Velocidad Media; **MV** = Velocidad Máxima;
PI = Indicador de Desempeño

PI = [carga levantada por el sujeto/carga levantada por primero en la categoría del mismo sexo y peso corporal del Campeonato Mundial de Halterofilia de 2019] × 100)

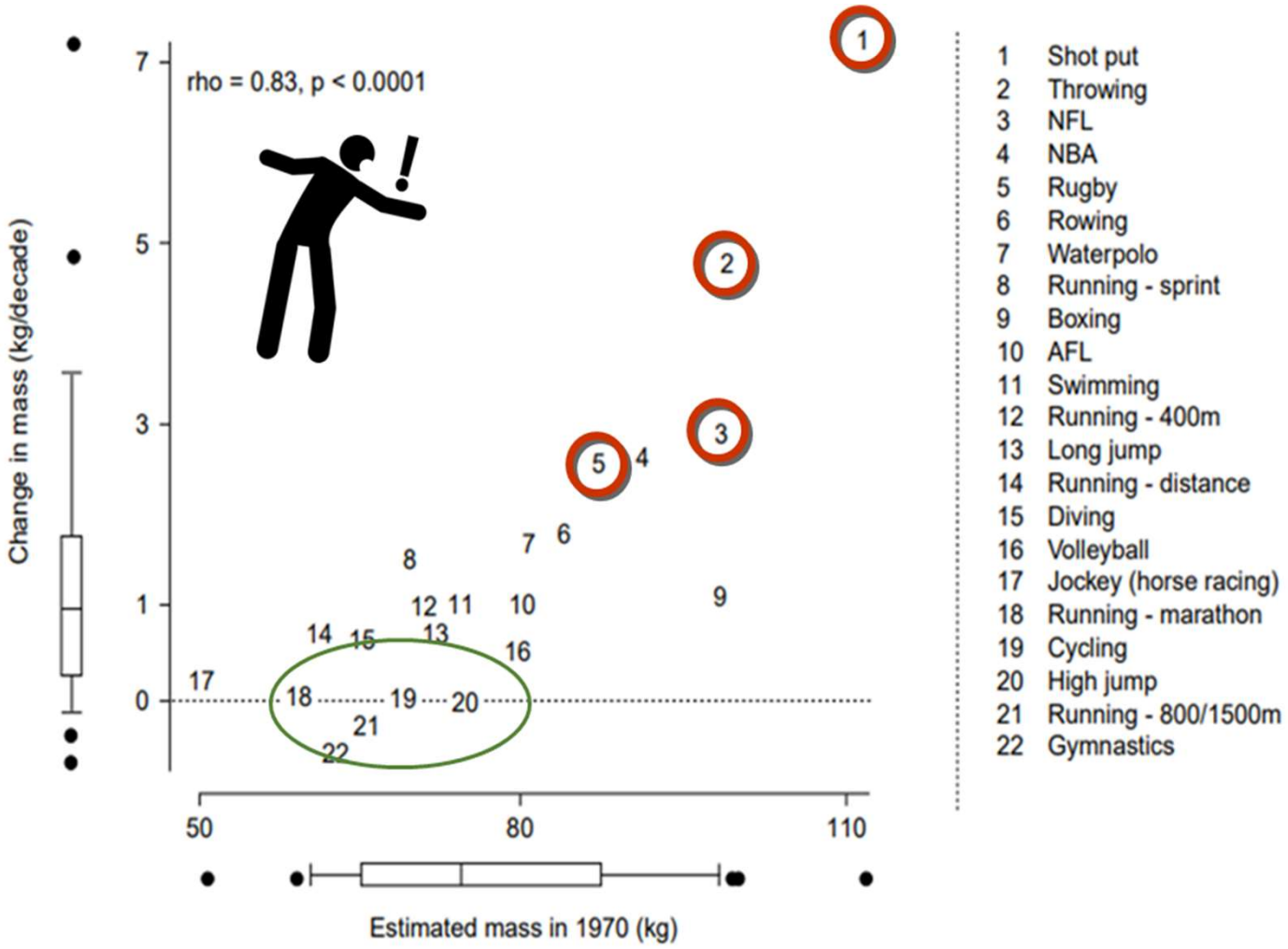
University of South Australia

Morphological Evolution of Athletes Over the 20th Century

Kevin Norton & Tim Olds (University of South Australia)

Sports Medicine 31(11), 763-783. 2001.

Relación entre la Tasa de Cambio del P.C. (kg/década) y el P.C. promedio estimado en 1970



Los deportistas son más pesados que la media de la población y están aumentando su peso a un ritmo más elevado que ellos

Los deportistas situados cerca de la media de la población han cambiado muy poco

Los más ligeros siguen siendo pequeños o se hacen algo más pequeños, mientras que los pesados se hacen cada vez más grandes, musculosos y ágiles

How they won Rugby World Cup through height, mass and collective experience

Sedeaud A, Marc A, Schipman J, Tafflet M, Hage JP. & Toussaint JF.

British Journal Sports Medicine. 46, 580 - 584. 2012.



TAMAÑO *vs*. PC *vs*. RENDIMIENTO

WORLD RUGBY

INSEP

MUESTRA

Entre 1987 y 2007

(P.C., Estatura, Índice de Masa Muscular y Edad)

2.692 jugadores que habían participado en la

COPA MUNDIAL DE RUGBY

(Países: Nueva Zelanda, Australia, Sudáfrica e Inglaterra)

1.457 "Forwards"

1.235 "Backs"

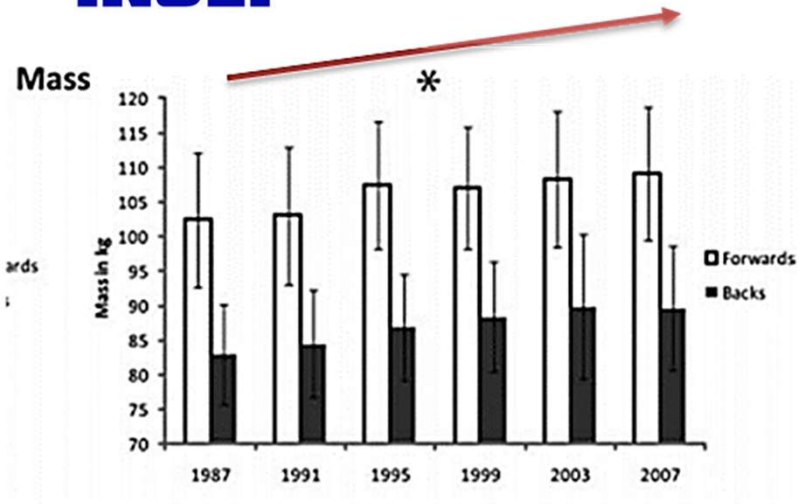
TAMAÑO: aumentó en cada campeonato

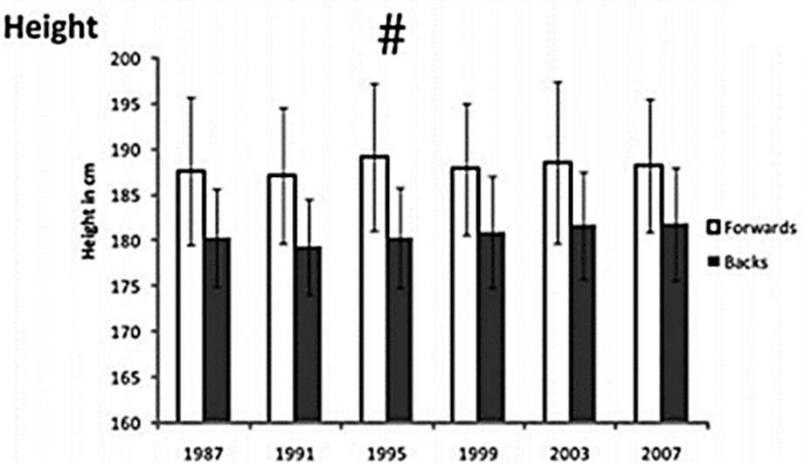
- Tres cuartos de equipos finalistas y semifinalistas eran **más altos que sus contrincantes** (182,4 *vs*. 180,9 cm).
- Delanteros ganadores, o que quedaron en 2º, 3º o 4º lugar, pesaban **2 kg** más que el resto de jugadores.

(108,0 kg *vs*. 106,1 kg)

SER MÁS ALTO Y MÁS PESADO

Ayuda a tolerar más impactos y proporciona MÁS FUERZA Y ENERGÍA AL JUEGO





PESO ÓPTIMO DE COMPETICIÓN



PESO CORPORAL IDEAL

¿ESTABLE O UN VALOR PARA CADA MOMENTO O FASE DE LA TEMPORADA?

Igual que el **P.C.** cambia a lo largo del día con la ingesta de nutrientes y nivel de actividad realizada, también oscila a lo largo de la temporada para responder adecuadamente al Entrenamiento y
Alcanzar el Máximo Rendimiento en las Principales Competiciones



- **Peso Corporal en cada Fase de la Temporada**
  - Peso Corporal Mínimo
  - Peso Corporal Máximo
- **Peso Corporal Óptimo para la Competición**
  - Pérdida Rápida de Peso Corporal

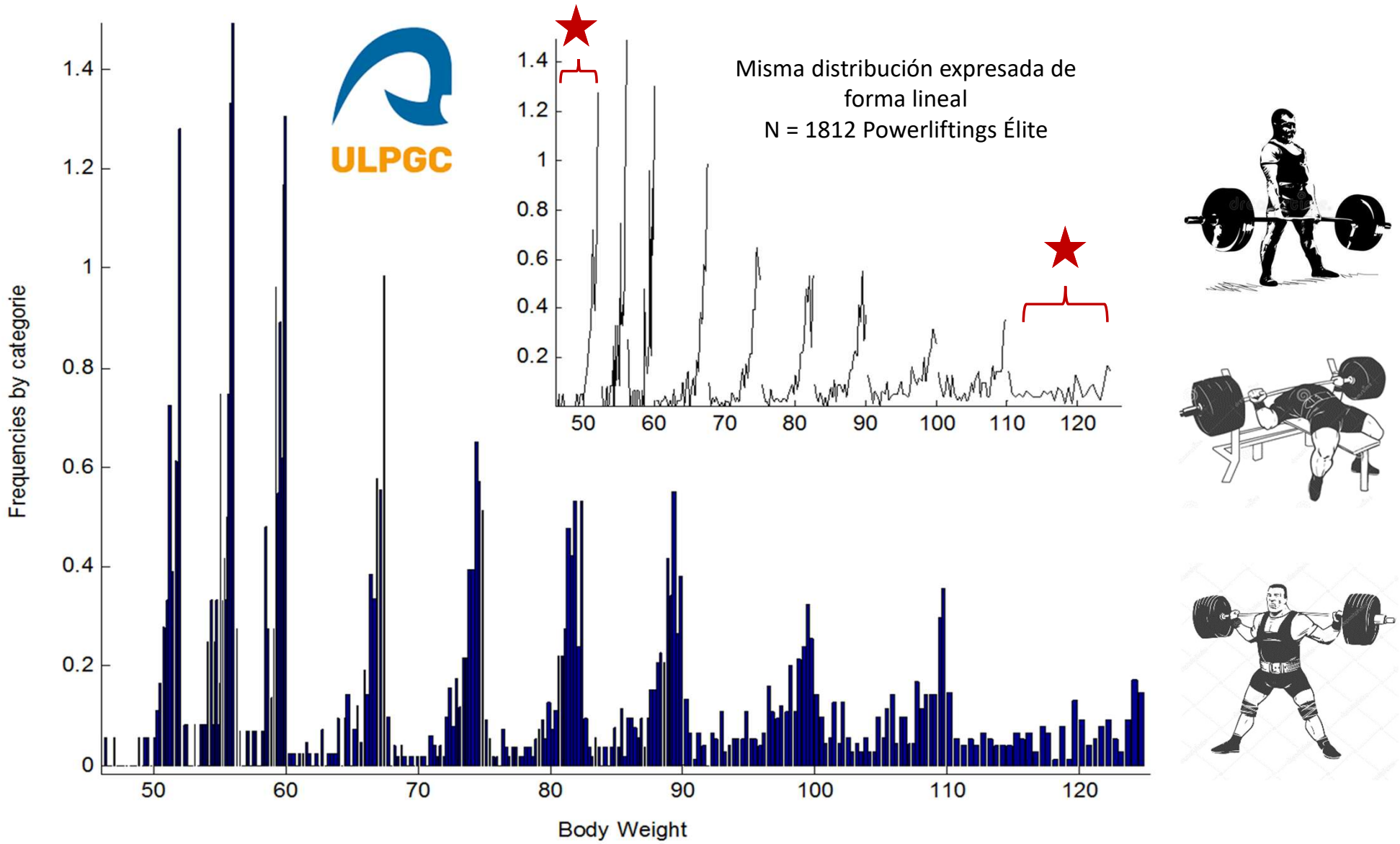


Siendo aspectos importantes en Todas las Modalidades Deportivas, son especialmente relevantes en los deportes que dependen muy directamente de la Fuerza y, de forma muy específica, en los Deportes de Combate y en los Deportes en que se compite por Categorías de Peso Corporal

Male powerlifting performance described from the viewpoint of complex systems

García-Manso JM, Martín-González JM, Da Silva-Grigoletto ME, Vaamonde D, Benito P & Calderón J.

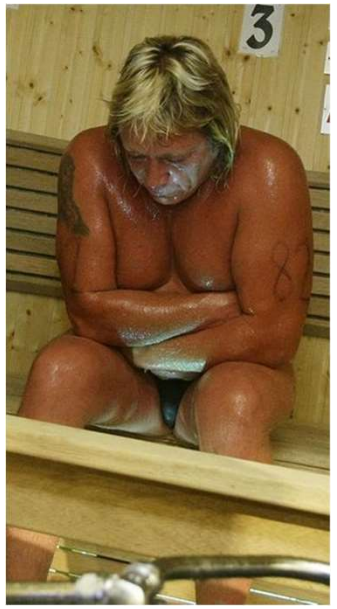
Journal of Theoretical Biology, 251(3), 498-508. 2008.



PESO CORPORAL EN LA COMPETICIÓN







PÉRDIDA RÁPIDA DE PESO CORPORAL

(*WEIGHT CUTTING*)

LÍMITES TEÓRICOS

ESTRATEGIAS UTILIZADAS

RIESGOS POTENCIALES

OBJETIVO DE LAS ESTRATEGIAS DE PÉRDIDA RÁPIDA DE PESO CORPORAL

A. Lograr el Peso Corporal Reglamentario en Competiciones de Modalidades Deportivas por Categorías de Peso Corporal

B. Obtener Ventaja Competitiva contra oponentes más ligeros y/o pequeños

DEPORTES DE COMBATE: se llega a competir con un P.C. de 1-2 Divisiones por encima de la División en la que oficialmente se registran (Pesaje)

Muchos deportistas realizan regularmente (antes del pesaje) estrategias de **PRPC** para luego forzar un aumento rápido de **P.C.** (**GRPC**) en las horas posteriores incorporando estrategias de rehidratación y recuperación de reservas energéticas

C. Obtener Máxima Definición Corporal (*Depletación*)

Mínima Cantidad de Grasa Corporal & Elevada Deshidratación

WEIGHT CUTTING
RAPID WEIGHT LOSS

Deportes de Combate

Weight loss in combat sports: physiological, psychological and performance effects

Franchini E, Brito CJ & Artioli GG

Journal of the International Society of Sports Nutrition 9(1), 52-57. 2012.



N = ≈ 4.800

Sujetos

Sample	Prevalence	Magnitude
Brazilian judo (n = 145)	Males: 62.8%	Males[a]: 5.6 ± 2.2 kg
		8.5 ± 4.2%
Brazilian jujitsu (n = 155)	Males: 56.8%	Males[a]: 2.9 ± 1.5 kg
		4.1 ± 2.0%
Brazilian karate (n = 130)	Males: 70.8%	Males[a]: 2.5 ± 1.1 kg
		3.6 ± 2.2%
Brazilian taekwondo (n = 150)	Males: 63.3%	Males[a]: 3.2 ± 1.2 kg
		4.3 ± 3.2%
Iranian wrestling (n = 436)	62%	3.3 ± 1.8 kg (5.0 ± 2.6%)
Brazilian judo (n = 822)	86% (all categories)	Most of the athletes reduced between 2-5%
	89% (heavyweights excluded)	
Brazilian judo (n = 105 males and 20 females)	Males: 77.1%	Males: 4.5 ± 3.5 kg
	Females: 55.0%	Females: 1.7 ± 0.8 kg
USA judo (n = NR)	70–80%	NR
Brazilian Olympic Boxing Team	100%	5.8 kg
Canadian taekwondo (n = 28)	53%	NR
USA high school wrestling (n = 2352)	62%	2.9 ± 1.3 kg
		4.3 ± 2.3%
USA college wrestling (n = 63)	89%	5 kg
USA high school wrestling (n = 368)	70%	2.3 kg

PREVALENCIA MEDIA

≈ 82,4%

REDUCCIÓN MEDIA

≈ 6,2%

RANGO

1,7% - 8,5%

Methods of Body-Mass Reduction by Combat Sport Athletes

Brito CJ, Aendria Martins-Roas FC, Souza-Brito IS, Bouzas-Marins JC, Córdova C & Franchini E.

International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 22, 89 - 97. 2012.

Universidade Federal
Juiz de Fora

580 deportistas (25.0 ± 3.7 años, 74.5 ± 9.7 kg, 16.4% ± 5.1% Grasa)

Independientemente del deporte, el 63.1% realizó una P.R.P.C.

50% utilizó saunas y ropa de plástico (sudoración)

Solo el 27.9% recibió asesoramiento de un nutricionista

- **Sujetos que realizaron una P.R.P.C.**
- **Pérdidas Superiores al 5% del P.C.**
- **Edad que lo realizaron por 1ª vez**
- **Cuantos años de entrenamiento acumulaban la primera vez**
- **Número de días antes de la competición**
- **Pérdida de PC en semana competitiva (kg)**
- **Pérdida de PC/semana competición (%)**
- **No recibieron asesoramiento**

Judo	Jujitsu	Karate	Tae kwon do	Total
62.8%	56.8%	70.8%	63.3%	63.1%
43.4%[c]	27.1%	29.2%	28.7%	31.7%
17.0 ± 2.5	21.1 ± 5.2[a]	13.6 ± 1.4[b]	14.2 ± 2.1[b]	16.5 ± 2.8
5.3 ± 0.5	7.2 ± 1.1	2.4 ± 3.0[b]	2.5 ± 3.3[b]	5.5 ± 1.8
14.5 ± 6.0	21.5 ± 14.4[c]	14.8 ± 7.0	9.7 ± 5.2[d]	15.1 ± 8.1
5.6 ± 2.2[c] (1–10)	2.9 ± 1.5 (0.3–8)	2.5 ± 1.1 (1–5)	3.2 ± 1.2 (0.3–6)	3.6 ± 1.5 (0.3–10)
8.5 ± 4.2[c]	4.1 ± 2.0	3.6 ± 2.2	4.3 ± 3.2	5.3 ± 3.5
65.5%	63.2%	80.8%	80.0%	72.1%



PÉRDIDA RÁPIDA DE PESO CORPORAL

(*WEIGHT CUTTING*)



REDUCCIÓN SIGNIFICATIVA DEL PESO CORPORAL

(≈2% y 10% e incluso mayores)

DESDE DÍAS PREVIOS AL ACTO DE PESAJE

(Habitualmente 3-10 días antes)



SE LOGRA CON UNA COMBINACIÓN DE MÉTODOS QUE INCLUYEN:

- **REDUCCIÓN SIGNIFICATIVA INGESTA CALÓRICA (INGESTA REDUCIDA)**
  - **Frecuentemente con Aumento o Cambios de Entrenamiento**
- **AYUNO O ELIMINACIÓN DE COMIDAS**



- **RESTRICCIÓN DE LÍQUIDOS (Especialmente horas [12] antes del Pesaje)**
- **WATER-LOADING ⇒ Micciones Elevadas y Frecuentes (*Poliuria*):**
  - **Consumo Grandes Volúmenes de Líquido (6-10 litros) varios días (3-4 días) con Posterior Restricción Severa (1-2 días) ⇒ ↓ ≈ 3% P.C.**
- **SUDORACIÓN FORZADA (Sauna, Traje Plástico, Ejercicio, etc.)**



- **ESPUTOS FRECUENTES FORZADOS (3 h. Pre-Pesaje + Chicle Agrio)**
- **FÁRMACOS O ESTRATEGIAS PARA ELIMINAR LÍQUIDO O DETRITOS**
  - **Vómitos, Laxantes, Enemas (Lavativas), Diuréticos, Extracciones Sangre, etc.**

Rapid weight loss practices in grapplers competing in combat sports

Ranisavljev M, Kuzmanovic J., Todorovic N., Roklicer R., ., ... & Drid P. Frontiers in Physiology, *13*, 41. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.842992. 2022.

Source of influence	Gender	Always	Sometimes	Rarely	Never	Do not use it anymore
Gradual dieting	Male	41 (50%)	29 (35.4%)	3 (3.7%)	4 (4.9%)	5 (6.1%)
	Female	20 (51.3%)	11 (28.2%)	3 (7.7%)	2 (5.1%)	3 (7.7%)
Skipping meals	Male	8 (9.8%)	42 (51.2%)	9 (11%)	17 (20.7%)	6 (7.3%)
	Female	6 (15.4%)	16 (41%)	8 (20.5%)	5 (12.8%)	4 (10.3%)
Fasting	Male	7 (8.5%)	26 (31.7%)	16 (19.5%)	28 (34.1%)	5 (6.1%)
	Female	2 (5.1%)	13 (33.3%)	5 (12.8%)	13 (33.3%)	6 (15.4%)
Restricting fluid ingestion	Male	13 (15.9%)	33 (40.2%)	12 (14.6%)	19 (23.2%)	5 (6.1%)
	Female	6 (15.4%)	13 (33.3%)	6 (15.4%)	11 (28.2%)	3 (7.7%)
Increased exercise	Male	33 (40.2%)	31 (37.8%)	6 (7.3%)	6 (7.3%)	6 (7.3%)
	Female	13 (33.3%)	13 (33.3%)	7 (17.9%)	4 (10.3%)	2 (5.1%)
Training in heated room	Male	14 (17.1%)	41 (50%)	8 (9.8%)	15 (18.3%)	4 (4.9%)
	Female	6 (15.4%)	10 (25.6%)	11 (28.2%)	12 (30.8%)	0 (0%)
Sauna	Male	15 (18.3%)	49 (59.8%)	8 (9.8%)	7 (8.5%)	3 (3.7%)
	Female	7 (17.9%)	19 (48.7%)	5 (12.8%)	6 (15.4%)	2 (5.1%)
Training in plastic suits	Male	8 (9.8%)	25 (30.5%)	15 (18.3%)	29 (35.4%)	5 (6.1%)
	Female	2 (5.1%)	19 (48.7%)	5 (12.8%)	12 (30.8%)	1 (2.6%)
Use plastic suit all day	Male	3 (3.7%)	21 (25.6%)	15 (18.3%)	36 (43.9%)	7 (8.5%)
	Female	1 (2.6%)	9 (23.1%)	6 (15.4%)	22 (56.4%)	1 (2.6%)
Spitting	Male	5 (6.1%)	28 (34.1%)	13 (15.9%)	30 (36.6%)	6 (7.3%)
	Female	2 (5.1%)	12 (30.8%)	7 (17.9%)	18 (46.2%)	0 (0%)
Laxative	Male	2 (2.5%)	10 (12.3%)	5 (6.2%)	60 (74.1%)	4 (4.9%)
	Female	0 (0%)	9 (23.1%)	3 (7.7%)	26 (66.7%)	1 (2.6%)
Diuretics	Male	1 (1.2%)	6 (7.3%)	5 (6.1%)	66 (80.5%)	4 (4.9%)
	Female	1 (2.6%)	5 (12.8%)	2 (5.1%)	29 (74.4%)	2 (5.1%)
Diet pills	Male	0 (0%)	7 (8.5%)	5 (6.1%)	66 (80.5%)	4 (4.9%)
	Female	2 (5.1%)	2 (5.1%)	1 (2.6%)	34 (87.2%)	0 (0%)
Vomiting	Male	0 (0%)	7 (8.5%)	3 (3.7%)	66 (80.5%)	6 (7.3%)
	Female	2 (5.1%)	3 (7.7%)	0 (0%)	33 (84.6%)	1 (2.6%)

ESTRATEGIA	SEXO	SIEMPRE	ALGUNAS VECES	RARA VEZ
Dieta Gradual	HOMBRES	50.0 %	35.4 %	3.7 %
	MUJERES	51.3 &	28.2 %	7.7 %
Suprimir Ingestas	HOMBRES	9.8 %	51.2 %	11.0 %
	MUJERES	15.4 %	41.0 %	20.5 %
Incremento de Ejercicio	HOMBRES	40.2 %	37.6 %	7.3 %
	MUJERES	33.3 %	33.3 %	17.9 %
Sauna	HOMBRES	18.3 %	59.8 %	9.8 %
	MUJERES	17.9 %	48.7 %	9.8 %
ESTRATEGIA	**SEXO**	**RARA VEZ**	**NUNCA**	**RENIEGA**
Laxantes	HOMBRES	6.2 %	74.1 %	4.9 %
	MUJERES	7.7 %	66.7 %	2.6 %
Diuréticos	HOMBRES	6.1 %	80.5 %	4.9 %
	MUJERES	5.1 %	74.4 %	5.1 %
Píldoras Dietéticas	HOMBRES	6.1 %	80.5 %	4.9 %
	MUJERES	2.6 %	87.2 %	4.9 %
Vómitos	HOMBRES	3.7 %	80.5 %	7.3 %
	MUJERES	0.0 %	84.6 %	2.6 %



Rapid weight loss practices in grapplers competing in combat sports

Ranisavljev M, Kuzmanovic J, Todorovic N, Roklicer R, Dokmanac M, Baic M, ... & Drid P. Frontiers in Physiology, *13*, 41. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.842992. 2022.

AUT UNIVERSITY
AUCKLAND UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Prevalence, magnitude, and methods of weight cutting used by world class powerlifters

Kedric Kwan & Eric Russel Helms

Journal Strength and Conditioning Research 36(4), 998–1002. 2022.

MUESTRA

42 levantadores masculinos y 22 mujeres

(Edad: 25 ± 8 años; Experiencia Competitiva: 4 ± 2,2 años)

El 83% redujo su PC un promedio de 2,9 ± 4,3%





MÉTODOS UTILIZADOS (♂ & ♀)

- **Dieta Gradual**: 42,2% - 31,3%
- **Ayuno:** 15,6% - 18,7%
- **Eliminación de Comidas:** 4,7% - 21,9%
- **Aumento de Actividad:** 9,4% - 24,4%
- **Restricción Líquida**
  Con recarga posterior: 32,8% - 34,4%
  Sin recarga posterior: 23,4% - 9,4%
- **Sudoración Forzada**
  Sauna: 8% - 6,3%
  Trajes de Goma: 1,6% - 2,6%
- **Laxantes:** 9,4% - 18,7%
- **Diuréticos:** 7,8% - 6,3%

La mayoría (♂ & ♀) experimentaron cambios negativos en su estado psicológico

Solo el 9% informó que nunca experimentó ningún efecto negativo en el estado psicológico

- **Fatiga**: 15,6% - 45,3%
- **Ira**: 3,2% - 26,6%
- **Soledad**: 4,7% - 12,5%
- **Ansiedad:** 14,1% - 35,95%

ACSM expert consensus statement on weight loss in weight-category sports

Burke LM, Slater GJ, Matthews JJ, Langan-Evans C. & Horswill CA.

Current Sports Medicine Reports, 20(4), 199-217. 2021.

ESTRATEGIAS PARA LA RECUPERACIÓN DE FLUIDOS

RECOMENDACIONES	CONSIDERACIONES *vs*. CATEGORÍAS PC
• Consumir un volumen de líquido equivalente a ≈150 % del déficit de líquido • Reponer electrolitos perdidos, particularmente el Na^+, para promover un rápido reequilibrio de compartimentos líquidos y minimizar pérdidas de orina (bebidas con electrolitos y/o alimentos ricos en sal. • La tasa y volumen de ingesta de líquido deben considerar el vaciado gástrico frente a la retención de líquidos, la perturbación en la osmolalidad plasmática y las pérdidas por orina  	• Puede que no se disponga de tiempo suficiente entre pesaje y competición para lograr restauración total de líquidos; Considerar las tasas de absorción gastrointestinal, pérdidas urinarias y comodidad de acuerdo con la experiencia individual. • La reposición de electrolitos es más importante cuando la deshidratación fue por sudoración. • Consumir alto volumen de líquido (≈10 ml/kg) inmediatamente después del pesaje, seguido de volúmenes más pequeños y continuos a intervalos regulares para mantener una alta tasa de vaciamiento gástrico. • Rehidratarse para la primera prueba adecuadamente y luego repetir el protocolo para los días siguientes

ACSM expert consensus statement on weight loss in weight-category sports

Burke LM, Slater GJ, Matthews JJ, Langan-Evans C. & Horswill CA.

Current Sports Medicine Reports, 20(4), 199-217. 2021.

ESTRATEGIAS PARA LA RECUPERACIÓN DE GLUCÓGENO

RECOMENDACIONES	CONSIDERACIONES *vs*. CATEGORÍAS PC
• Mayor tasa de ingesta de CHO (≈1 g/kg/h), en pequeñas tomas. • Alimentos ricos en CHO con IG moderado a alto • Carga de ejercicio moderado: 5-7 g/kg/h • Carga con ejercicio intenso para la supercompensación del glucógeno: 6-10 g/kg/h • Añadir proteínas (≈20-25 g de proteína de alta calidad). 	• Aunque el atleta puede tener reservas de glucógeno reducidas, la importancia del glucógeno para el rendimiento variará según el tipo de deporte y cantidad de eventos que se realizarán en un día. • Puede que no sea posible recuperar suficiente energía si el período posterior al pesaje es corto (1-2 horas). • La elección de alimentos debe considerar los objetivos de CHO, otros objetivos nutricionales (ingesta de proteínas) y el bienestar intestinal. • Las opciones compactas y líquidas pueden ser las más adecuadas, y se debe moderar la ingesta de grasas y fibra.

PÉRDIDA RÁPIDA DE PESO CORPORAL

(*WEIGHT CUTTING*)







¿CÓMO INFLUYE SOBRE EL RENDIMIENTO?

Effects of Different Rapid Weight Loss Strategies and Percentages on Performance-Related Parameters in Combat Sports: An Updated Systematic Review

Martínez LM, Sanz M, Orozco G, Gonzalez-Fdez FT, Rodríguez-García L. & Guadalupe A.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(6), 5158. 2023.



MUESTRA:

16 artículos (n = 184 Atletas Disciplinas de Combate; >3-4 Años de Práctica)

SEIS ESTUDIOS (6): informaron que una PRPC ≈5% P.C. NO AFECTÓ AL RENDIMIENTO

DIEZ ESTUDIOS (10): PRPC 3-6% o más, EFECTOS NEGATIVOS o DETERIORO en diferentes parámetros relacionados con el rendimiento y/o la psicofisiología del atleta



Para garantizar un RENDIMIENTO DEPORTIVO ACEPTABLE

LA PÉRDIDA DE PESO CORPORAL NO DEBE EXCEDER:

3 % - ≤5 % del P.C.

ADELGAZAR de **FORMA PROGRESIVA** (varias semanas), especialmente en competiciones de varios días de duración con múltiples rondas o fases clasificatorias

RECOMENDABLE: disponer de ≥24 horas de recuperación

Rehidratarse & Recarga Energética

Weight-Cutting Implications for Competition Outcomes in Mixed Martial Arts Cage Fighting

Brechney GC, Chia E & Moreland AT.

Journal of Strength and Conditioning Research
35(12), 3420-3424. 2021.

Charles Sturt University

75 Luchadores MMA (♂: 73 & ♀: 2)



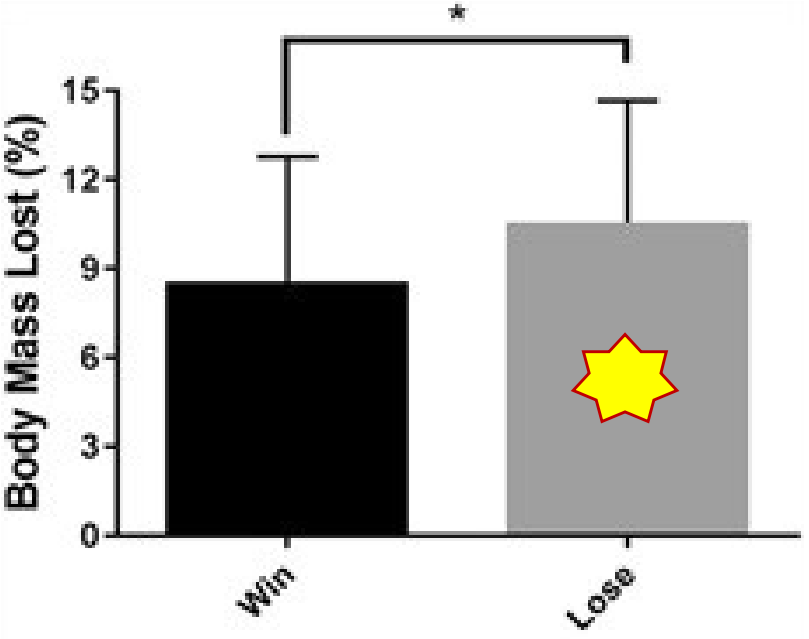
P.R.P.C. es una estrategia extrema,
y no siempre Idónea,
para garantizar la seguridad del deportista

Puede ser perjudicial para:
Rendimiento Físico & Fisiológico

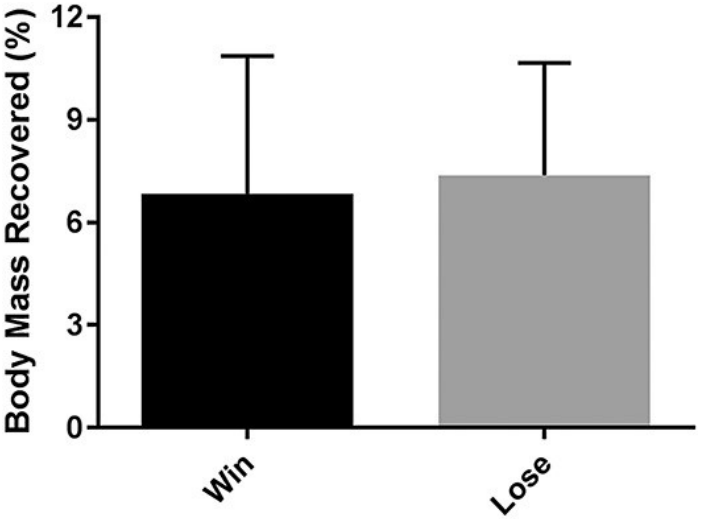
Una P.R.P.C. muy agresiva conlleva:

Mayor Probabilidad de Perder la Pelea

Porcentaje de BM perdido por luchadores ganadores & perdedores



Porcentaje de BM recuperado por luchadores ganadores & perdedores





M.M.A.

Worth the weight?
Post weight-in rapid weight gain is not related to winning or losing in professional mixed martial arts

Christopher Kirk, Carl Langan-Evans & James P. Morton

International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 30(5), 357-361. 2020.



LIVERPOOL JOHN MOORES UNIVERSITY

P.R.P.C. CONLLEVA ENTRE OTRAS COSAS:



Ocasionalmente ⇒ Deshidratación;

Reducción de la T.M.B.;

Cambios del Perfil Endocrino (Eje Hipogonadal);



Problemas Cardiovasculares;

Elevado Riesgo de Lesión Renal Aguda.

Se ha sugerido que la **Hipohidratación Cerebral Severa (alteraciones cognitivas),** y los **Cambios Hormonales** resultantes, son algunas de las principales causas de alteraciones (lesiones) fisiológicas que, en situaciones extremas:

¡¡ PUEDEN LLEGAR A PROVOCAR LA MUERTE DEL DEPORTISTA !!

33rd International Conference on Biomechanics in Sports

Poitiers - France / 29 June - 3 July 2015

Effects of Cutting Weight via sauna on Force Production and Rate of Force Development for the Olympic Snatch Pull

Brian R. Budd II & Randall L. Jensen

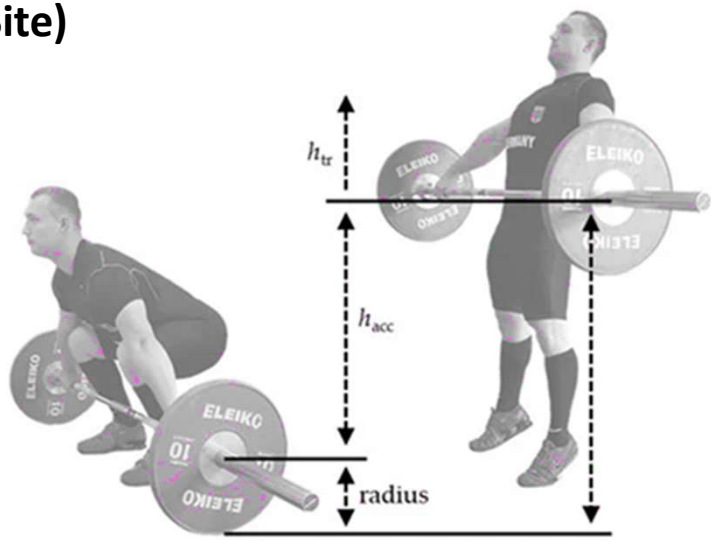
33rd International Conference on Biomechanics in Sports
Poitiers (Francia); 29 de Junio – 3 de Julio. 2015.



MUESTRA: 7 levantadores (edad: 20.0 ± 1.4 años)
(University Olympic Training Site)

Test: 95%-100%-105% 1RM Rec. 2'

Grupo/Test	FUERZA EN EL TIRÓN		
	95% - 1RM	100% - 1RM	105% - 1RM
Pre	**2380** ± 318 N	**2405** ± 426 N	**2429** ± 400 N
Post ↓	**2221** ± 293 N	**2236** ±497 N	**2266** ± 421 N



Pérdidas del 1-3 % del P.C. (Dieta y Sauna)

REDUJO PERO NO ALTERÓ (SIGNIFICATIVAMENTE) EL RENDIMIENTO:

Fuerza de Empuje, RFD o Salto Vertical

Perder 1-2% de Masa Corporal no tiene un efecto significativo sobre la Fuerza Muscular o el Rendimiento, lo que podría suponer que la P.R.P.C. pueda ser una estrategia aceptable para algunos deportistas en determinadas ocasiones

EFFECT OF WEIGHT CUTTING ON OLYMPIC WEIGHTLIFTING PERFORMANCE

Daniel J. Salvatore

Tesis Doctoral (2018) - State University of New York (Buffalo)





MUESTRA (14)

8 ♂ entrenados

Edad: 26,4±4,8 años; **Experiencia**: 3,5±1,4 años; **Grasa** (%): 28,1±3,6; **P.C.**: 91,7±10,9 kg

6 ♀ entrenadas

Edad: 27,2±3,1 años; **Experiencia**: 2,4±0,8 años; **Grasa** (%): 25,7±5,59; **P.C.**: 68,0±5,8 kg

Disminución del 2-4% del P.C. en **1 semana** de restricciones en la **ingesta de líquidos** seguida de una rehidratación parcial

DISMINUYÓ LIGERAMENTE RENDIMIENTO

(Snatch)





VELOCIDAD DE LA BARRA: NO CAMBIÓ

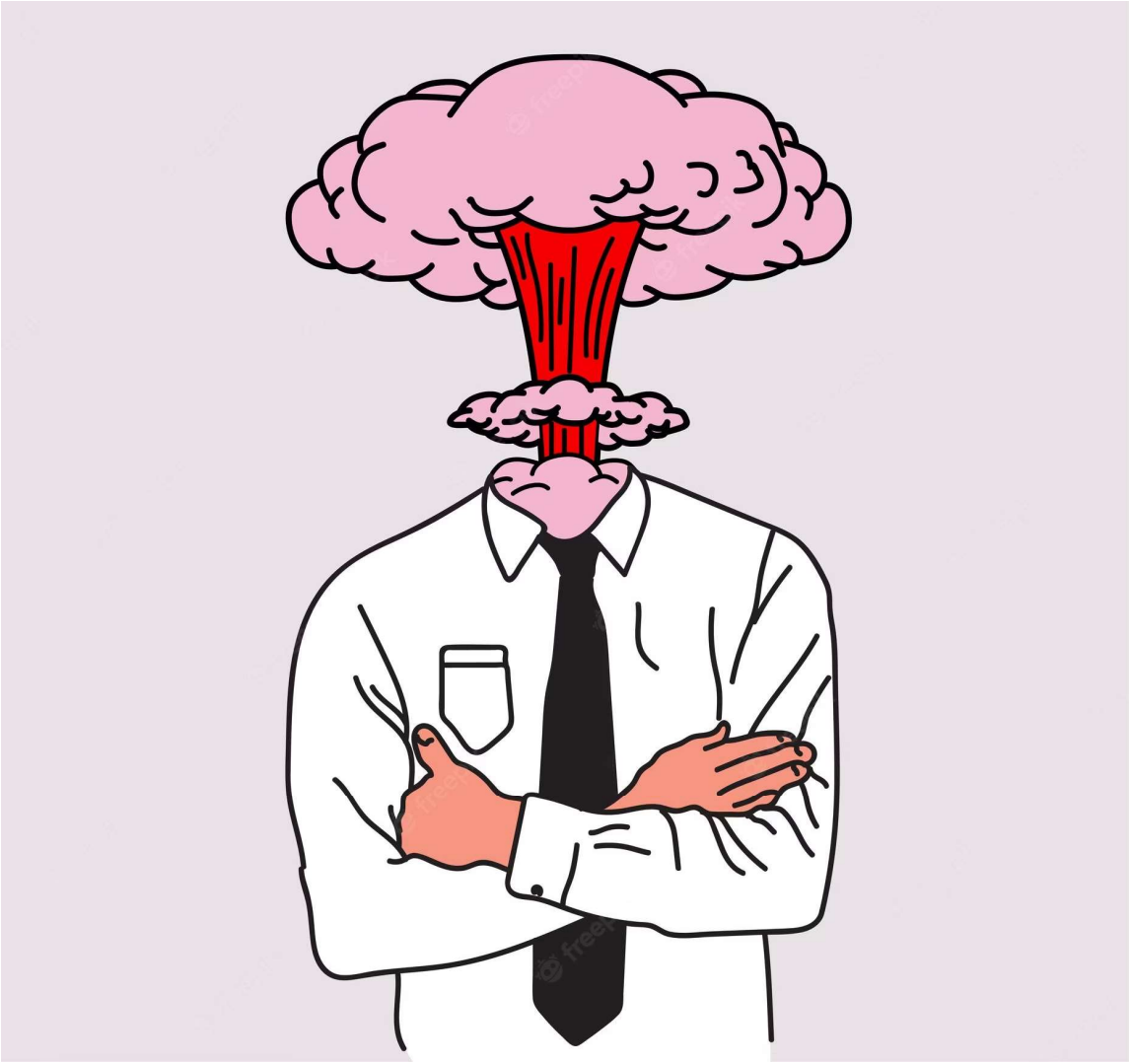
Tras la Deshidratación & Posterior Rehidratación Rápida

Test-1: 0,79 ± 0,09 m/s – Test-2: 0,76 ± 0,09 m/s

ALTURA MÁXIMA DE LA BARRA: DISMINUYÓ SIGNIFICATIVAMENTE

Test-1: 0,89 ± 0,07 m – Test-2: 1, 0,88 ± 0,08 m (p = 0,02)

¿QUÉ PODEMOS HACER?



ACSM Expert Consensus Statement on Weight Loss in Weight-Category Sports

Burke LM, Slater GJ, Matthews JJ, Langan-Evans C. & Horswill CA.
Current Sports Medicine Reports, 20(4), 199-217. 2021.



¡¡ GARANTIZAR SIEMPRE LA SALUD E INTEGRIDAD DEL DEPORTISTA !!

NIVEL INSTITUCIONAL

- **Realizar Campañas de Educación y Concienciación para Atletas & Entrenadores.**
- **Aumentar el Número de Categorías de P.C. por Modalidad Deportiva**
- **Determinar, en Pretemporada, un Peso Corporal Mínimo de Competición por deportista determinado a partir de la Composición Corporal de cada Deportista.**
- **Limitar el Número de Actos de Pesaje.**
- **Reducir el Tiempo entre el Acto de Pesaje y Competición.**
- **Prohibir con Sanciones Severas las Estrategias de P.R.P.C. Poco Saludables.**
- **Controlar el estado de Hidratación.**

NIVEL INDIVIDUAL

- **Orientación y Seguimiento por un Especialista en Nutrición Deportiva.**
- **Utilizar Estrategias que Minimicen Riesgos Potenciales y/o Pérdida de Rendimiento.**
- **Respetar las Características y Peculiaridades de cada Deporte.**
- **Adaptar la P.R.P.C. al Perfil Individual del Deportista (Morfológico & Entrenamiento)**

Manchester Metropolitan University

The need of a weight management control program in judo: a proposal based on the successful case of wrestling

Artioli GG, Franchini E, Nicastro H, Sterkowicz S, Solis MY & Lancha AHJ.

Journal of the International Society of Sports Nutrition; 7(1), 15-19. 2010.



RECOMENDACIONES QUE DEBEN SER TENIDAS EN CUENTA EN

MODALIDADES DEPORTIVAS DE COMBATE

PARA GARANTIZAR UNA P.R.P.C. SEGURA :

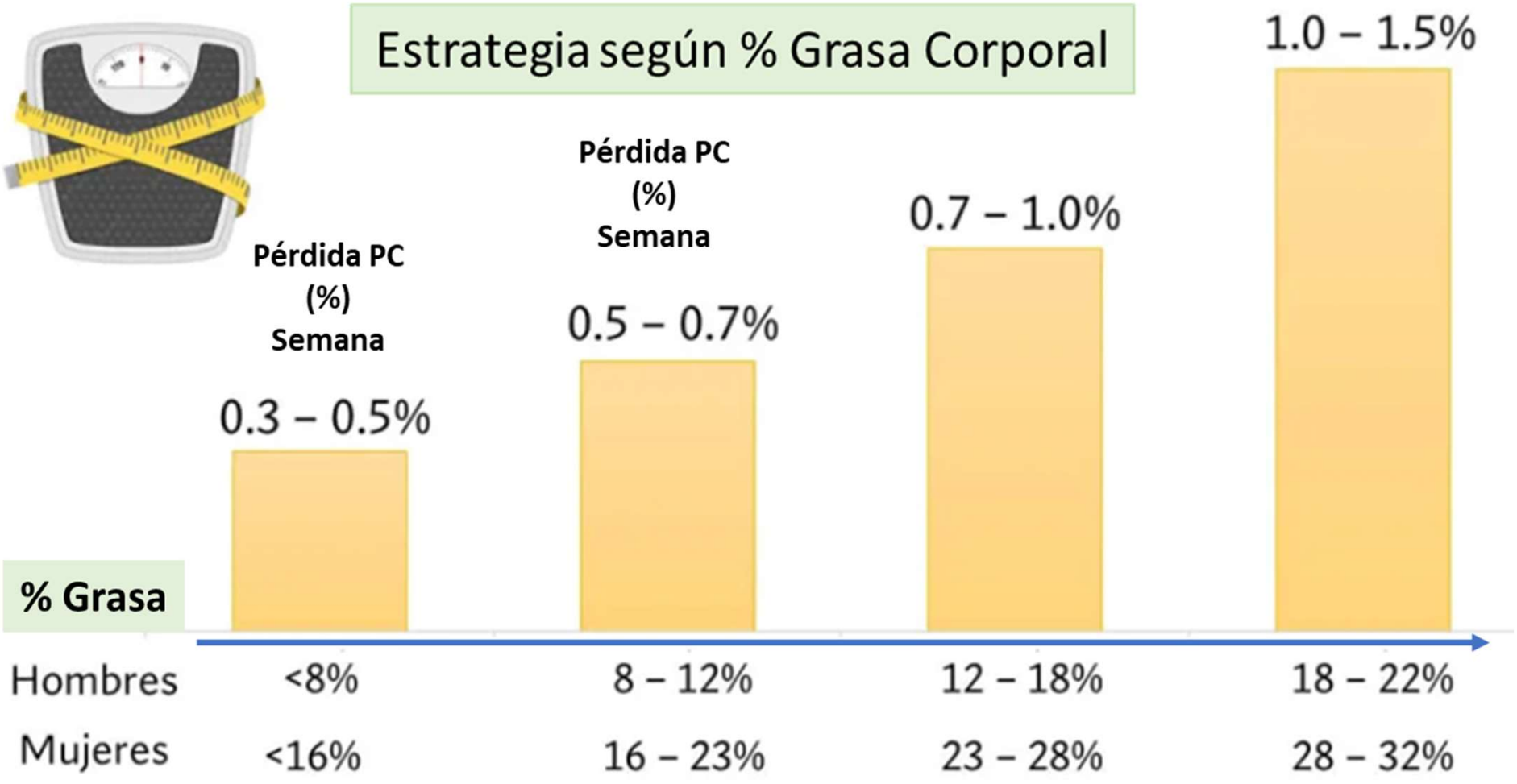
- Realizar un **"Único Acto de Pesaje"**.
- Comenzar los **COMBATES ≤ 1 hora después** de terminar el **ACTO DE PESAJE**.
  - Muchas veces no se cumple
- Incluir una **PRUEBA DE HIDRATACIÓN** para validar el pesaje.

  (Color, Osmolalidad y pH de Orina; Volumen Plasmático; Impedancia)
- **IDEAL:** Establecer un **PESO COMPETITIVO MÍNIMO** para cada deportista **establecido al Comienzo de cada Periodo (Fase) de la Temporada**.
- No permitir competir en una Categoría de Peso que requiera una **pérdida/semanal superior al 0-3% - 1.5% PC/semana** según Sexo, % Graso y P.C.
- **PROHIBIR** y **CASTIGAR SEVERAMENTE** el uso de estrategias de ***P.R.P.C.*** **peligrosas que sean realizados en fechas previas a la competición**.

PÉRDIDA DE PESO CORPORAL SEMANAL

(% PC al Inicio de la Semana)

Fuente: Mario Muñoz López



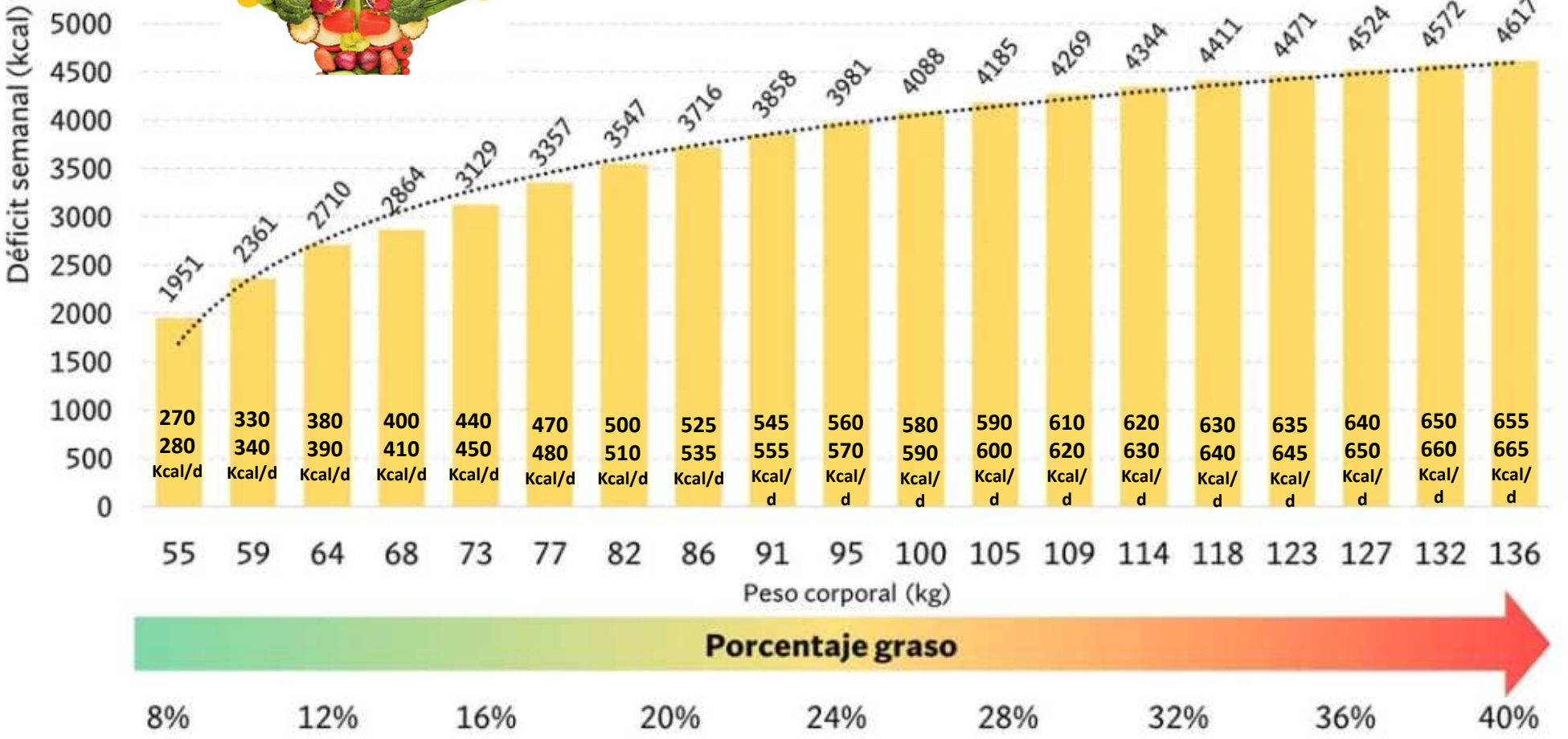
Déficit Calórico Semanal promedio para perder **0.5 kg/semana**

A medida que aumenta el PC y % Graso, el déficit necesario es bastante mayor

Déficit Semanal = 986.51 * Ln (Peso Corporal) + 1691.2

Fuente: Mario Muñoz López







"WEIGHT CUTTING - RAPID WEIGHT LOSS" *VS.* RENDIMIENTO



RECOMENDADIONES PARA EVITAR LA PÉRDIDA DE RENDIMIENTO CON ESTRATEGIAS DE P.R.P.C. (I)

1. **Evitar** utilizar estrategias de ***P.R.P.C.*** durante los **Últimos Días** y, menos aún, en las **Horas Previas** al pesaje previo a una competición.
   - Realizar una **Pérdida Gradual de P.C. (<1 kg/semana**).
2. **Si** se necesita **reducir >5% del P.C. nunca hacer P.R.P.C.**
3. **NUNCA: Sujetos con un % Graso <5% (♂) y <12% (♀) del P.C.**
4. Realizar una **Pérdida de P.C. a partir de:**
   - **Pérdida** de **Grasa Corporal**
     - Con **Mínima Pérdida** de:
       - **Masa Muscular**
       - **Líquidos Corporales (Excepto Culturismo)**





"WEIGHT CUTTING - RAPID WEIGHT LOSS" VS. RENDIMIENTO

RECOMENDACIONES PARA EVITAR LA PÉRDIDA DE RENDIMIENTO CON ESTRATEGIAS DE PRPC (II)



5. **Entrenar la Fuerza y administrar *BCAAs* (especialmente Leucina) para preservar Masa Muscular y Niveles de Fuerza**.

6. **NO utilizar dietas "*Excesivamente Bajas*" en H. de C.** para no perjudicar el **Rendimiento Físico**.

   - **Si se dispone de ≤3 horas de recuperación tras el Acto de Pesaje :**

     "Evitar siempre Deshidratación excesiva e Ingesta muy Restringida de H. de C."

7. **Tras el Pesaje**, es recomendable **Consumir Elevadas Dosis** de:

   H. de C. de Rápida Absorción & Líquidos con Electrolitos

   - Suplementación con **CREATINA** (>0.3-0.4 g/kg) también **puede ser útil** si el atleta dispusiera de un **"*Periodo Relativamente Largo*" de tiempo después del Pesaje**. ¡¡¡ **Ojo nunca antes del Pesaje** !!!



FASE DE DEPLETACIÓN
(DEFINICIÓN)

Las estrategias que se emplean antes de una competición (*Fase de Depletación*, *Fase de Definición Final* o *Semana Pico*) incluyen alterar el tipo de entrenamiento cambiando ejercicios y la magnitud y orientación de las cargas, así como modificar la ingesta de macronutrientes, agua y electrolitos (cantidad, tipo y distribución).

LOS OBJETIVOS DE ESTAS ESTRATEGIAS SON:

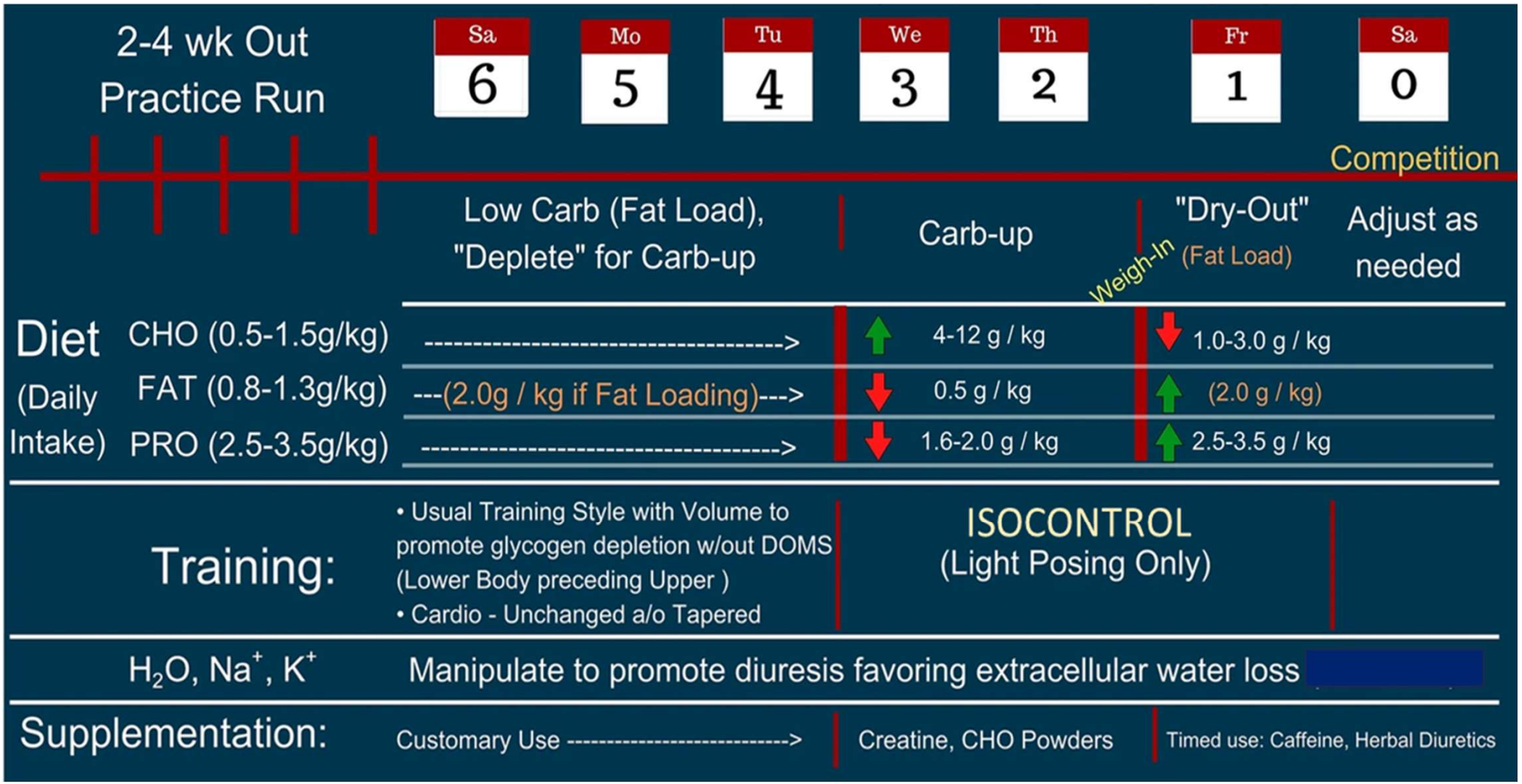
- **Maximizar el contenido de glucógeno muscular final como medio para mejorar la "*plenitud-hinchazón*" muscular (*elevado volumen muscular*).**
- **Minimizar agua subcutánea (lucir un músculo "*seco*" y bien "*definido*").**
- **Minimizar la hinchazón abdominal (*vaciado*) para mantener cintura estrecha, optimizar la proporción corporal, resaltar zonas y mejorar la estética general.**

Peak week recommendations for bodybuilders: an evidence based approach

Escalante G, Stevenson SW, Barakat C, Aragon AA. & Schoenfeld B J.

BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation
13 (1), 68. https://doi.org/10.1186/s13102-021-00296-y. 2021.

Manipulación de Macronutrientes, Hidratación y Electrolitos en la Última Semana



Peak week recommendations for bodybuilders: an evidence based approach

Escalante G, Stevenson SW, Barakat C, Aragon AA. & Schoenfeld B J.

BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation
13 (1), 68. https://doi.org/10.1186/s13102-021-00296-y. 2021.

Manipulación de macronutrientes en la semana Pre-Competición

Variable	Competitor		Sun	Mon	Tues	Wed	Thurs	Fri	Sat	Note
Relative and Absolute **Carbohydrate** (CHO) intake.	**General**	**Body Mass**		0.5-1.5 g/kg		⇑ to 4-12 g/kg		1-3 g/kg	3g/kg (PRN)	**Incluir "trazas" de CHO y/o Fibra para la regularidad intestinal**
	♀ Physique	60kg	40g	40g	40g	600g	400g	120g	180g	
	SHW BB	105kg	75g	75g	50g	1000g	750g	225g	315g	
	Weight Limit			0-1 g/kg#		0-1g/kg#	0-1g/kg#	*4-12g/kg*	4-12	
	♂ Cl Phys	85kg	50g	50g	50g	40g	25g	1000g	600g	
Relative and Absolute Dietary **Fat** (FAT) intake.	**General**			0.8-1.3 g/kg (2.0g.kg if Fat Loading)		⇓ to 0.5 g/kg		0.8-1.3 g/kg^	0.5-1 g/kg	**^Carga opcional de Grasa el Viernes**
	♀ Physique	60kg	60g	60g	60g	30g	30g	50g	40g	
	SHW BB	105kg	90g	90g	90g	53g	53g	70g	60g	
	Weight Limit			0.8-1.3 g/kg		0.8-1.3 g/kg		*0.5 g/kg*	0.5-1 g/kg	* Limit before weigh-in.
	♂ Cl Phys	85kg	85g	85g	85g	85g	85g	43g	43g	
Relative and Absolute Dietary **Protein** (PRO) intake.	**General**			2.5-3.5 g/kg		⇓ to 1.6-2.0 g/kg		2.5-3.5 g/kg	1.6-2.0 g/kg	
	♀ Physique	60kg	160g	160g	160g	120g	120g	160g	120g	
	SHW BB	105kg	300g	300g	300g	175g	175g	250g	175g	
	Weight Limit			2.5-3.5g/kg		2.5-3.5g/kg		*1-2g/kg*	1.6-2.0g/kg	* Limit before weigh-in.
	♂ Cl Phys	85kg	250g	250g	250g	250g	250g	140g	140g	



Mario Muñoz López

(Dietas Keto ⇒ Grasas: 75%; Proteínas: 20%; H de C: 5%)

SEMANA ANTERIOR A LA COMPETICCIÓN (Culturista 85 kg)							
Día	**6 día**	**5 día**	**4 día**	**3 día**	**2 día**	**1 día**	**0 día**
FASE	**FASE DESCARGA DE HIDRATOS DE CARBONO**					**CARGA H. de C.**	
Hidratos (g)	50	50	50	40	25	700	700
Grasas (g)	85	85	85	85	85	40	40
Proteínas (g)	250	250	250	250	250	140	140
Agua (Litros) **Na^+ (g)** **K^+ (g)**	4.2 7.0 5.0	8.5 7.0 5.0	8.5 9.0 5.0	8.5 9.0 5.0	1.3 10.0 5.0	3.4 5.6 7.0	3.4 7.0 7.0
Suplementos	Sin Creatina Sin Cafeína			Sin Creatina Vit C: 1 g/día Sin Cafeína o 420 mg		Creatina 17 g/día Vitamina C: 1 g/día Cafeína: 420 mg	
Entrenamiento	Sesiones Moderadas **¿Baja Carga?** **¿Cardio de Baja Intensidad y Duración Moderada (30'-60'?** Empezar por piernas Avanzando hacia Torso			Opcional: Torso Ligero Poses (Isotensión)		Poses (Isotensión)	Bombeo Congestión

Peak week recommendations for bodybuilders: an evidence based approach

Escalante G, Stevenson SW, Barakat C, Aragon AA. & Schoenfeld B J.

BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation
13 (1), 68. https://doi.org/10.1186/s13102-021-00296-y. 2021.

Suplemento	Uso durante la Última Semana (Sujeto ≈ 80 kg)
Creatina (*Cr*)	• Aumenta volumen de líquido intracelular. • Ayuda en síntesis y supercompensación de Glucógeno muscular. • Si utiliza regularmente *Cr* ⇒ emplear dosis de "*mantenimiento*" (0,03-0,05 g/kg/día). • Si no utiliza regularmente *Cr* ⇒ última semana: 0,3 g/kg/día (25 g/día en fase de carga).
Polvos de Carbohidratos (H. de C. de Rápida Absorción)	• Durante supercompensación de Glucógeno Muscular, suplementos de H. de C. (polvos) pueden reducir riesgo de síntomas gastrointestinales negativos. • Algunos suplementos de H. de C. son útiles por su Osmolalidad & Tasa Vaciado Gástrico. • Reducir fibra minimiza riesgo de hinchazón/retención de líquido. • Puede ser especialmente beneficioso para recuperar P.C. (Tras *P.R.P.C.*) o se tiene poco tiempo para la recarga de carbohidratos.
Diuréticos de Hierbas	**Recuerden**: Agua Total: ≈55-70% PC; AIC: ≈67% - AEC: ≈33% (8% Plasma Sanguíneo) • Se pueden emplear (i.e. Diente de León o Cola de Caballo) para aumentar Micción & Diuresis. • Hierbas ricas en K^+ (Ortigas o Laurel) pueden mejorar la deshidratación (expulsa AEC). • Almacenamiento & Retención de Glucógeno Muscular depende en gran medida de la disponibilidad de K^+ (Clave en fase de carga H. de C. y reducción líquidos). • Condimentos: Orégano, Perejil, Jengibre, Eneldo, Laurel, Cilantro, Pimienta Negra, etc.. • Cafeína: diurético (especialmente no habituados), pero puede provocar alteraciones del sueño.

Peak week recommendations for bodybuilders: an evidence based approach

Escalante G, Stevenson SW, Barakat C, Aragon AA. & Schoenfeld B J.

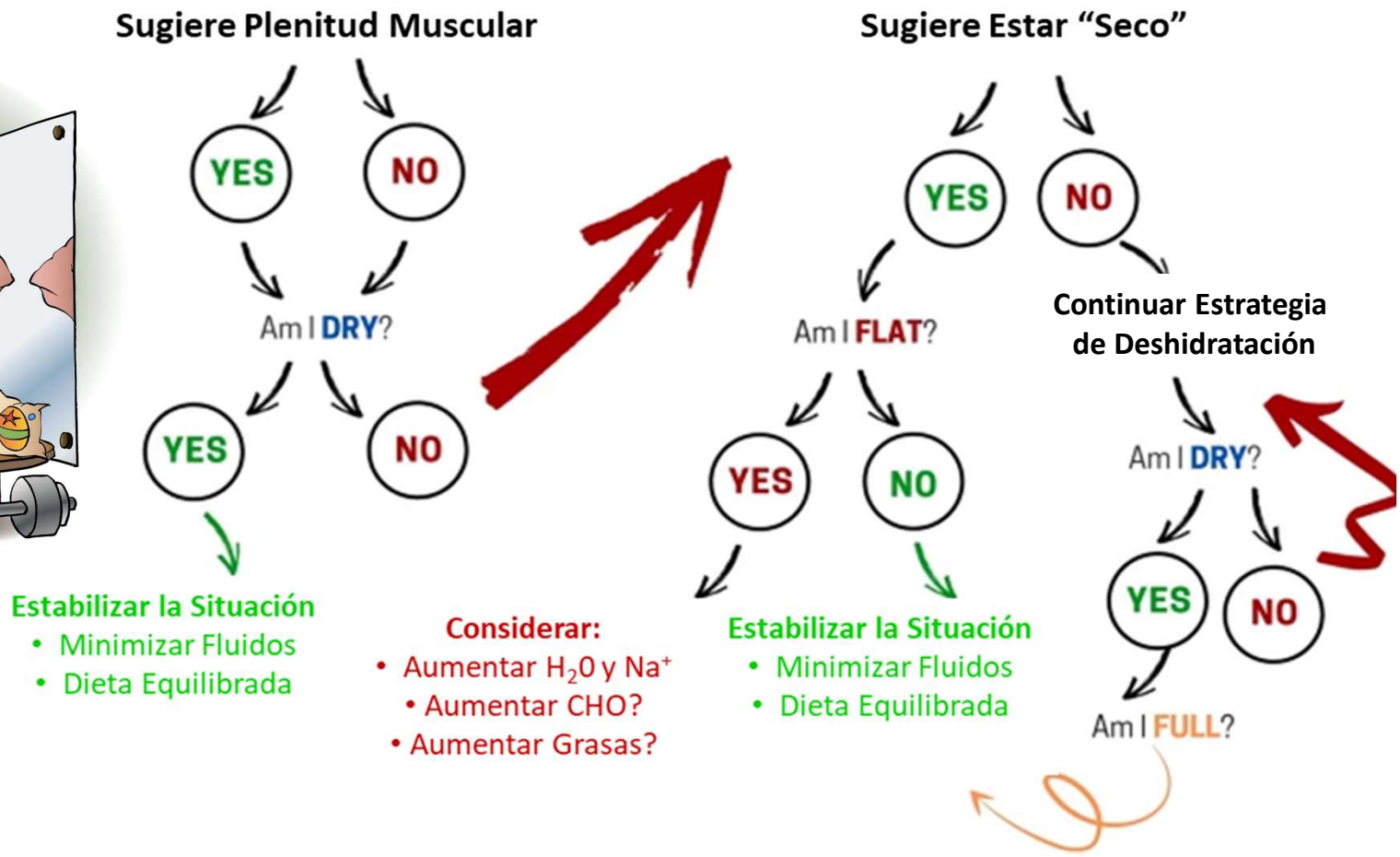
BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation
13 (1), 68. https://doi.org/10.1186/s13102-021-00296-y. 2021.

Árbol de toma de decisiones el "Día de la Competición"

Plenitud Muscular *vs*. Sequedad Muscular

Depósitos de Agua Reducidos y Glucógeno Muscular Altos *vs*. Deshidratación Muscular





-- MÁS ALLÁ DEL PESO CORPORAL --

El Peso Corporal, por sí solo, no determina:
Ni la Forma, Ni el Tamaño del Cuerpo, Ni su vínculo con la Fuerza

También se debe tener en cuenta:



ESTATURA

CONDICIONA EL
PESO CORPORAL

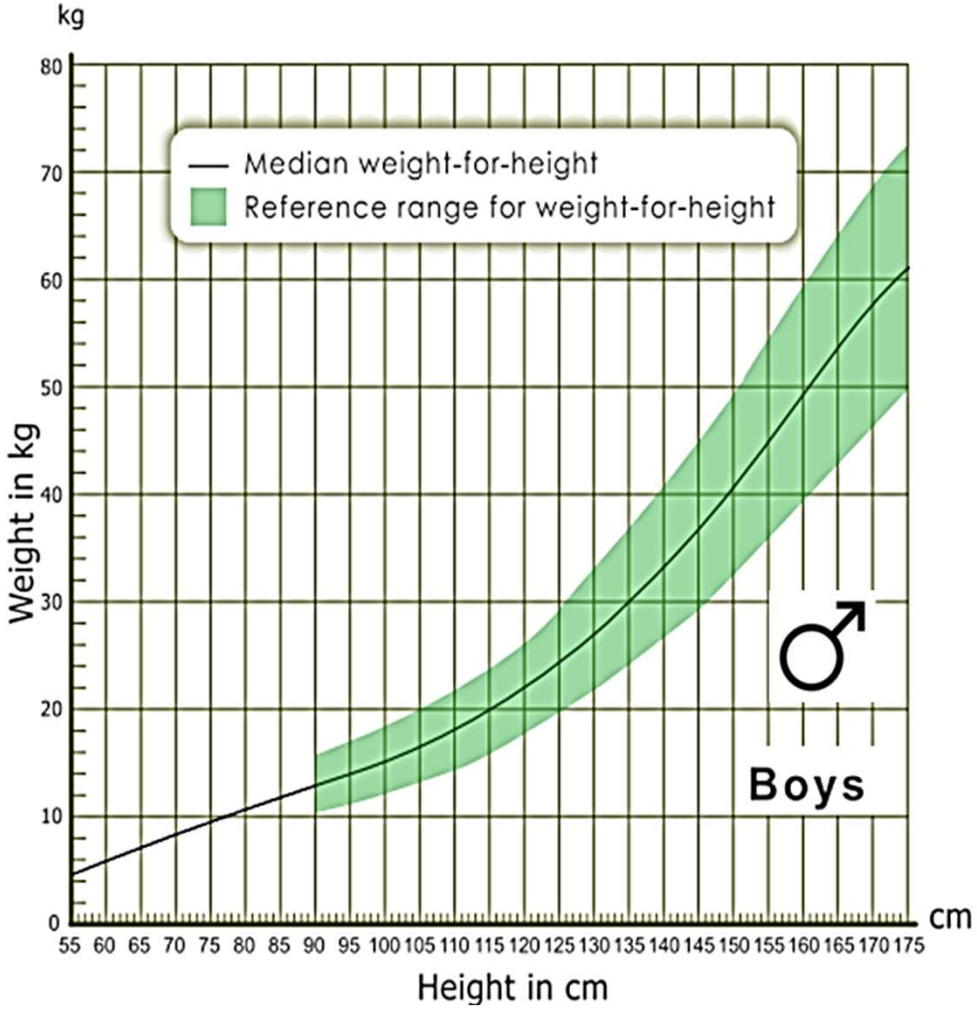


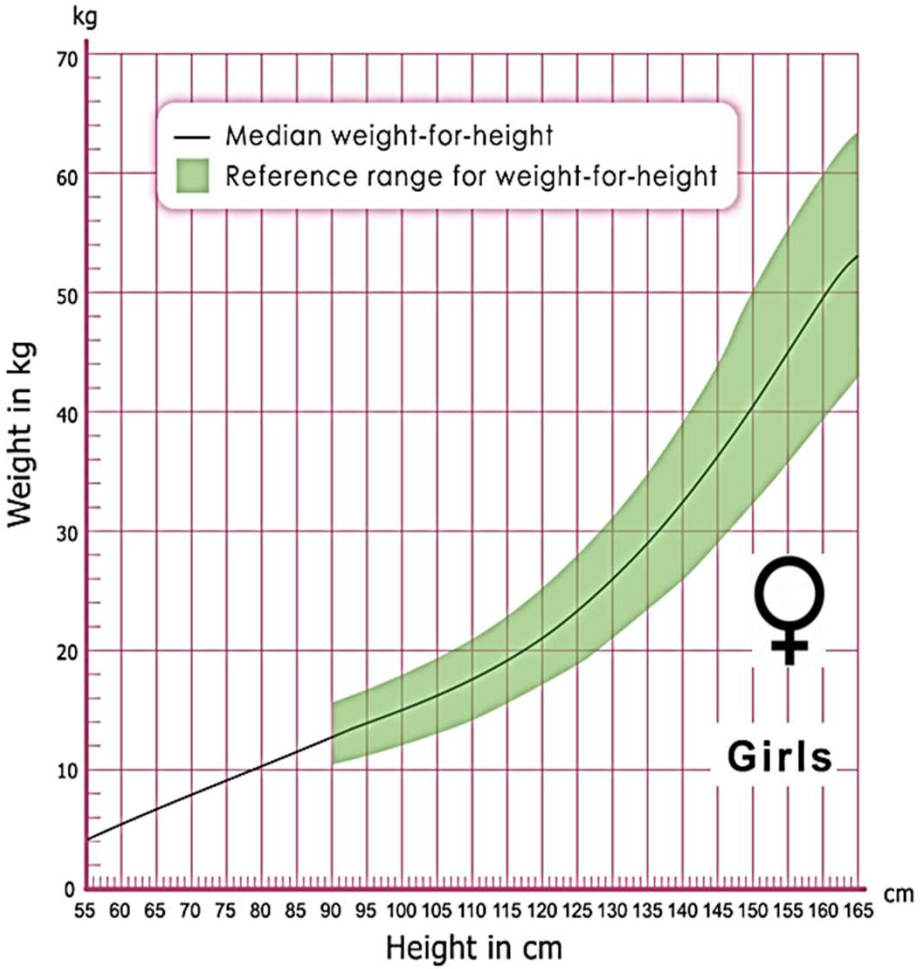
CONDICIONA LA FUERZA MUSCULAR A FAVOR O EN CONTRA

FAVORECE, O LIMITA, ALGUNOS ENTRENAMIENTOS DE FUERZA

FAVORECE O LIMITA EL RENDIMIENTO DE ALGUNOS DEPORTES DE FUERZA

RELACIÓN
ESTATURA / PESO CORPORAL





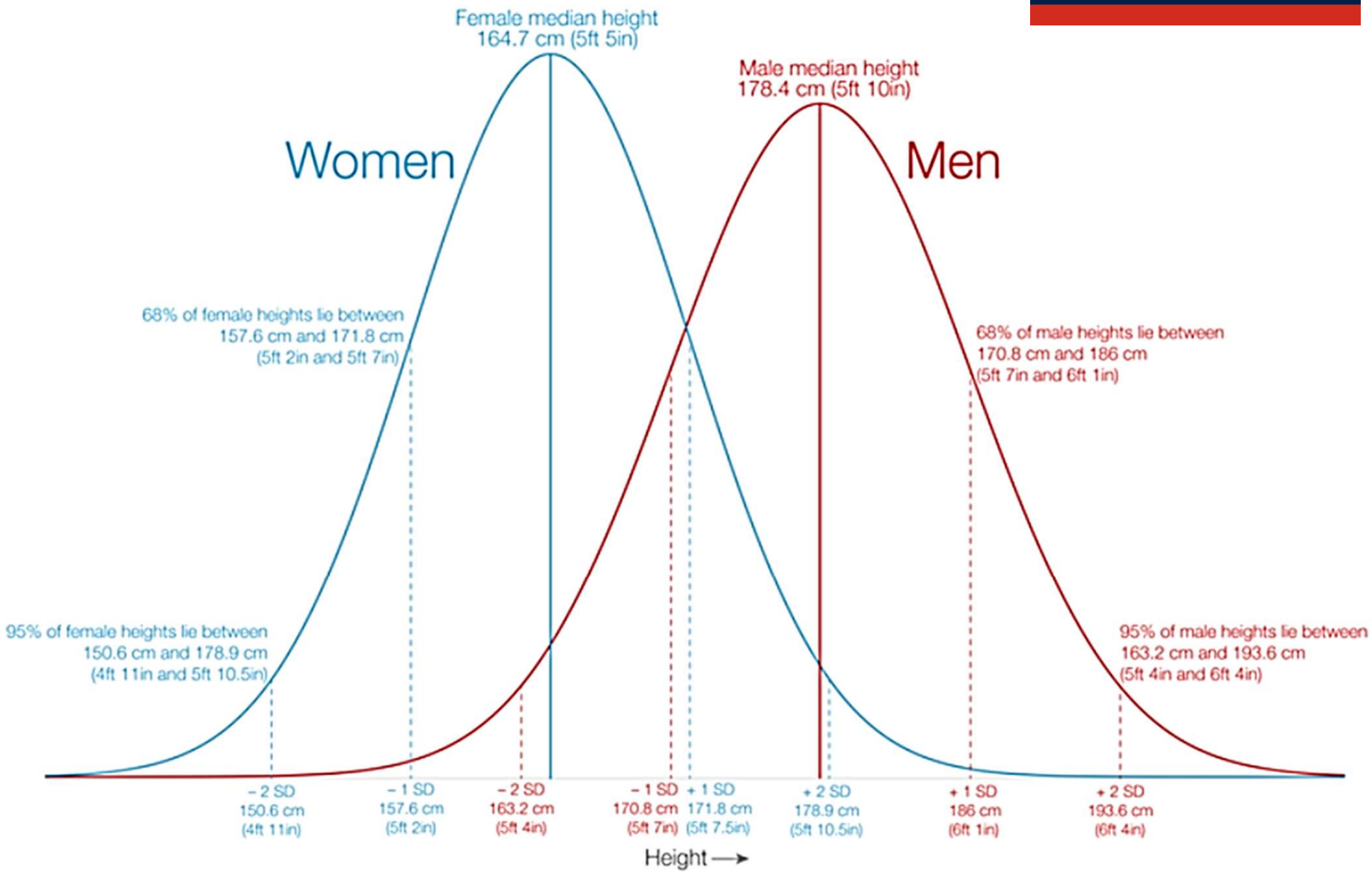
SI LA RELACIÓN NO ES LA CORRECTA SE PRODUCE OBESIDAD O DELGADEZ EXTREMA

HUMAN HEIGHT

Max Roser, Cameron Appel & Hannah Ritchie

Our World in data. 2013

Our World in Data



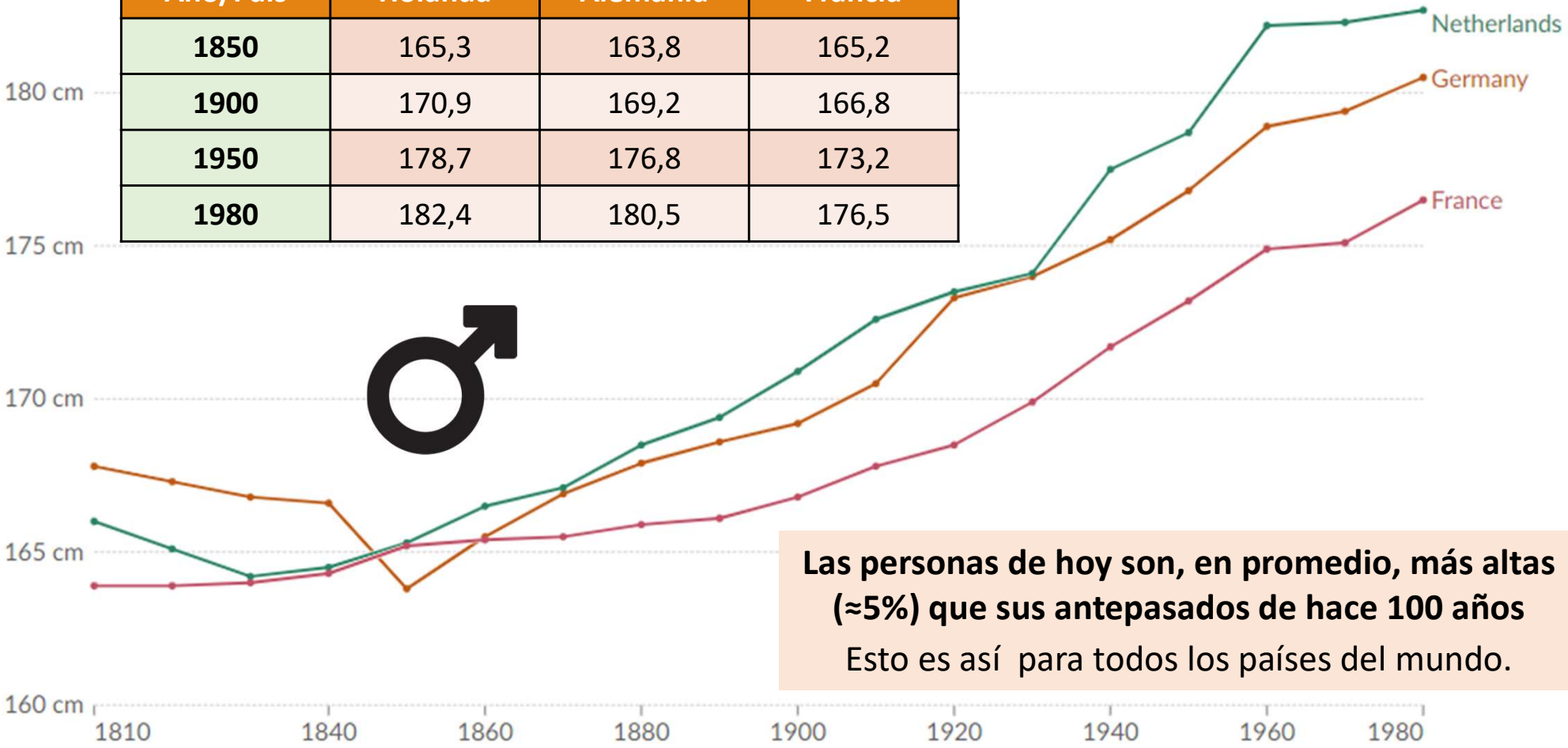
HUMAN HEIGHT

Max Roser, Cameron Appel & Hannah Ritchie

Our world in data. 2013

Our World in Data

Año/País	Holanda	Alemania	Francia
1850	165,3	163,8	165,2
1900	170,9	169,2	166,8
1950	178,7	176,8	173,2
1980	182,4	180,5	176,5



Las personas de hoy son, en promedio, más altas (≈5%) que sus antepasados de hace 100 años

Esto es así para todos los países del mundo.

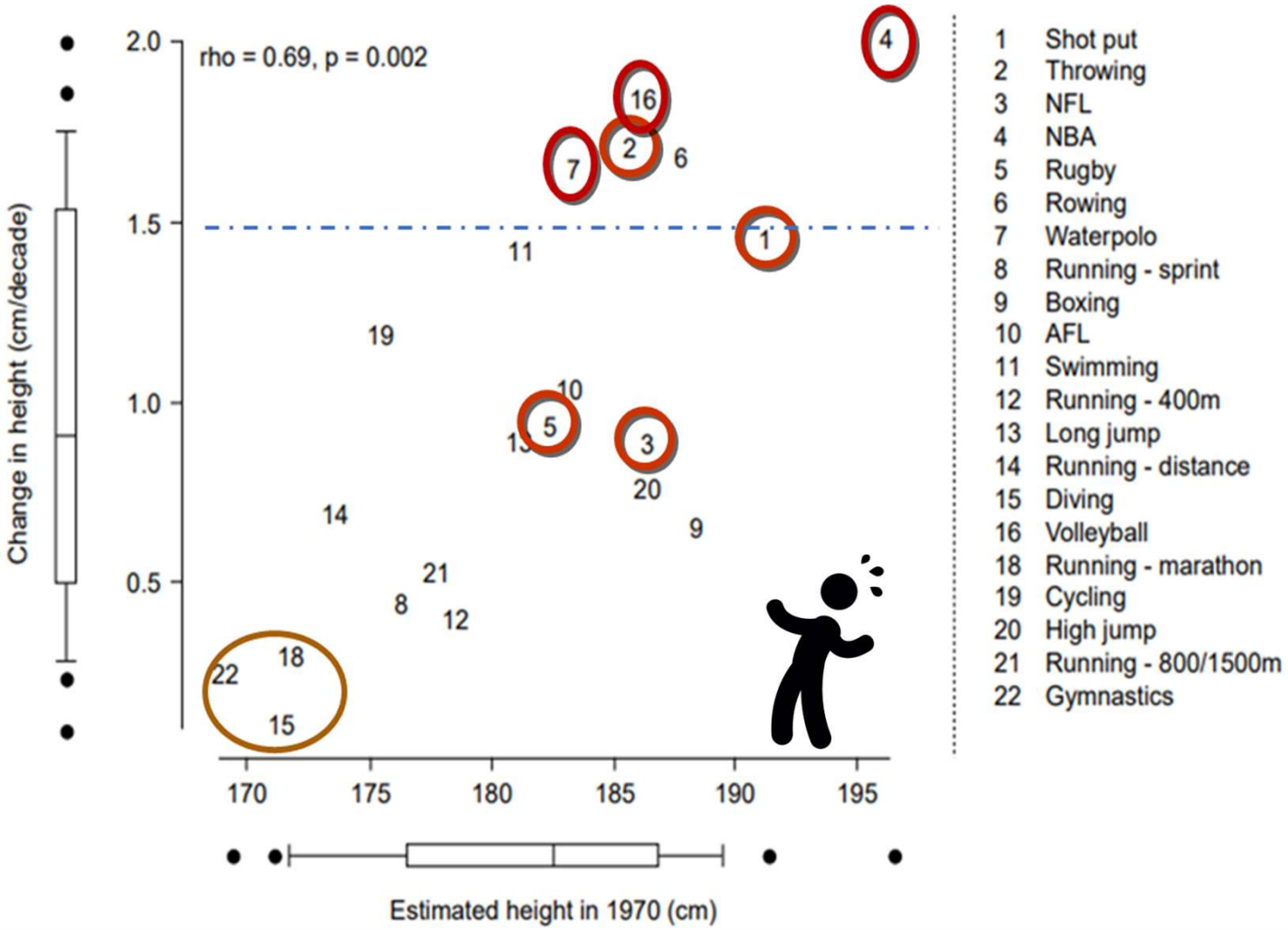
University of South Australia

Morphological Evolution of Athletes Over the 20th Century

Kevin Norton & Tim Olds (University of South Australia)

Sports Medicine 31(11), 763-783. 2001.

Relación entre la Tasa de Cambio de la Estatura (cm/década) y la Estatura Promedio estimada en 1970



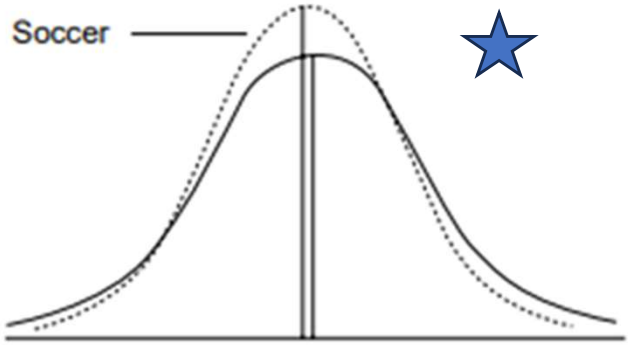
Los deportistas que son más grandes que la media de la población están creciendo a un ritmo más elevado

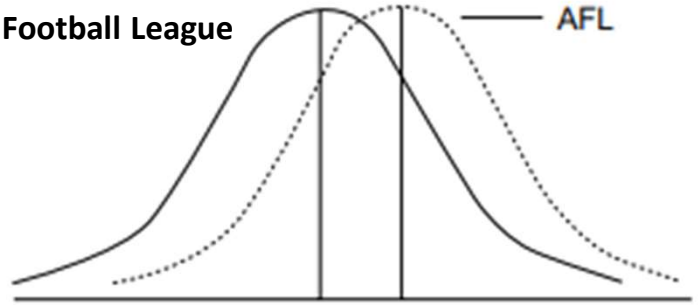
Los deportistas situados cerca de la media de la población han cambiado muy poco

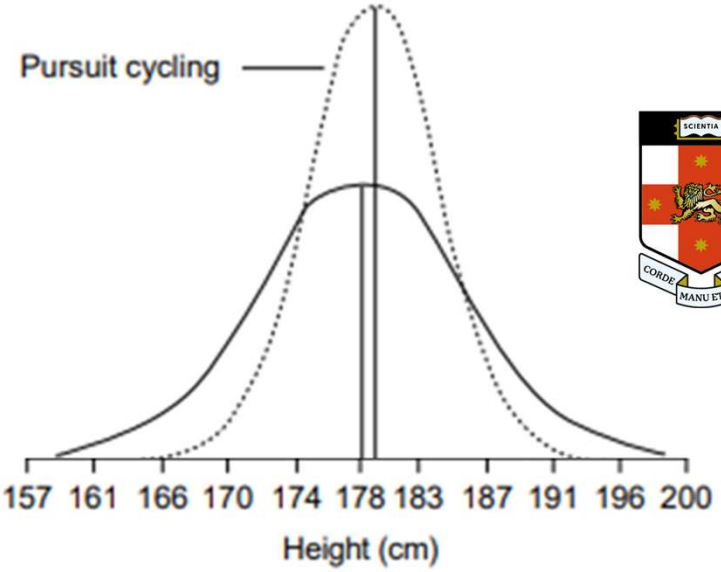
Los pequeños siguen siendo pequeños o se hacen algo más pequeños, mientras que los grandes se hacen más grandes

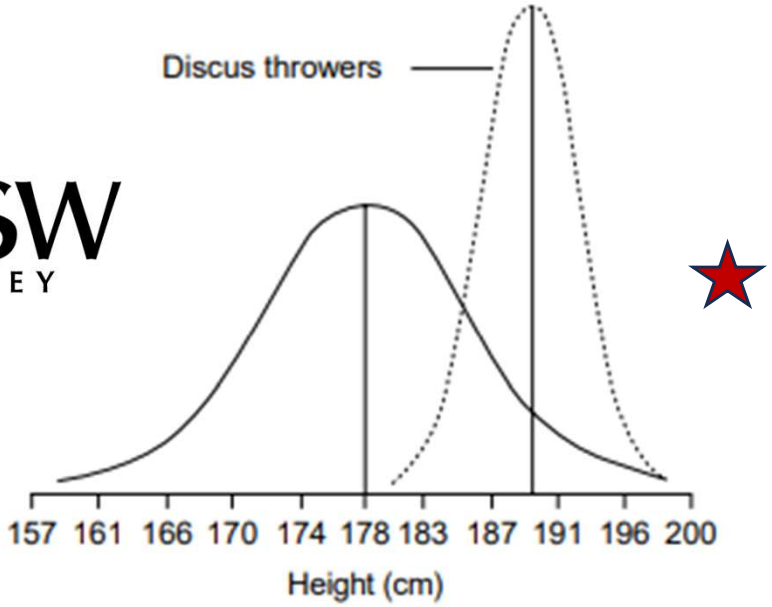
Anthropometry and sports performance
Norton K, Olds T, Olive S, et al.
En Norton K, Olds T, editors. Anthropometrica.
Sydney: University of New South Wales Press, 287-364. 1996.

Distribución de la Estatura de la población *vs*. 4 Modalidades Deportivas











SUPERENTRENAMIENTO

Mel C. Siff & Yuri Verkhoshansky
Editorial Paidotribo. 2004.



RELACIÓN ENTRE LA ALTURA (cm) & MASA CORPORAL (kg)

HALTERÓFILOS DE ALTO NIVEL

PESO CORPORAL (kg)	MAESTRO INTERNACIONAL Pequeño	MAESTRO INTERNACIONAL Medio	MAESTRO INTERNACIONAL Grande	CLASE 1 y 2 Medio
52.0 kg	**142.5 cm**	145.0 cm	147.5 cm	152.5 cm
56.0 kg	**146.5 cm**	149.0 cm	151.5 cm	157.5 cm
60.0 kg	**153.5 cm**	156.0 cm	158.5 cm	162.5 cm
67.5 kg	**157.5 cm**	160.0 cm	162.5 cm	167.5 cm
75.0 kg	**161.5 cm**	164.0 cm	166.5 cm	172.5 cm
82.5 kg	**165.5 cm**	168.0 cm	170.5 cm	177.5 cm
90.0 kg	**169.5 cm**	172.0 cm	174.5 cm	180.0 cm
100.0 kg	**172.1 cm**	174.0 cm	177.1 cm	180.2 cm
110.0 kg	**174.5 cm**	177.0 cm	179.5 cm	180.5 cm

Relationship of limb lengths and body composition to lifting in weightlifting

Vidal D., Martínez-Sanz J. M., Ferriz A., Gómez-Vicente V. & Ausó E.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(2), 756. https://doi.org/10.3390/ijerph18020756. 2021.

Universidad de Alicante

MUESTRA: 19 deportistas

♂: 12; **Edad**: 28,50 ± 6,37 años; **PC**: 84,58 ± 14,11 kg; **Estatura**: 176,18 ± 6,85 cm

♀: 7; **Edad**: 27,71 ± 6,34 años; **PC**: 64,41 ± 7,63 kg; **Estatura**: 166,94 ± 4,11 cm

ESTATURA	Snatch			Clean		Jerk		C&J
	AV	MV	PI	AV	MV	AV	MV	PI
Correlación	0,573	0,264	0,186	0,552	0,098	0,832	0,175	0,049
P-Value	0,051	0,408	0,564	0,063	0,762	0,001	0,586	0,880

AV = Velocidad Media; **MV** = Velocidad Máxima;
PI = Indicador de Desempeño; **C&J** = Clean and Jerk

PI = [carga levantada por el sujeto/carga levantada por primer clasificado en la categoría del mismo sexo y peso corporal del Campeonato Mundial de Halterofilia 2019] × 100)

Relationship of limb lengths and body composition to lifting in weightlifting

Vidal D., Martínez-Sanz J. M., Ferriz A., Gómez-Vicente V. & Ausó E.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(2), 756. https://doi.org/10.3390/ijerph18020756. 2021.





Universidad de Alicante

Muestra: 19 deportistas

12 ♂; **Edad**: 28,50 ± 6,37 años; **PC**: 84,58 ± 14,11 kg; **Estatura**: 176,18 ± 6,85 cm

7 ♀; **Edad**: 27,71 ± 6,34 años; **PC**: 64,41 ± 7,63 kg; **Estatura**: 166,94 ± 4,11 cm

ESTATURA	Snatch			Clean		Jerk		C&J
	AV	MV	PI	AV	MV	AV	MV	PI
Longitud M.I.	0,162 P=0,728	-0,216 P=0,641	0,255 P=0,582	0,414 P=0,355	-0,180 P=0,699	0,118 P=0,801	-0,336 P=0,461	0,180 P=0,699
Fémur	0,505 P=0,247	-0,580 P=0,172	-0,179 P=0,700	0,617 P=0,140	-0,356 P=0,434	0,179 P=0,700	**-0,736** **P=0,059**	-0,037 P=0,460
Pantorrilla	0,198 P=0,670	-0,090 P=0, 848	-0,400 P=0,374	0,306 P=0,504	-0,414 P=0,355	0,373 P=0,410	-0,055 P=0,908	-0,378 P=0,403
Longitud M.S.	0,234 P=0,613	0,252 P=0, 585	0,964 P=0,001	-0,090 P=0,848	-0,234 P=0,613	0,236 P=0,610	0,145 P=0,756	-0,288 P=0,531
Brazo	0,371 P=0,613	0 P=1	0,318 P=0,487	-0,090 P=0,848	-0,445 P=0,317	0,236 P=0,610	0,145 P=0,756	0,185 P=0,691
Antebrazo	0,252 P=0,585	0,144 P=0,758	-0,318 P=0,487	0,036 P=0,939	-0,234 P=0,613	0,564 P=0,188	0,009 P=0,985	-0,252 P=0,585

AV = Velocidad Media; **MV** = Velocidad Máxima; **PI** = Indicador de Desempeño;

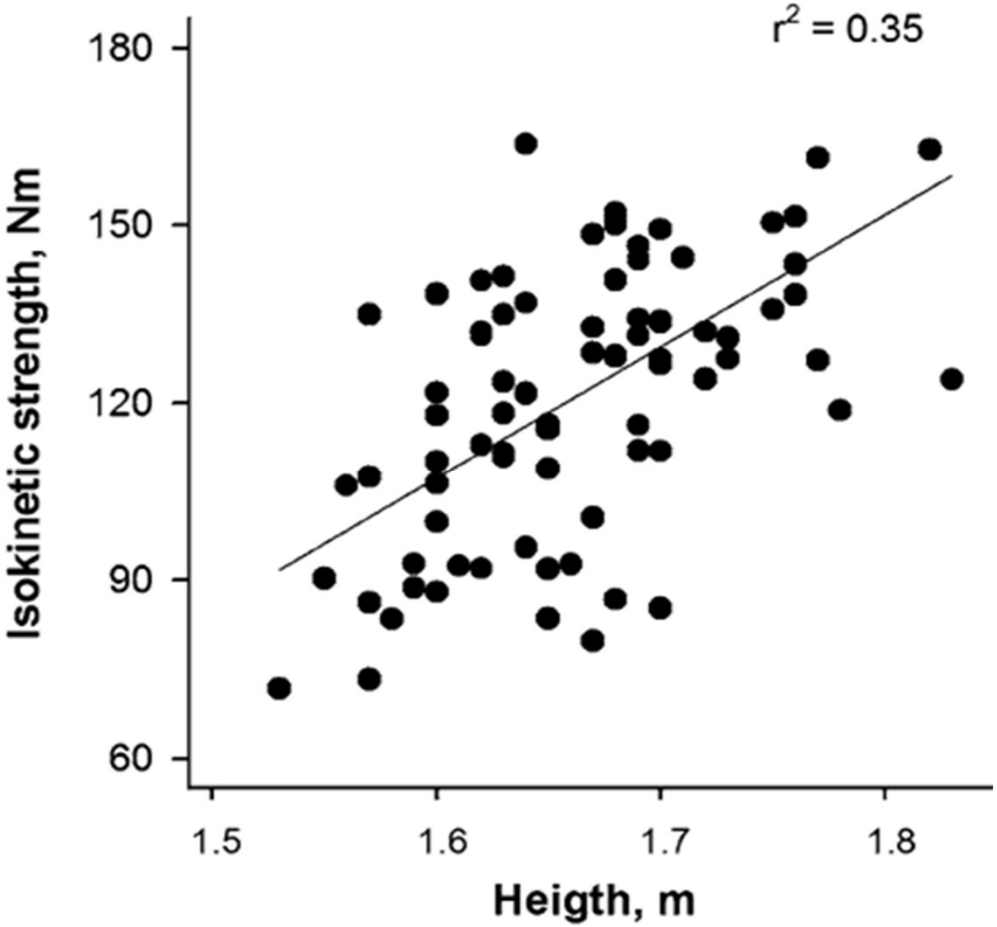
IR = [carga levantada por el sujeto/carga levantada por la primera posición en la categoría del mismo sexo y peso corporal del Campeonato Mundial de Halterofilia 2019] × 100)

Aarhus University Hospital

Maximal isokinetic and isometric muscle strength of major muscle groups related to age, body mass, height, and sex in 178 healthy subjects

Thomas Harbo, John Brincks & Henning Andersen

European Journal of Applied Physiology, 112, 267-275. 2012.



MUESTRA:

85 Mujeres

(Edad: 15-83 años)



Fuerza Muscular Isocinética e Isométrica

Musculatura Extensora de la Articulación de la Rodilla

Dinamómetro (Biodex System 3 PRO)

ESTATURA *vs.* PESO CORPORAL *vs.* FUERZA & ¿RENDIMIENTO?

Correlations of Anthropometric and Body Composition Variables with the Performance of Young Elite Weightlifters

Marefat Siahkouhian & Meysam Hedayatneja

Journal of Human Kinetics, 25, 125-131. 2010.



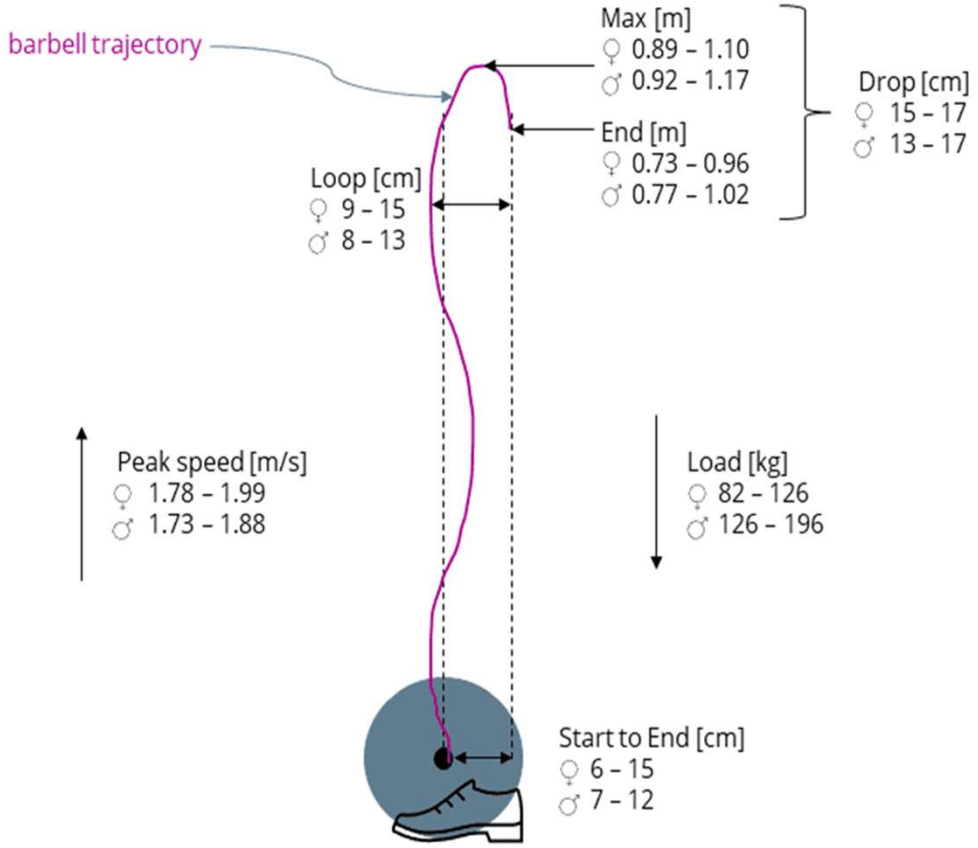
RELACIÓN ESTATURA/FUERZA (HALTEROFILIA)

VARIABLE	SNATCH	CLEAN & JERK	SQUAT FRONTAL	SQUAT
PESO CORPORAL	0,450**	0,459**	0,511***	0,482***
Talla	**0,544 ****	**0,519 ****	**0,501 *****	**0,482 *****
Talla Sentado	**0,562 *****	**0,563 *****	**0,584 *****	**0,506 *****

** p<0,05 - *** p<0,01

CUANDO SER DEMASIADO ALTO SE PUEDE CONVERTIR EN UN PROBLEMA PARA LA FUERZA





Siempre que una persona más alta y otra más baja levanten el mismo peso con la misma aceleración, la más alta necesita mover la barra más lejos que la más baja, teniendo que hacer un mayor trabajo

Por lo tanto, es más difícil para una persona alta levantar tanto peso como una persona más baja

Gender-and height-related limits of muscle strength in world weightlifting champions

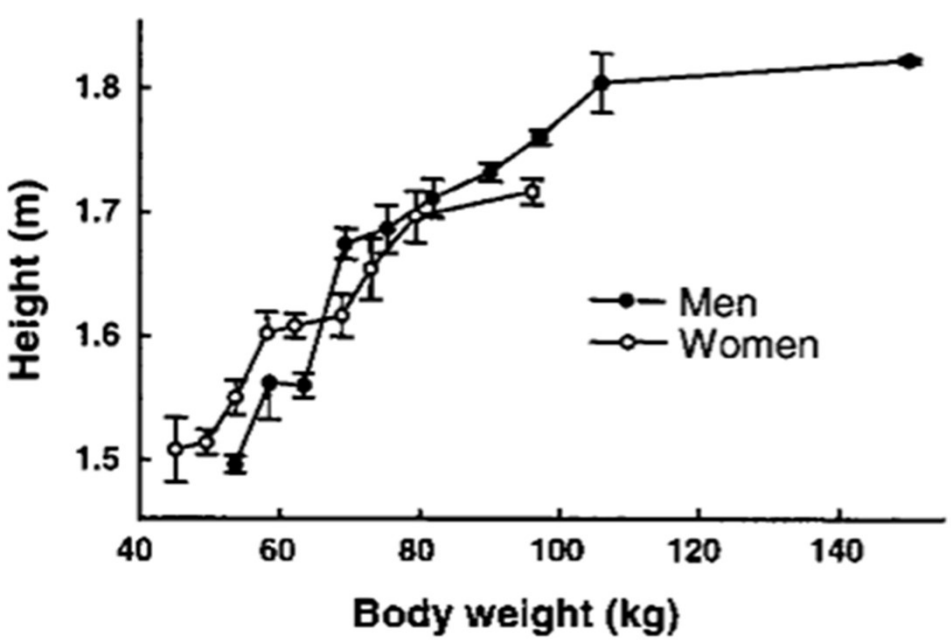
Lincoln E. Ford,Alvin J. Detterline,Kevin K. Ho & Wenyuan Cao

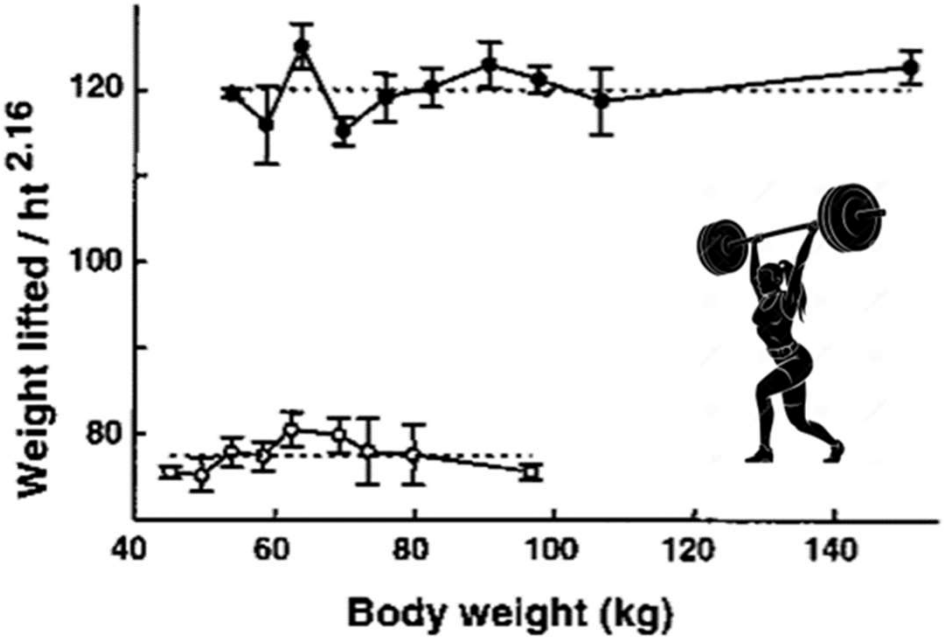
Journal of Applied Physiology, 89(3), 1061-1064. 2000.

INDIANA UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE

Campeones Mundiales de Halterofilia de 1993 a 1997

Sólo un levantador masculino tenía una estatura ≥183 cm y ninguna levantadora medía ≥175 cm





El peso levantado varió casi exactamente con la altura al cuadrado ($Ht^{2.16}$), lo que sugiere que la masa muscular (PC) aumentó casi exactamente con la altura al cubo ($Ht^{3.16}$) y que la CSA estaba estrechamente correlacionada con la estatura, posiblemente porque la altura y el número de fibras musculares por sección transversal están determinadas por un factor común durante la maduración



CUANDO LA ESTATURA SE CONVIERTE EN UN PROBLEMA



PESO CORPORAL	ESTATURA PROMEDIO	ESTATURA Wilks - 500	ESTATURA Wilks – 450
60.0 kg	155 cm	**149 cm**	169 cm
67.0 kg	160 cm	**150 cm**	169 cm
75.0 kg	164 cm	**152 cm**	171 cm
82.5 kg	168 cm	**156 cm**	176 cm
90.0 kg	171 cm	**161 cm**	181 cm
100 kg	174 cm	**170 cm**	191 cm
110 kg	177 cm	**180 cm**	203 cm
125 kg	186 cm	**198 cm**	222 cm

COEFICIENTE ROBERT WILKS 2020

$$\text{Coeff} = \frac{600}{a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5}$$

	Men	*Women*
a	47.46178854	-125.4255398
b	8.472061379	13.71219419
c	0.07369410346	-0.03307250631
d	-0.001395833811	-0.001050400051
e	$7.07665973070743 \times 10^{-6}$	$9.38773881462799 \times 10^{-6}$
f	$-1.20804336482315 \times 10^{-8}$	$-2.3334613884954 \times 10^{-8}$

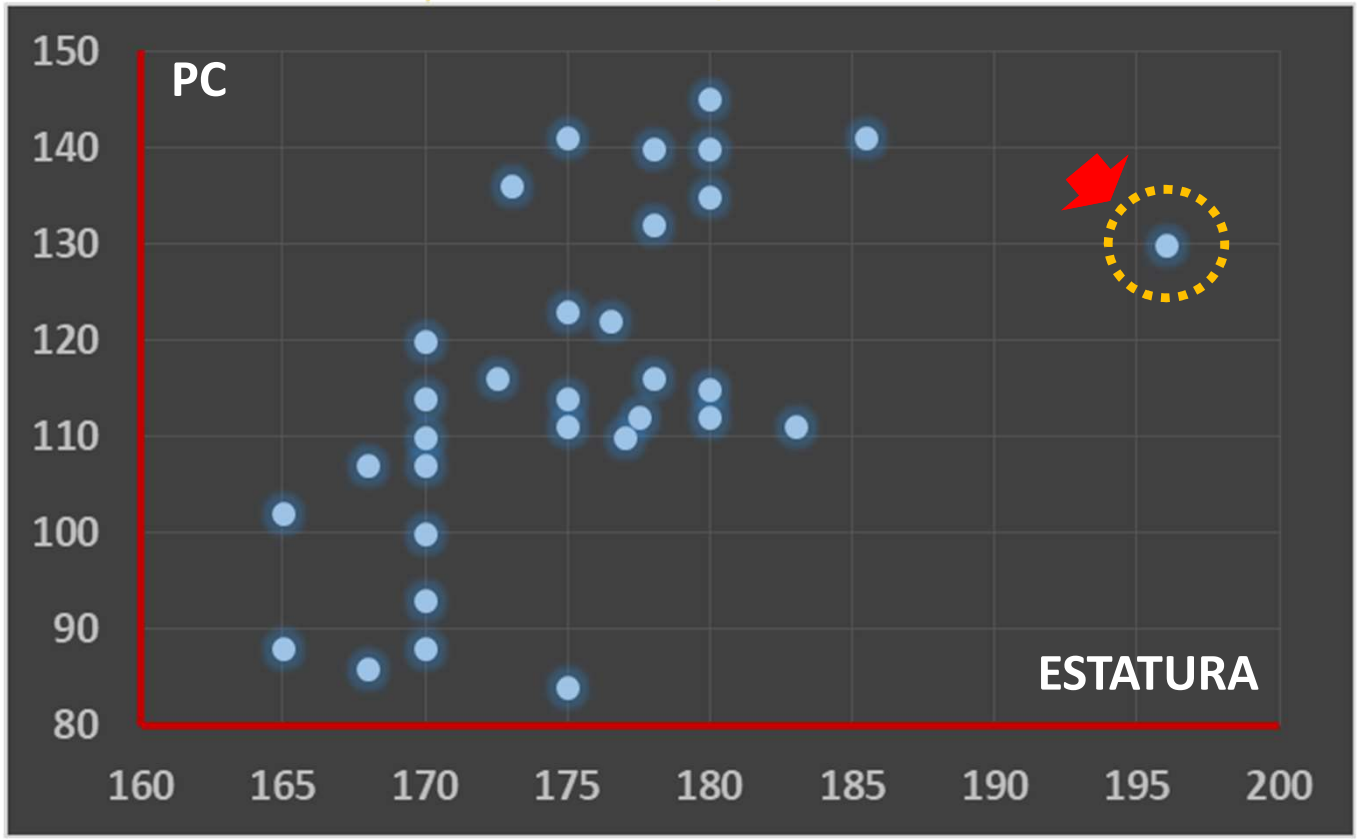
Para alcanzar un 500 Wilks, por lo general necesitas ser relativamente Bajo para tu P.C.

Sin embargo, un 450 Wilks debería ser perfectamente alcanzable para la mayoría de las personas

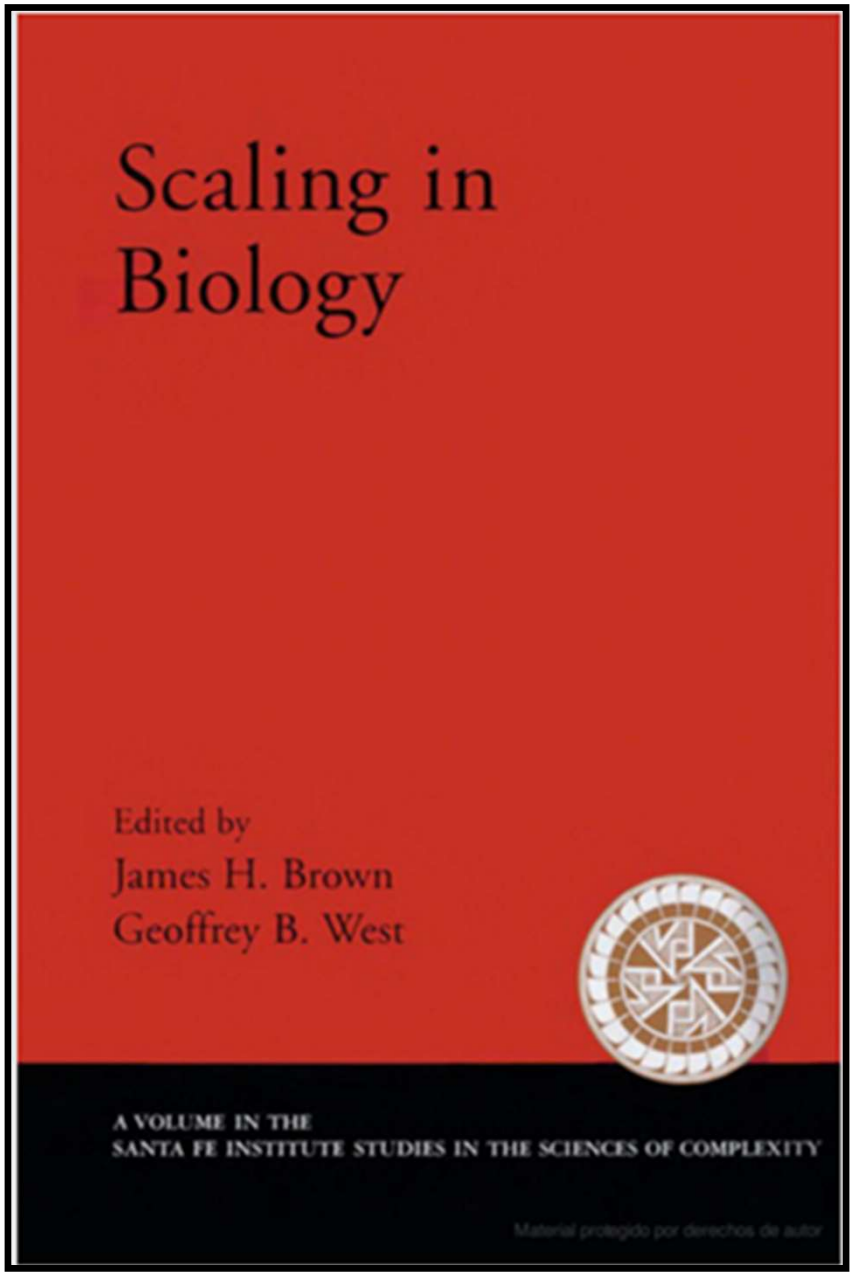
MISTER OLYMPIA & ARNOLD CLASSIC

(1969-2023)





CULTURISTA	ESTATURA	PC
Franco Columbus	165,0	88
Shawn Ray	165,0	102
Chris Dickerson	168,0	86
Dexter Jackson	168,0	107
Branch Warren	170,0	114
Brandon Curry	170,0	120
Larry Scott	170,0	93
Mike Francois	170,0	110
Samir Bannout	170,0	88
William Bonac	170,0	107
Hadi Choopan	170,0	100
Rich Gaspari	172,5	116
Kai Greene	173,0	136
Frank Zane	175,0	84
Phil Heath	175,0	114
Victor Martinez	175,0	123
Vince Taylor	175,0	111
Nickname Rahy	175,0	141
Flex Wheeler	176,5	122
Dorian Yates	177,0	110
Shawn Rhoden	177,5	112
Jay Cutler	178,0	132
Mamdouh Elssbiay	178,0	140
Sergio Oliva	178,0	116
Kevin Levrone	180,0	115
Lee Haney	180,0	112
Nasser El Sonbaty	180,0	135
Paul Dillet	180,0	140
Samson Duda	180,0	150
Ronnie Coleman	180,0	145
Sanson Dauda	180,3	124
Arnold Schwarzegger	183,0	111
Cedric McMillan	185,5	141
Lou Ferrino	196,0	130



LÍMITES BIOLÓGICOS DEL TAMAÑO DE UN SER VIVO

NO ES POSIBLE TENER UNA CÉLULA TAN GRANDE COMO UNA HORMIGA, NI UNA HORMIGA TAN GRANDE COMO UNA PERSONA



TAMAÑO DEL CUERPO

¿ISOMETRÍA *vs*. ALOMETRÍA?

El crecimiento proporcionado y correlativo de un objeto (*zoom*)

"NUNCA OCURRE EN LA NATURALEZA"

Este cambio de tamaño se denomina:



ISOMETRÍA

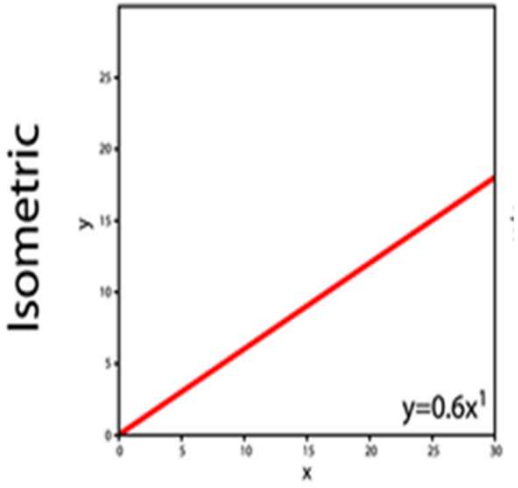
(SEMEJANZA GEOMÉTRICA)

La **FORMA** permanece constante y cambia el **TAMAÑO** y las relaciones entre longitud, superficie, volumen y masa

(PRINCIPIO DE SIMILITUD GEOMÉTRICA)



"FUNCIONALMENTE DESEQUILIBRADO"

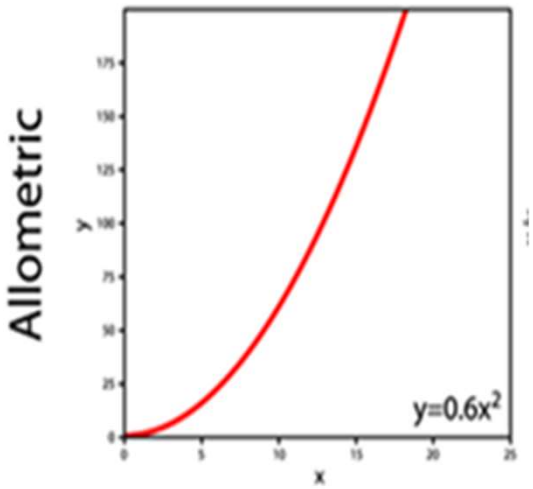


ALOMETRÍA

Estudio del crecimiento relativo de un órgano respecto al del individuo en su totalidad

PERMITE MANTENER UN DISEÑO

"FUNCIONALMENTE EQUILIBRADO"

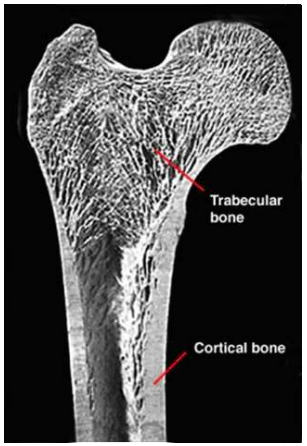


¿QUÉ OCURRIRÍA CON EL CUERPO HUMANO SI SUFRE UN CAMBIO DESPROPORCIONADO, Y SIN CRITERIOS ALOMÉTRICOS, EN SU GEOMETRÍA Y PROPORCIONES?

¡¡ QUE COLAPSARÍA SU ESTRUCTURA !!









RELACIÓN ENTRE TAMAÑO, PESO CORPORAL & ESQUELETO

Huesos: principalmente **Fibras de Colágeno** endurecidas con **Cristales de Fosfato de Calcio (*Hidroxiapatita*)** que les dota de elevada resistencia

Corren el riesgo de colapsar si la presión que soportan los Huesos es muy elevada y si su Arquitectura (Forma), Composición y Calidad Estructural no es la adecuada

Área Cortical (*CSA vs*. Resistencia Axial) & Densidad Trabecular (Hueso Esponjoso) $\Rightarrow$

DEBEN ESCALAR ALOMETRICAMENTE CON LA MASA CORPORAL (P.C.)



¿PODRÍA HABER EXISTIDO KING KONG?

Multiplique las dimensiones de un Gorila por 10 ⇒

Peso Corporal se multiplicará por 1000

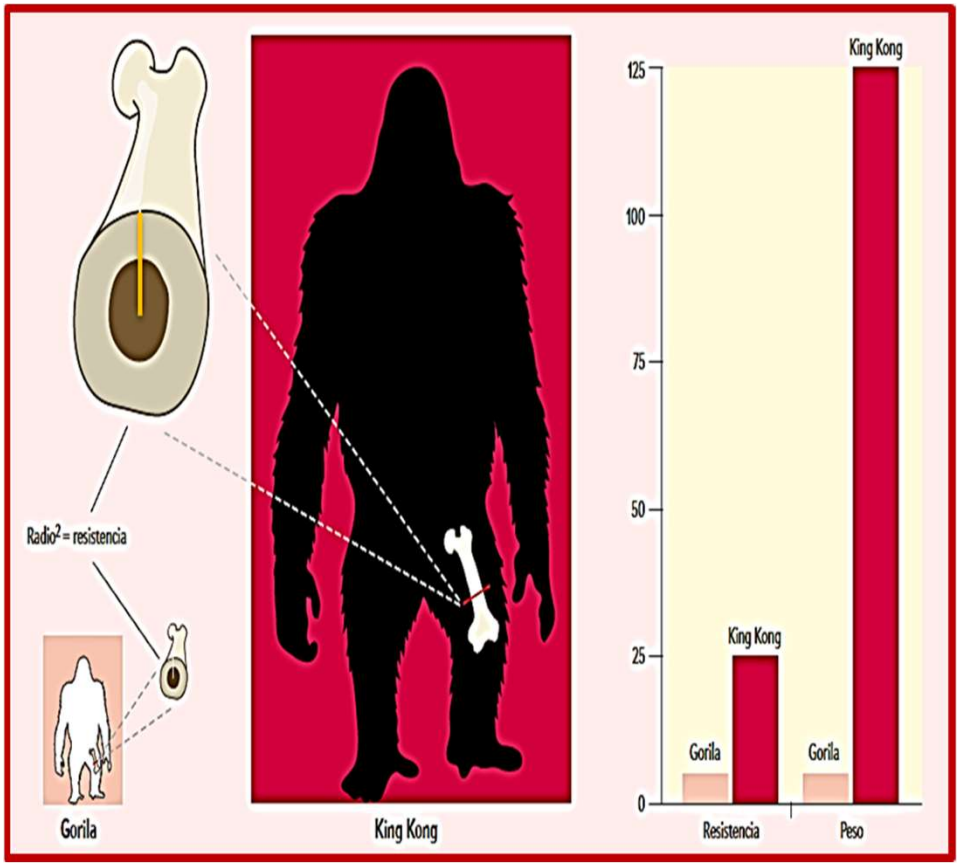
***CSA* del Hueso se multiplicará por 100**



GORILA

Estatura: 1.65 a 1.75 m

P.C.: 140 y 200 kg



KING KONG

El cine multiplicó sus dimensiones por 10

¡¡ JAMÁS HUBIERA EXISTIDO !!

Si lo multiplicáramos por 10

ESTATURA: 16-18 metros &

P.C.: 140-200 Toneladas

RESISTENCIA DEL HUESO A FUERZAS DE COMPRESIÓN

Depende de:

SECCIÓN TRANSVERSAL DEL HUESO (*BCSA*)

Colapso por Compresión ocurre con un estrés de entre **200-250 MPa** (*Megapascales*)

1 MPa = 1 N/mm²

RESISTENCIA HUESO = 2*108 N/m²

ALOMETRÍA VS. FUERZA MUSCULAR

Es recomendable el uso de **FÓRMULAS ALOMÉTRICAS** para obtener un:

ÍNDICE DE FUERZA MUSCULAR RELATIVA
(FUERZA RELATIVA)

Que con independencia del Tamaño Corporal (evaluado por el P.C.)
Normalice el Resultado
Estas relaciones responden a
Leyes de Potencia (***PLs***) o **Leyes de Escala**

$$F = a * PC^{b} \quad \Longleftrightarrow \quad \log F = \log a + (b * \log PC)$$

Donde ***F*** = Fuerza;

a = nivel entrenamiento o CF;

b = Exponente Alométrico

Modelo de regresión donde valores de

log a y ***b***

Son intersección y pendiente, respectivamente

El valor del Índice (Exponente) Alométrico (*b*) habitualmente utilizado es:

0,67 para la Fuerza Muscular (*F*) (i.e. Fuerza Dinamométrica)

1.0 para el Torque Muscular (*T*) (i.e. Aparato Isocinético)

Allometric scaling of strength measurements to body size

Jonathan P. Folland, Tracey McCauley & Alun G. Williams

European Journal of Applied Physiology, 102(6), 739-745. 2008.

Loughborough University

RELACIÓN

Fuerza *vs*. P.C.

EXPONENTE ALOMÉTRICO

ÍNDICE DE FUERZA MUSCULAR RELATIVO

(FUERZA RELATIVA)



- **Poblaciones relativamente homogéneas con Grasa Corporal 15-20%:**
  - Exponentes Alométricos de: **0.66 (Fuerza)** y **1.00 (Torque)**
- **Poblaciones relativamente homogéneas con mayor Grasa Corporal >20%:**
  - Exponentes Alométricos menores (**Fuerza: < 0.45**; **Torque: < 0.68**);
- **Poblaciones relativamente homogéneas con mayor Grasa Corporal <15%:**
  - Exponentes Alométricos más altos (**Fuerza: > 0.76**; **Torque: > 1.12**).

Masa Libre de Grasa es el Parámetro Alométrico recomendado para escalar la Fuerza Muscular al Tamaño Corporal



Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization

Slobodan Jaric, Dragan Mirkov & Goran Markovic

Journal Strength and Conditioning Research, 19(2), 467-474. 2005.



¿FUERZA = *K* * $PC^{2/3}$?

Donde *K* es una variable dependiente de:
su Nivel de Entrenamiento y su Capacidad Funcional

Exponente Alométrico depende del Tamaño, pero también, del Gesto evaluado

Exponente Alométrico	Ejemplo de Tests
b = 1	**Fuerza de Grupo Muscular registrado con un dispositivo Isocinético**
b = 2/3 **(0,67)**	**Fuerza de un grupo muscular registrado con un Dinamómetro** **Pendiente máxima de la Curva Fuerza-Tiempo o RFD** **Levantamiento de Pesas y manejo manual de materiales** **Pruebas de Wingate y Potencia medida por un dispositivo Isocinético**
b = 0	**Sprint, Salto, Lanzamiento, Chut, Golpeo, etc.** **Tiempo para alcanzar el 30% de la FIM** **Tiempo para aumentar la fuerza/torque entre el 20 y el 80% de la FIM**
b = - 1/3 **(-0,33)**	**Mantener posturas difíciles, dominadas, flexiones, levantamientos a una pierna, etc.**

Male powerlifting performance described from the viewpoint of complex systems

García-Manso JM, Martín-González JM, Da Silva-Grigoletto ME, Vaamonde D, Benito P. & Calderón J.

Journal of Theoretical Biology, 251(3), 498-508. 2008.

STANASCEK (50 Kg.)



ULPGC

SIDERS (152.70 Kg.)



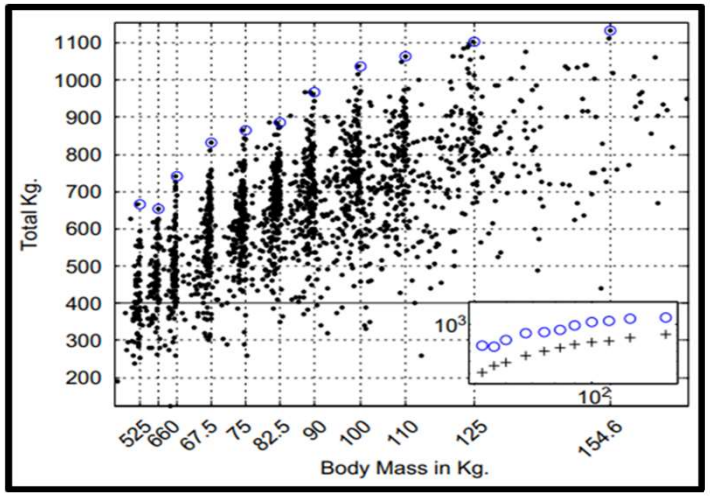
Movimiento / Parámetros	Squat (SQ)		Bench Press (BP)		Deadlift (DL)		Total (T)	
	b	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*
Ligeros	1.55	0.33	1.68	0.12	0.87	5.50	1.24	3.17
Medios	0.69	11.38	0.89	3.20	0.64	15.06	0.73	21.21
Pesados	0.47	31.16	0.47	20.83	0.19	112.80	0.37	130.52

Male powerlifting performance described from the viewpoint of complex systems

García-Manso JM, Martín-González JM, Da Silva-Grigoletto ME, Vaamonde D, Benito P. & Calderón J.

Journal of Theoretical Biology, 251(3), 498-508. 2008.

ULPGC

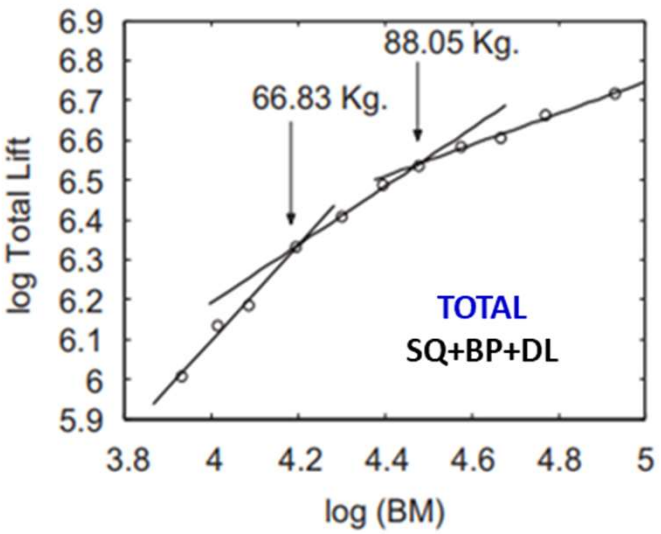


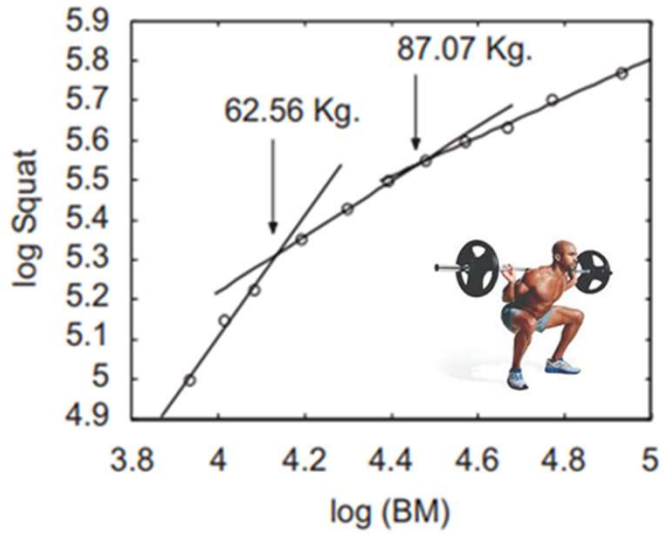
Muestra: 1812 levantadores

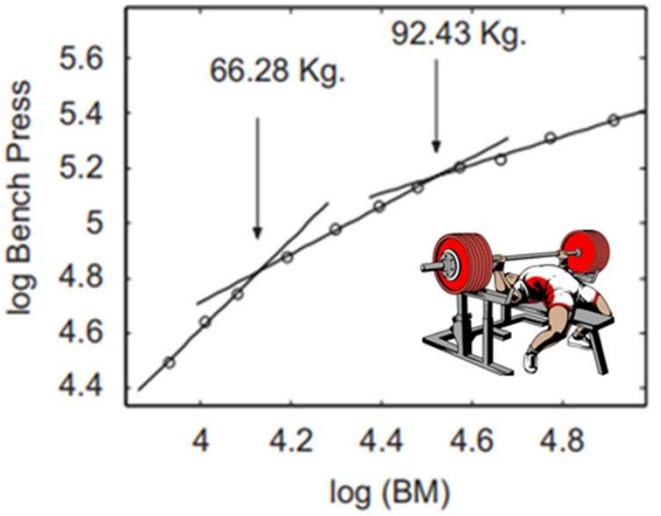
Campeonatos del Mundo

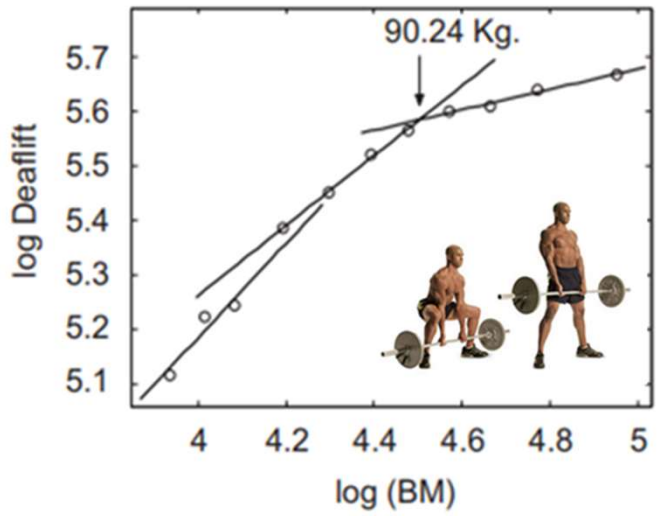
IPF

Test Chow	Ligeros vs. Medios		Medios vs. Pesados	
	F-Value	*P*	F-Value	*P*
Total	14.37	0.03	63.08	0.00
SQ	34.17	0.01	21.88	0.01
BP	96.83	0.01	44.55	0.01
DL	6.17	**0.09**	187.16	0.00









MUESTRA: 1812 Powerlifters



Relación Intensidad Volumen por Deportista (Arrancada)

MAESTRO DEPORTIVO NIVEL INTERNACIONAL					
Periodo Preparatorio					
Peso Corporal	**< 70 %**	**71 – 80 %**	**81 – 90 %**	**> 91 %**	**Intensidad Media**
56-59 Kg	**49 %**	**27 %**	**16 %**	**8 %**	**65.0 %**
77-85 Kg	**55 %**	**26 %**	**13 %**	**6 %**	**62.5 %**
94-105 Kg	**61 %**	**23 %**	**11 %**	**5 %**	**61.5 %**
> 105 Kg	**69 %**	**22 %**	**6 %**	**3 %**	**58.0 %**

Periodo Competitivo					
Peso Corporal	**< 70 %**	**71 – 80 %**	**81 – 90 %**	**> 91 %**	**Intensidad Media**
56-59 Kg	**27 %**	**44 %**	**18 %**	**11 %**	**66.5 %**
77-85 Kg	**26 %**	**51 %**	**14 %**	**9 %**	**65.0 %**
94-105 Kg	**25 %**	**54 %**	**13 %**	**8 %**	**63.5 %**
> 105 Kg	**25 %**	**62 %**	**8 %**	**5 %**	**61.0 %**



Relación Intensidad Volumen por Deportista (Arrancada)

I CLASE Y CANDIDATO A MAESTRO DEPORTIVO					
Periodo Preparatorio					
Peso Corporal	**< 70 %**	**71 – 80 %**	**81 – 90 %**	**> 91 %**	**Intensidad Media**
56-59 Kg	**45 %**	**31 %**	**17 %**	**7 %**	**64.0 %**
77-85 Kg	**50 %**	**30 %**	**14 %**	**6 %**	**61.5 %**
94-105 Kg	**55 %**	**28 %**	**12 %**	**5 %**	**60.5 %**
> 105 Kg	**64 %**	**27 %**	**6 %**	**3 %**	**57.0 %**

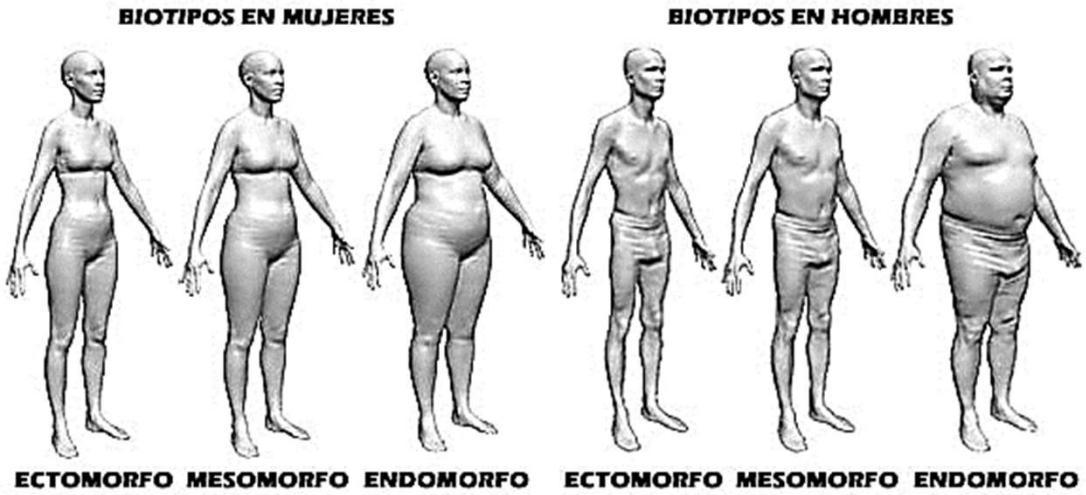
Periodo Competitivo					
Peso Corporal	**< 70 %**	**71 – 80 %**	**81 – 90 %**	**> 91 %**	**Intensidad Media**
56-59 Kg	**32 %**	**35 %**	**20 %**	**13 %**	**67.0 %**
77-85 Kg	**30 %**	**42 %**	**17 %**	**11 %**	**65.5 %**
94-105 Kg	**28 %**	**48 %**	**14 %**	**10 %**	**64.0 %**
> 105 Kg	**29 %**	**58 %**	**9 %**	**4 %**	**61.5 %**

BIOTIPO (SOMATOTIPO)

Categorías en las que clasificamos los Cuerpos según su Forma

(Conjunto de **Fenotipos** que corresponden al mismo **Genotipo**)

Hace referencia a la forma o apariencia corporal de una persona

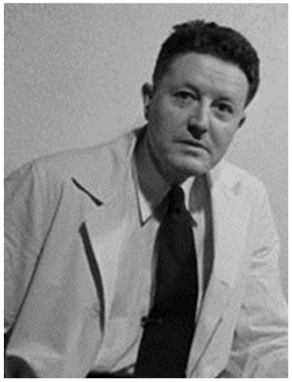


William Herbert Sheldon (1898 - 1977)

Influenciado por Ernst Kretschmer (1888-1964), en la década de 1940, desarrolló una teoría que asociaba los tipos de cuerpo con el temperamento humano

Propuso 3 somatotipos, en base a las 3 tres capas embrionarias:

- **ENDODERMO: se desarrolla**
- **, corazón y vasos sanguíneos;**
- **ECTODERMO: forma la piel y el sistema nervioso**

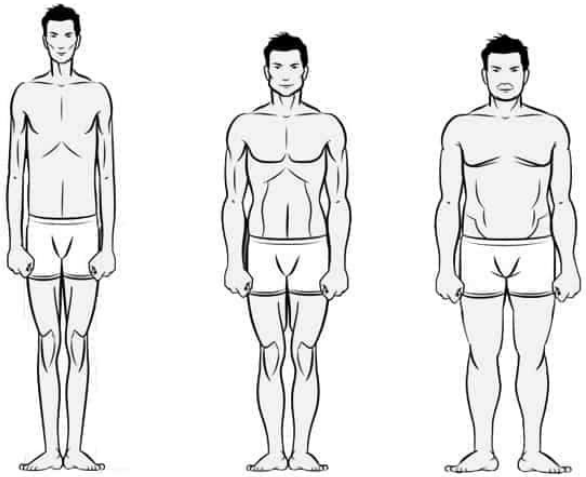


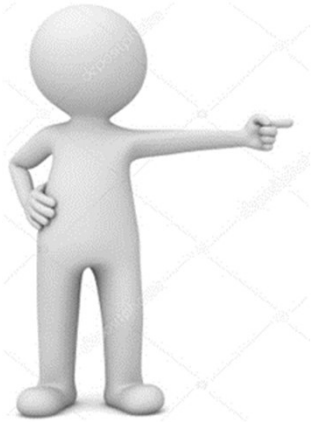
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL SOMATOTIPO

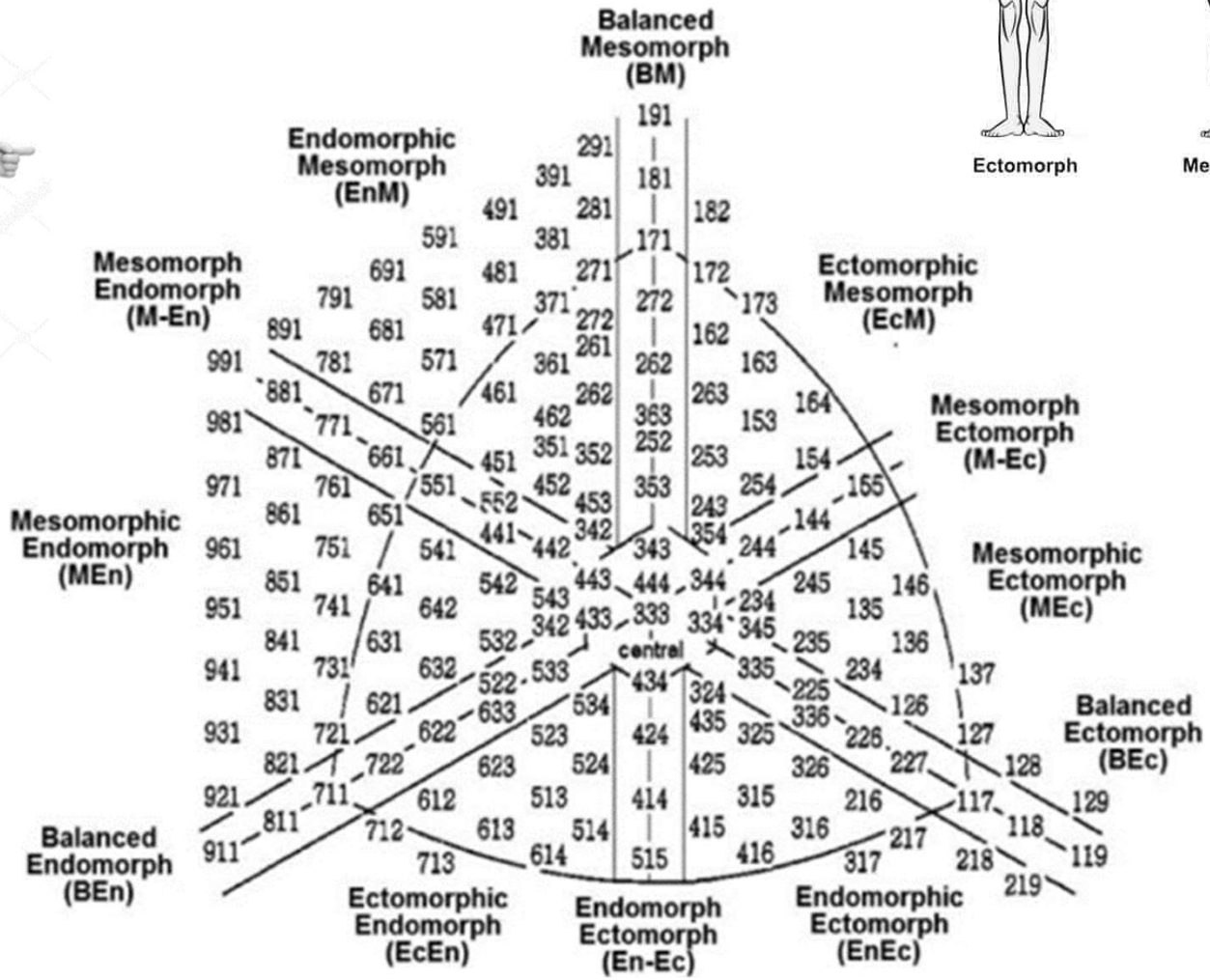
SOMATOCARTA



Mesomorfia







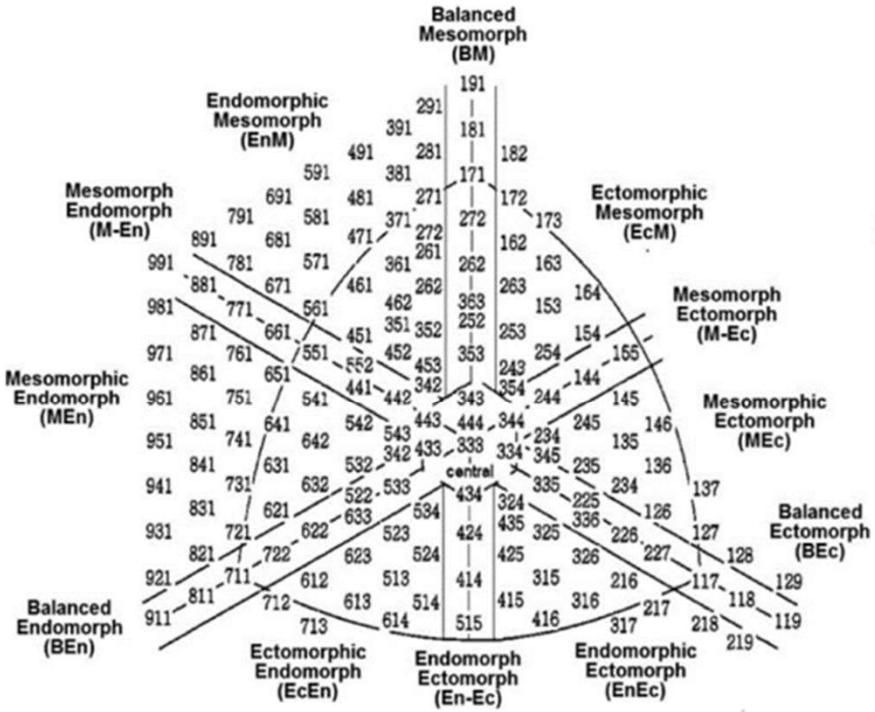


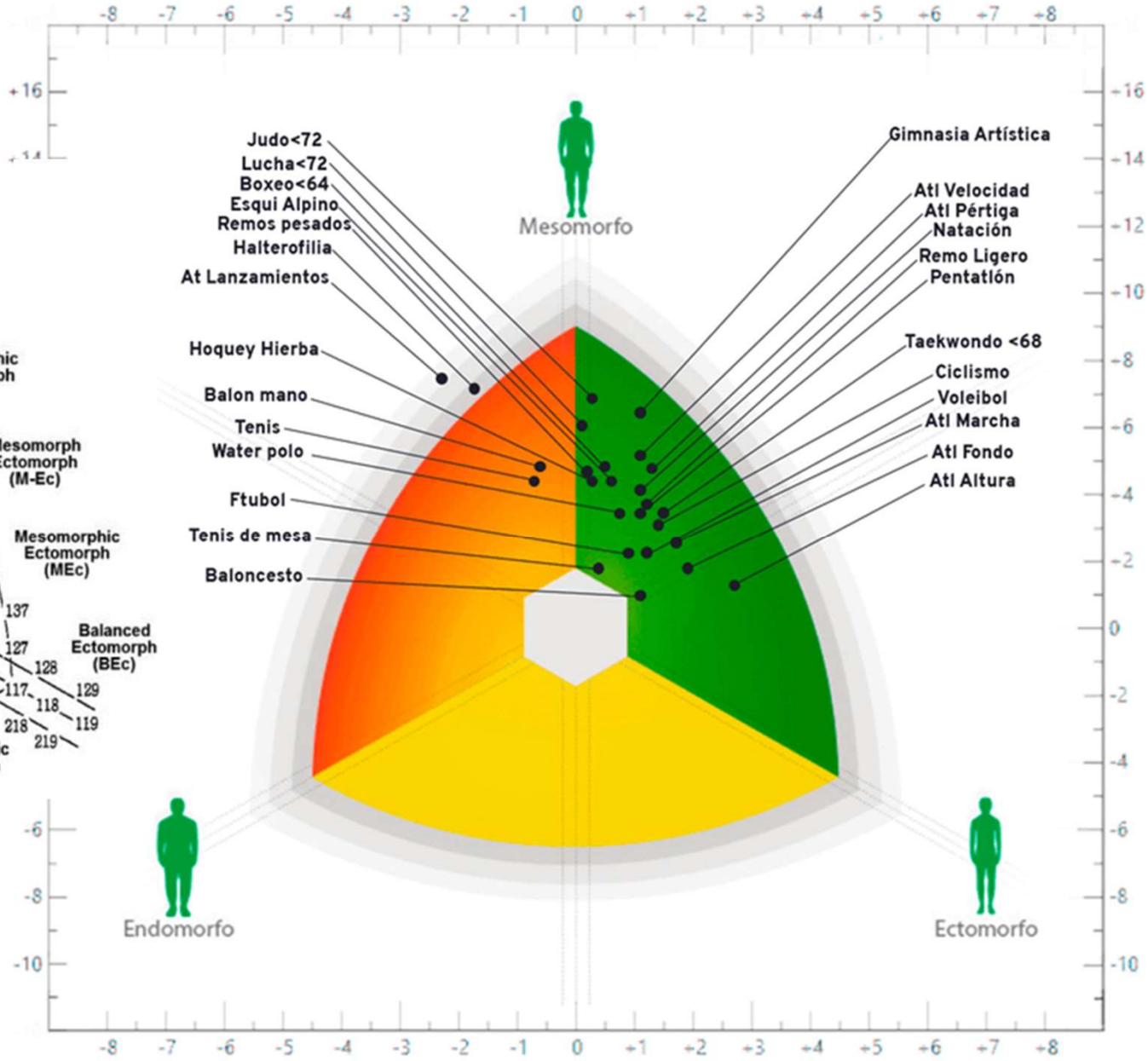
Endomorfia



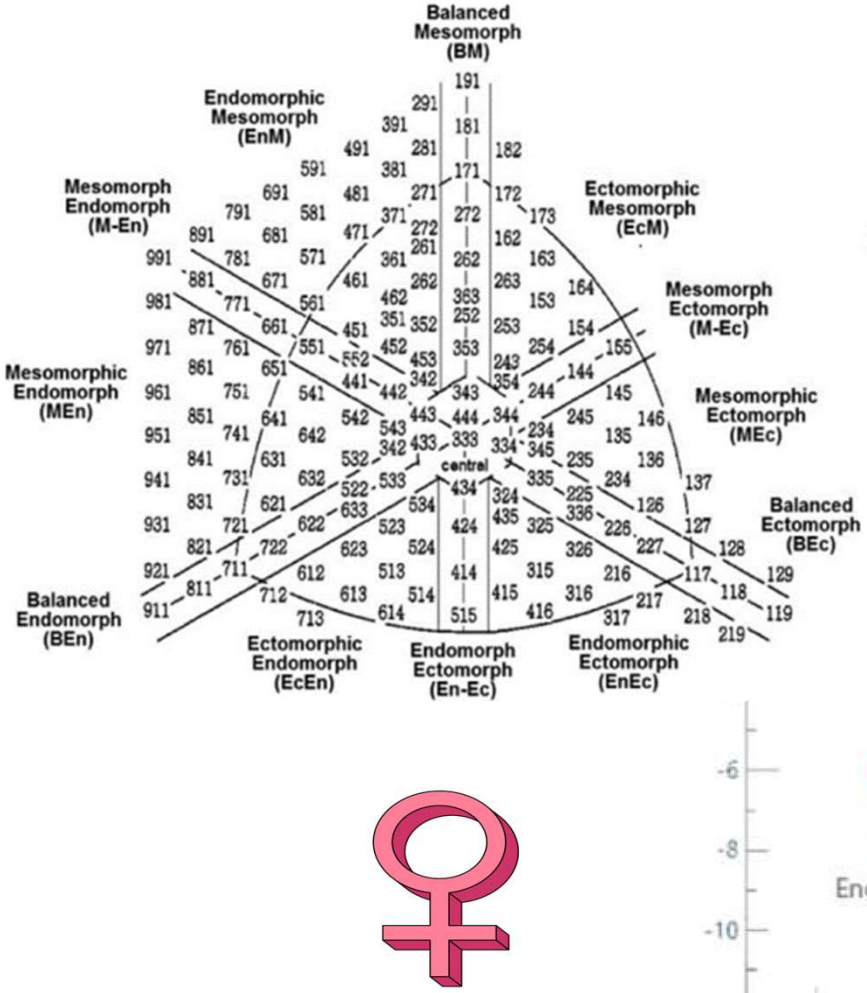
Ectomorfia

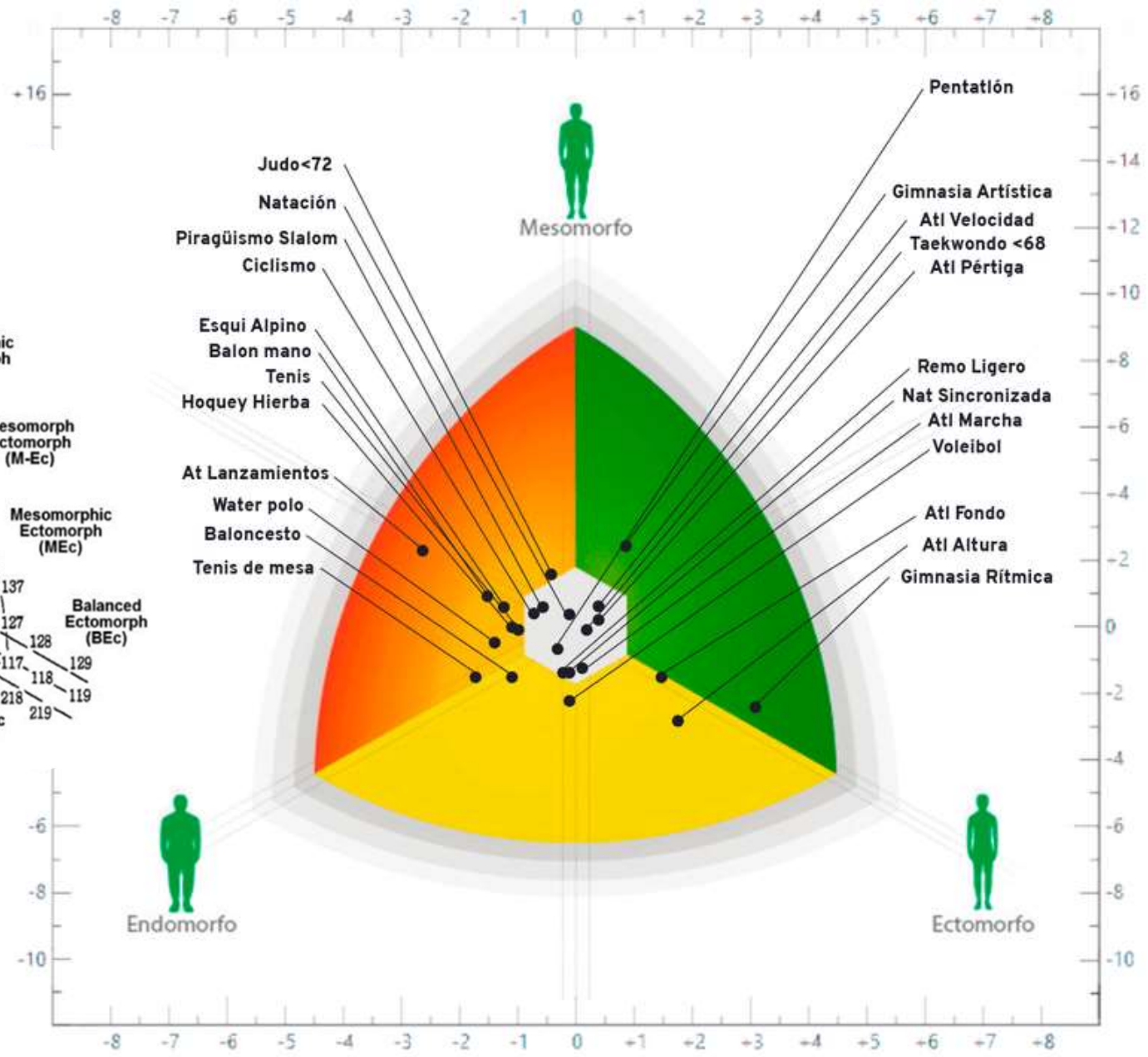
SOMATOCARTA POR DEPORTE





SOMATOCARTA POR DEPORTE

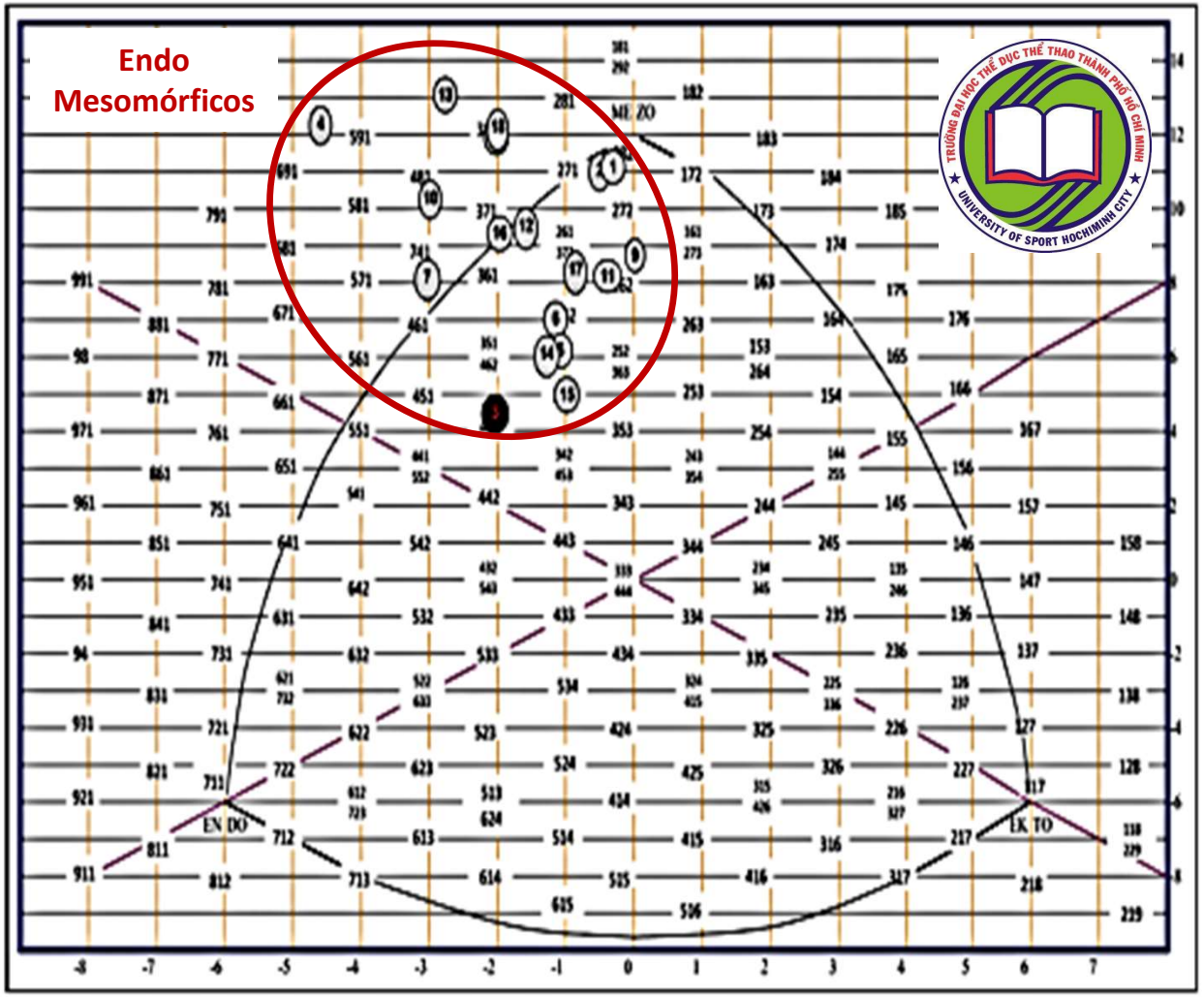




Correlations of anthropometric, body composition, somatotype variables, and performance of elite male junior weightlifters

Toai B. T., Thau D. V., Cuong P. C. & Tuong, V. C.

International Journal of Health, Physical Education & Computer Science in Sports
3, 14-18. 2021.



- Vietnam junior ♂ (2017 – Punto Negro).
- Olimpicos (1960–1976)
  - 1: <60 kg (1968);
  - 2: 60–79,9 kg;
  - 3: 80–99,9 kg;
  - 4: 100+ kg (Carter, 1984b);



5: CSRR, 1969

Stepnicka, (1974a; 1986); CSSR (1981);

6: Younger (adolescentes);

7: Older (adolescents); Chovanova (1983a);

8: URSS (Heath, in Carter, 1970);

9: Venezuela 55–67 kg;

10: 69–122 kg (Pérez, 1981); Cuba (1976–1980);

11: Lightweight, (1978);

12: Middleweight;

13: Heavyweight (Rodrigucz et al., 1986;

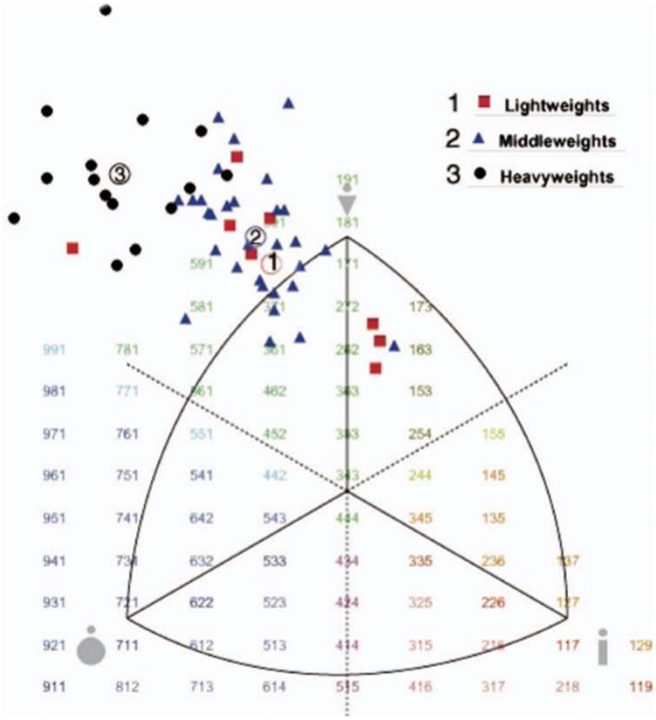
14: Cuba, youths (Alonso, 1986);

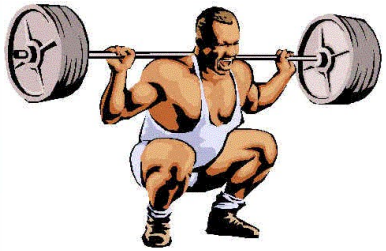
15: India (Sodhi and Sidhu, 1984);

16: China (1984) (Zeng, 1985);

17: Brighton Polytechnic (Bale, 1986);

18: South Australia Powerlifters (Withers 1986)





54 Powerlifters
(Nueva Zelanda)

- 9 lightweight
- 30 middleweight
- 15 heavyweight

Anthropometric dimensions of male powerlifters of varying body mass

Keogh JW, Hume PA, Pearson SN & Mellow P.

Journal of Sports Sciences

25(12), 1365 - 1376. 2007.

Bond University

Variable	Pesos Ligeros	Pesos Medios	Pesos Pesados
Estatura (cm)	163,0 ±7,2	174,7 ±4,9	174,7 ±9,6
Peso Corporal (kg)	68,9 ±7,9	87,7 ±6,9	121,9 ±17,2
Endomorfia	3,2 ±1,8	3,2 ±0,9	6,3 ±1,6
Mesomorfia	7,5 ±1,6	8,0 ±1,3	10,7 ±1,7
Ectomorfia	1,1 ±1,1	0,7 ±0,6	0,1 ±0,0
Porcentaje Masa Grasa	9,8 ±3,2	10,1 ±1,9	14,5 ±3,0
Porcentaje Masa Residual	25,3 ±3,1	24,8 ±1,2	23,8 ±1,1
Porcentaje Masa Ósea	16,8 ±1,3	16,9 ±1,2	15,9 ±1,5
Porcentaje Masa Muscular	48,1 ±3,2	48,2 ±2,2	45,8 ±2,4

	Lightweight ($n = 9$)	Middleweight ($n = 30$)	Heavyweight ($n = 15$)
Girths			
Head (cm)	56.0 ± 1.7^{b}	57.6 ± 1.4^{b}	60.2 ± 1.6
Neck (cm)	$37.1 \pm 1.7^{a,b}$	41.5 ± 2.5^{b}	47.4 ± 3.2
Flexed upper arm (cm)	37.0 ± 2.8^{b}	40.0 ± 3.1^{b}	46.7 ± 3.5
Forearm (cm)	29.2 ± 1.5^{b}	31.1 ± 1.6^{b}	35.3 ± 2.0
Chest (cm)	$101.3 \pm 6.1^{a,b}$	109.7 ± 6.1^{b}	126.0 ± 8.0
Waist (cm)	$79.6 \pm 7.2^{a,b}$	90.5 ± 6.7^{b}	109.6 ± 9.5
Hip (cm)	$92.7 \pm 5.1^{a,b}$	101.0 ± 3.5^{b}	117.0 ± 9.4
Thigh (cm)	$57.3 \pm 3.7^{a,b}$	61.8 ± 3.3^{b}	73.1 ± 6.2
Calf (cm)	36.4 ± 3.2^{b}	38.8 ± 1.9^{b}	45.0 ± 3.2
Breadths			
Bi-acromial (cm)	$40.3 \pm 2.1^{a,b}$	42.0 ± 2.1^{b}	44.3 ± 2.1
Bi-iliocristal (cm)	$27.9 \pm 1.8^{a,b}$	29.6 ± 1.2^{b}	33.1 ± 2.8
Anterior–posterior chest depth (cm)	$19.2 \pm 1.7^{a,b}$	21.6 ± 1.6^{b}	25.5 ± 2.5
Humerus (cm)	$7.0 \pm 0.5^{a,b}$	7.8 ± 0.7	8.0 ± 0.5
Femur (cm)	9.7 ± 0.6^{b}	10.3 ± 0.6^{b}	11.3 ± 0.6

Anthropometric profile of powerlifters: differences as a function of bodyweight class and competitive success

Marcos Lovera & Justin W. Keogh

Journal Sports Medicine and Physical Fitness

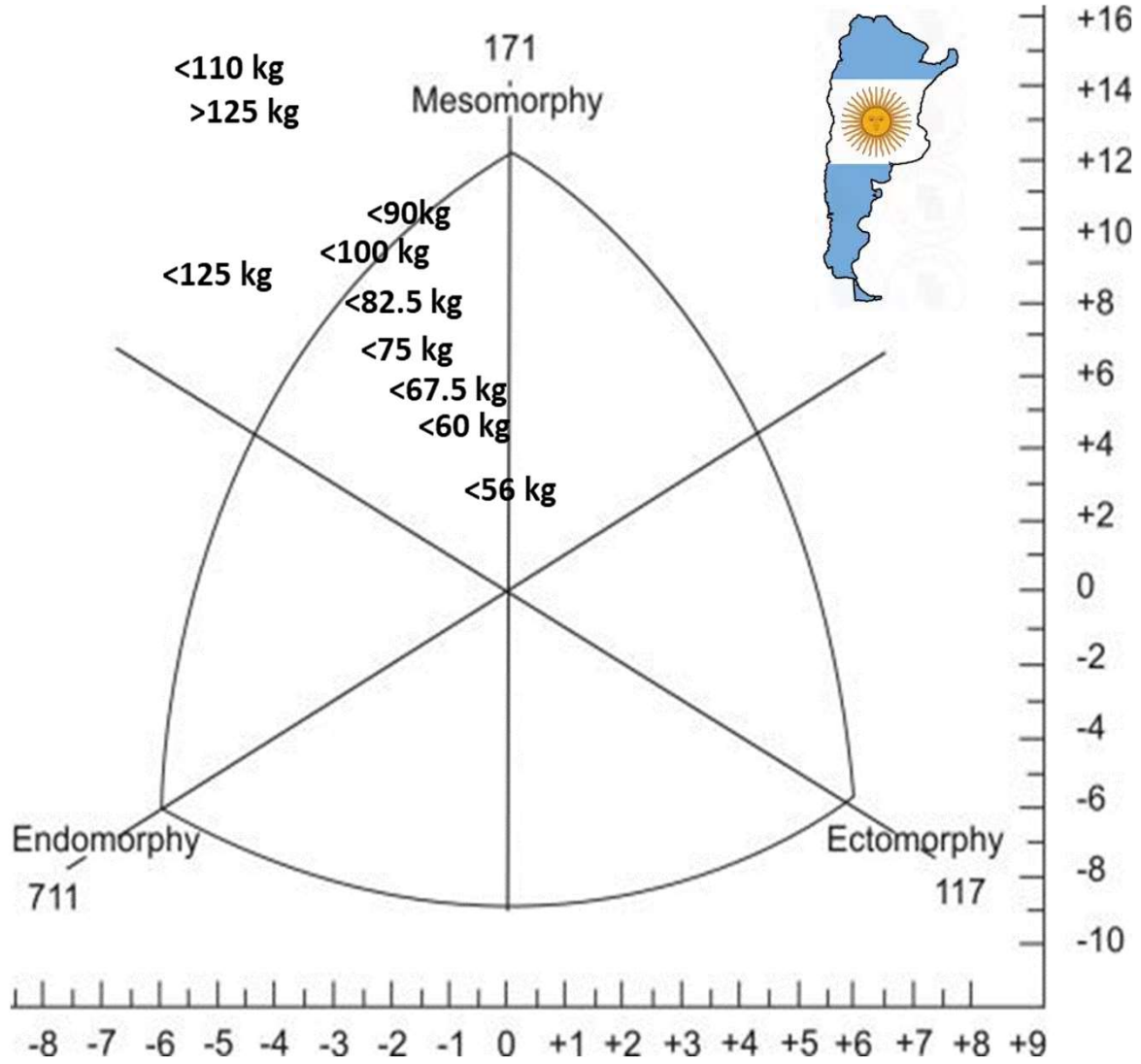
55(5), 478-487. 2015.

PC	SQ	BR	PL	TOT
56.0	110,0 +/-0,0	73,8 +/-12,4	148,8 +/-5,3	332,5 +/-17,7
60.0	155,0 +/-20,9	88,3 +/-19,5	174,2 +/-19,3	417,5 +/-55,7
67.5	164,7 +/-0,0	111,4 +/-30,1	188,9 +/-45,3	465,0 +/-121,7
75.0	208,2 +/-38,2	121,7 +/-31,8	198,3 +/-5,3	546,4 +/-77,4
82.5	197,2 +/-17,6	127,2 +/-19.6	222,5 +/-24,0	546,9 +/-41,4
90.0	248,3 +/-42,6	165,0 +/-31,9	256,5 +/-28.7	669.6 +/-97,0
100	235,7 +/-0,0	163,9 +/-17,9	237,1 +/-50,4	636,0 +/-110,2
110	223,8 +/-0,0	162,5 +/-60,1	217,5 +/-102,5	603,8 +/-281,1
125	253,3 +/-30,6	151,7 +/-33,3	240,0 +/-52,0	645,0 +/-106,4
>125	297,5 +/- 37,7	218,8 +/- 18,4	282,5 +/-17,1	798,88 +/- 57,2

POSICIÓN EN SOMATOCARTA POR CATEGORÍA DE PESO CORPORAL

Muestra: 63 Hombres

Torneo Nacional Argentino de Powerlifting



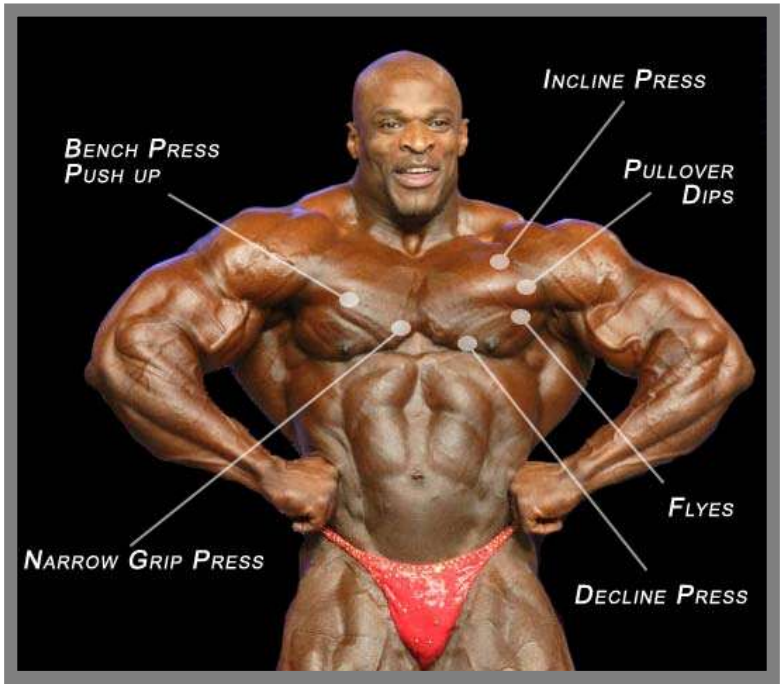
Valores medios del SOMATOTIPO en distintos grupos de deportistas de Modalidades de Fuerza

DEPORTE	ESTUDIO	ENDOMORFIA	MESOMORFIA	ESTOMORFIA
Culturistas Brasil	Rodrigo-Pedrosa et al. 2003	1.8	8.1	0.7
Culturistas CM	Borns et a. 1986	1.6	8.7	1.2
Culturistas Bélgica	Huygens 2002	2.5	5.7	0.9
Halterófilos JJ.OO.	Carter & Health 1990	1.8	7.0	1.1
Halterófilo Nigeria	Carter & Health 1984	2.6	5.1	3.4
Lanzadores (P&D) JJ.OO.	Igbokwe 1991	3.2	7.1	3.4

FORMA

SIMETRÍA *VS.* ASIMETRÍA

(DEPORTES DE FUERZA)



Cualidad de un objeto que es capaz de mostrar una correspondencia exacta en el Tamaño y Forma de dos mitades (o partes) cuando su cuerpo o segmento se divide a lo largo de un eje determinado (Longitudinal *vs*. Transversal)

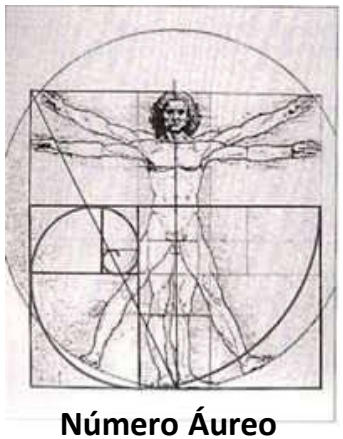
¿QUÉ ES LO MEJOR?

SIMETRÍA *VS.* CULTURISMO

(sensación de armonía y equilibrio)

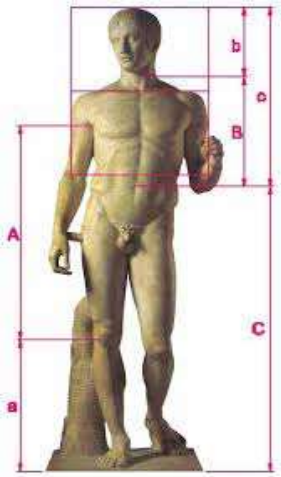
Propuesta Steve Reeves

ESTATURA	PESO CORPORAL
165 cm	73 kg
168 cm	75 kg
170 cm	77 kg
173 cm	79 kg
175 cm	80 kg
178 cm	81 kg
180 cm	83 kg
183 cm	85 kg
185 cm	88 kg
188 cm	90 kg
181 cm	92 kg
193 cm	94 kg
196 cm	96 kg



Número Áureo
(Phi (φ) = 1,61803...)
Hombre Vitruvio





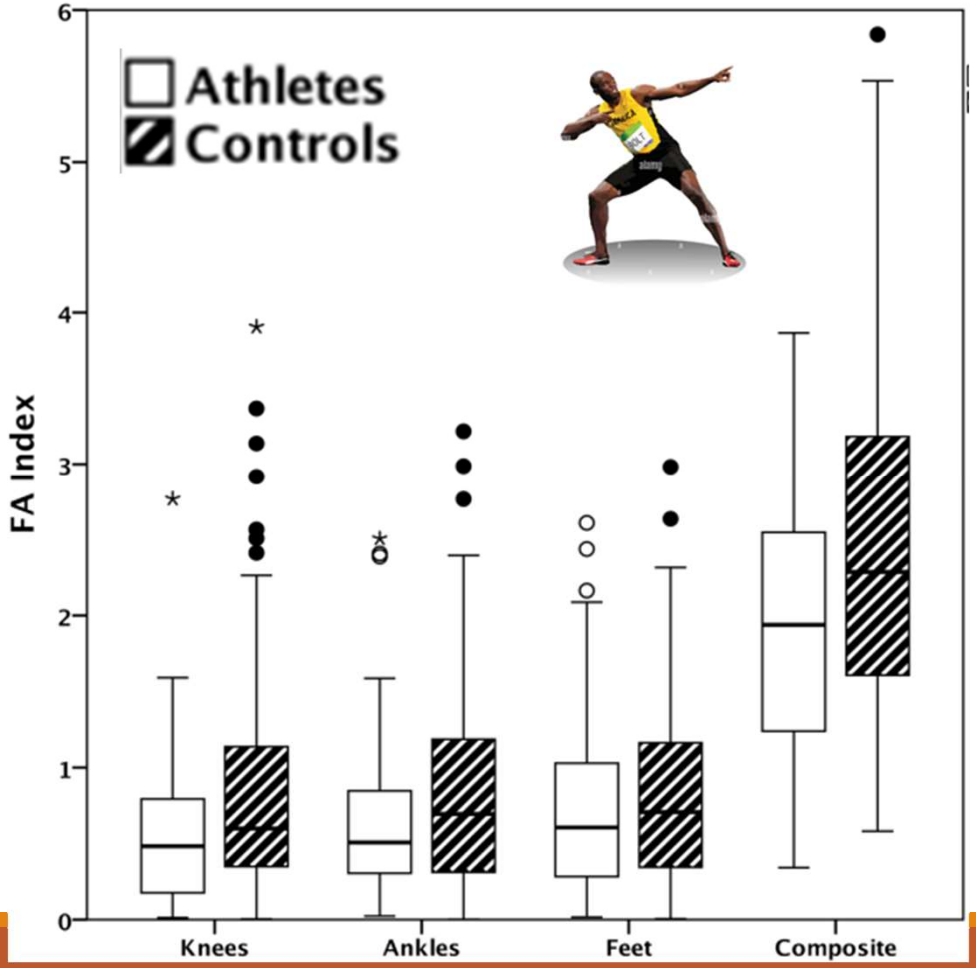
Propuesta Steve Reeves
Brazo = 2,52 * Muñeca
Pantorrilla = 1,92 * Tobillo
Cuello = 0,79 * Cabeza
Pecho = 1,48 * Cadera
Cintura = 0,86 * Cadera
Muslo = 1,75 * Rodilla

Fórmula John McCallum
Pecho = 6,5 * Muñeca
Brazo = 0,36 * Pecho
Antebrazo = 0,29 * Pecho
Muslo = 0,53 * Pecho
Pantorrilla = 0,34 * Pecho
Cintura = 0,7 * Pecho
Cuello = 0,37 * Pecho
Cadera = 0,85 * Pecho

Lower body symmetry and running performance in elite Jamaican track and field athletes

Trivers, R., Fink, B., Russell, M., McCarty, K., James, B., & Palestis, B. G.
PloS one, 9(11), e113106. doi:10.1371/journal.pone.0113106. 2014.

El grado de simetría de la parte inferior del cuerpo en 73 atletas de élite de Jamaica, muestran que tanto sus rodillas como sus tobillos (pero no sus pies) son, en promedio, significativamente más simétricos que 116 sujetos del Grupo Control de edad similar de la zona rural de Jamaica



Atletas Élite (corredores 100 a 800 m)

Scoring Table IAAF: >1.000 (< 10.60 s)

6 atletas: < 10.01 s

La asimetría en rodillas y tobillos fue menor para los 100 m lisos que pruebas más largas

En todos los eventos, rodillas y tobillos más simétricos (no pies) obtenían mejores resultados.

Simetría de parte inferior del cuerpo combinada con Género, Edad y PC, explican el 27-28% de variación en rendimiento

En 100 m, aquellos corredores con rodillas y tobillos más simétricos son más rápidos

ASIMETRÍA

U.PORTO
FACULDADE DE DESPORTO
UNIVERSIDADE DO PORTO

Why sports should embrace bilateral asymmetry: A narrative review

Afonso J, Peña J, Sá M, Virgile A., García-de-Alcaraz A. & Bishop C.
Symmetry, 14(10), 1993. https://doi.org/10.3390/sym14101993. 2022.

symmetry
an Open Access Journal by MDPI

La ASIMETRÍA está omnipresente en la naturaleza y los humanos tienen ASIMETRÍAS BILATERALES bien establecidas en sus estructuras y funciones

Existen afirmaciones (en su mayoría sin fundamento) de que las Asimetrías Bilaterales pueden afectar negativamente al Rendimiento Deportivo y/o Aumentar el Riesgo de Lesiones

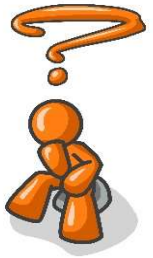
Sin embargo, la realidad nos muestra que CIERTA ASIMETRÍA es inevitable y ellas no están relacionadas con la aparición de lesiones (al menos, no es causa de mayor riesgo en la práctica deportiva)

ASIMETRÍA VS. RENDIMIENTO DEPORTIVO

ES RARO ENCONTRAR ATLETAS DE ALTO NIVEL QUE SEAN ALTAMENTE SIMÉTRICOS EXCEPTO EN EL CASO DE LOS CULTURISTAS

Habitualmente, cada deporte requiere exigencias diferentes en cada lado o segmento del cuerpo que son fruto de adaptaciones funcionales y morfológicas específicas que luego se manifiestan durante la competición condicionando en el rendimiento

INCLUSO, ALGUNOS DE LOS MEJORES ATLETAS DE ALTO NIVEL PUEDEN SER DEPORTISTAS ALTAMENTE ASIMÉTRICOS



El efecto de las Asimetrías sobre la Fuerza parece tener un relación directa y, en ocasiones significativa, sobre el RENDIMIENTO (MEJORA o DETERIORO):

Afecta negativamente al rendimiento, y a la ejecución de habilidades específicas como el cambio de dirección, los saltos, acciones a dos manos (Jerk, Tirones, ...), etc.

No obstante, las *Asimetrías Morfológicas* son consecuencia, cuando no una necesidad, en algunas modalidades deportivas (Esgrima, Boxeo, etc.).

U.PORTO

FACULDADE DE DESPORTO
UNIVERSIDADE DO PORTO

Why sports should embrace bilateral asymmetry: a narrative review

Afonso J., Peña J., Sá M., Virgile A., García-de-Alcaraz A., & Bishop C.

Symmetry, 14(10), https://doi.org/10.3390/sym14101993. 2022.

La asimetría es frecuente en varios deportes independientemente de la edad, género o nivel competitivo, y se puede verificar incluso en modalidades aparentemente simétricas (i.e. correr y remar)

Las Asimetrías Bilaterales son frecuentes en los deportes y no parecen perjudicar el rendimiento, ni existen evidencias sólidas que sugieran que aumenten el riesgo de sufrir lesiones

Si bien las lesiones tienden a acentuar las Asimetrías Bilaterales, no hay evidencia de que las Asimetrías Preexistentes aumenten el riesgo de lesiones

Si bien los programas de entrenamiento reducen ciertas Asimetrías Bilaterales, tampoco hay evidencias sólidas de que dichas reducciones conlleven un aumento del:

Rendimiento Deportivo Específico

Reducción del Riesgo de Sufrir Lesiones

Nottingham Trent University (NTU)

The calculation, thresholds and reporting of inter-limb strength asymmetry: A systematic review

Parkinson, A. O., Apps, C. L., Morris, J. G., Barnett, C. T. & Lewis, M. G.

Journal of Sports Science & Medicine, 20(4), 594. 2021.

- **La interpretación de las puntuaciones de Asimetría utilizando Umbrales Predeterminados (habitualmente 10-15%) puede ser una estrategia erronea ya que muchas carecen de una base de evidencia sólida.**
  - Asimetrías mayores del 10-15% se han asociado con un mayor riesgo de lesiones (Croisier et al., 2008; Fousekis et al., 2011; Brumitt et al., 2013) y un rendimiento reducido
- **La magnitud de la Asimetría de la fuerza entre las extremidades varía desde una simetría aproximada hasta una asimetría mayor del 15%.**
  - Sin embargo, existen razones de inconsistencia con respecto a la magnitud de la asimetría y los efectos posteriores que esa asimetría tiene sobre el origen de lesiones y el rendimiento deportivo reducido.



ASIMETRÍA EN EL DEPORTE DE COMPETICIÓN



ASIMETRIAS FUNCIONALES BÁSICAS

Preferencia Lateral (Lateralidad) describe el concepto de que los humanos utilizarán preferentemente un lado de su cuerpo cuando tiene que ejecutar con precisión una Tarea Motora (Acciones Técnicas)

En **Rendimiento Deportivo**, es importante diferenciar entre:

- **Lateralidad**: dominio de una mayor "*habilidad*" en una tarea determinada.
- **Lado Dominante de Fuerza**: extremidad con niveles de fuerza más elevados.

ASIMETRÍAS DEPORTIVAS ESPECÍFICAS

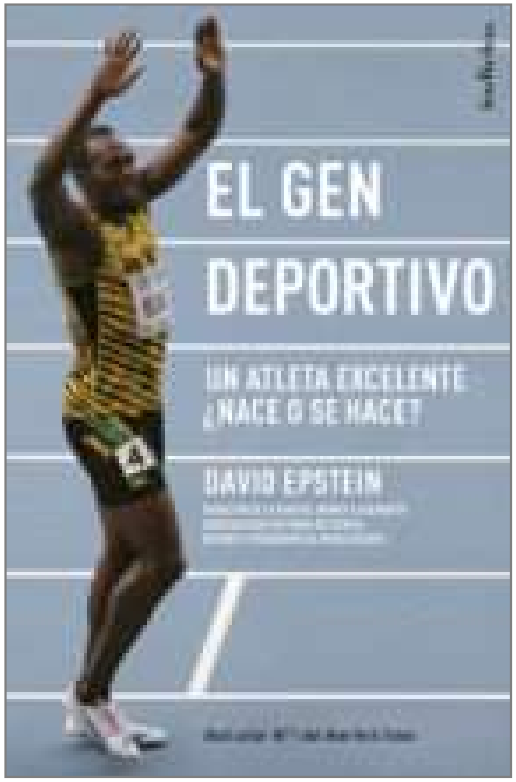
Son Específicas para cada Modalidad Deportiva

Muchas "*Asimetrías Deportivas*" son consecuencia de la dominancia de una las extremidades que se magnifican con la práctica deportiva prolongada

ASIMETRÍAS MORFOLÓGICAS Y FUNCIONALES ASOCIADAS AL RENDIMIENTO



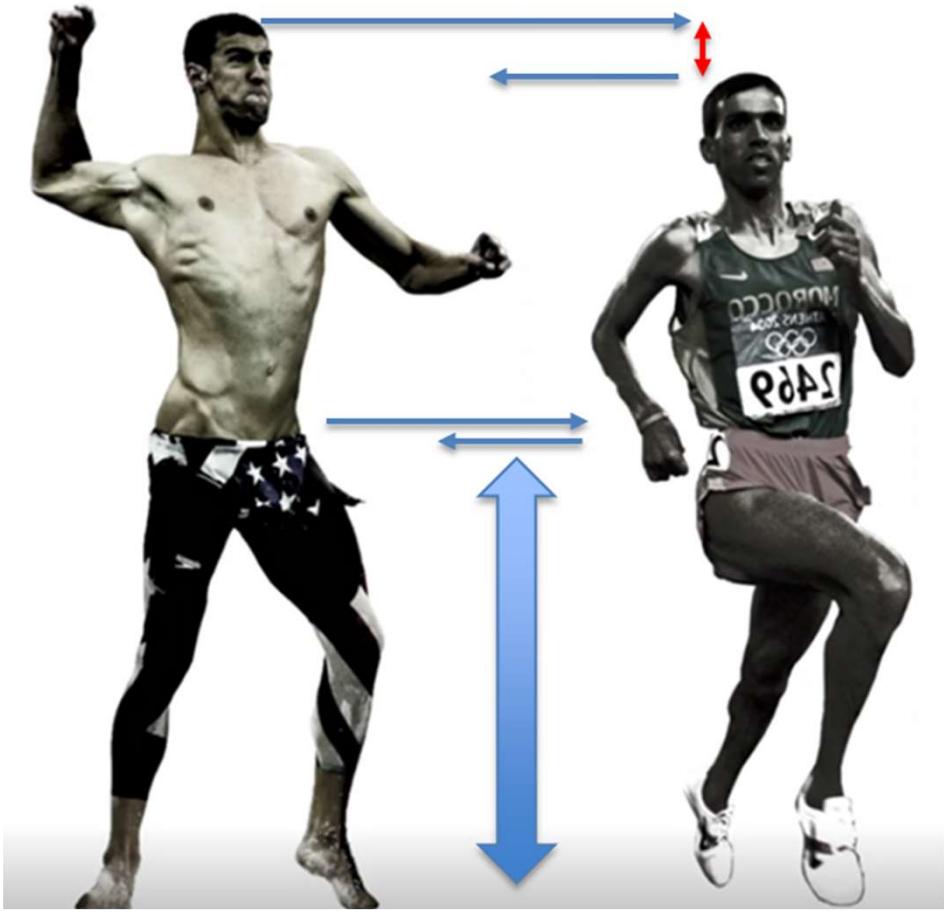
David Epstein



MICHAEL PHELPS

1,93 m

90.0 kg



EL GUERROUJ

1,76 m

58.0 kg

Universidad de Valladolid

An Integrated Approach to Explore Interlimb Asymmetries, Neuromuscular Parameters, and Injuries in Semiprofessional Soccer Players

Domínguez-Díez, M., López-Valenciano, A., Raya-González, J., Castillo, D., Sánchez-Díaz, S., Berasategui, O., & Gene-Morales, J.

Applied Sciences, 14(23), 10800. https://doi.org/10.3390/app142310800. 2024.

Encuentran diferencias en Asimetrías Interextremidades (i.e. Rango de Movimiento), pero no diferencias importantes en parámetros neuromusculares de futbolistas sanos y que sufrieron lesiones

	Injured		Healthy	
Variable	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
Neuromuscular Performance Asymmetries (%)				
CMJ Height Asymmetry	8.48	7.30	13.65	11.60
Half-Squat 30 kg Power Asymmetry	6.12	2.74	6.21	3.84
Half-Squat 40 kg Power Asymmetry	6.40	2.62	5.28	3.40
Half-Squat 30 kg Velocity Asymmetry	4.46	2.10	5.03	2.78
Half-Squat 40 kg Velocity Asymmetry	4.28	2.94	5.70	3.01
Hip Abduction Maximum Isometric Force Asymmetry	12.06	3.88	7.12	4.77
Hip Adduction Maximum Isometric Force Asymmetry	6.32	1.94	5.63	3.94
Knee Extension Maximum Isokinetic Force at $30°\cdot s^{-1}$ Asymmetry	10.18	6.77	7.30	6.30
Knee Flexion Maximum Isokinetic Force at $30°\cdot s^{-1}$ Asymmetry	11.32	4.00	14.11	13.85

	Injured		Healthy	
Variable	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
Range of Movement Asymmetries (%)				
Hip Flexion Flexed Knee Asymmetry	2.74	1.88	3.73	2.82
Hip Flexion Extended Knee Asymmetry	4.68	2.12	9.11	9.44
Hip Extension Flexed Knee Asymmetry	10.00	6.09	14.71	10.51
Hip Abduction Flexed Knee Asymmetry	6.64	5.89	8.97	7.33
Knee Flexion Asymmetry	8.10	6.97	4.84	3.38
Ankle Flexion Extended Knee Asymmetry	4.68	2.76	6.80	5.29
Ankle Flexion Flexed Knee Asymmetry	7.96	3.56	5.81	4.72

Sugieren que el Riesgo de Lesión puede estar más relacionado con las asimetrías del rango de movimiento entre extremidades que con los parámetros neuromusculares

No se confirma una asociación entre asimetrías interextremidades y la aparición de lesiones

Déficits bilaterales y asimetrías morfofuncionales en jóvenes esgrimistas

Xavier Iglesias, Alfredo Irurtia, Michel Marina & Marta Carrasco

Apunts de Medicina de L' Esport, 46(170), 65-71. 2011.

inefc
Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya



Muestra: 32 Tiradores (Espada =15; Florete = 8; Sable = 9)

20 ♂ (**Edad:** 14,8 ± 0,9 años; **Talla**: 171,5 ± 7,6 cm; **PC**: 60,9 ± 9,6 kg)
12 ♀ (**Edad:** 14,2 ± 3,3 años; **Talla**: 162,9 ± 5,5 cm; **PC**: 57,7 ± 7,6 kg)

- Ambos sexos mostraron asimetrías significativas en: Perímetros de Antebrazo (p≤0,05) y en FMI de Prensión Manual (p≤0,05)
- ♀ muestran diferencias significativas entre *CSA* de Muslo Pierna Anterior vs. Pierna Posterior (p≤0,05).

Pese a no detectarse diferencias significativas en el resto de variables, si se observaron

DÉFICITS BILATERALES de ≈4% entre Perímetros

≈11% entre las *CSA* de Brazos y Muslos del hemicuerpo armado frente al no armado

	Jóvenes esgrimistas masculinos (n = 20)			Jóvenes esgrimistas femeninas (n = 12)		
	Armado Anterior	No armado Posterior	% DB	Armado Anterior	No armado Posterior	% DB
Áreas (cm^2) n = 4						
Masa grasa brazo	12,8 ± 6,7	12,9 ± 6,8	0,6	20,0 ± 5,9	20,3 ± 5,5	1,4
Masa muscular brazo	38,0 ± 7,2	34,1 ± 6,6	11,6	29,9 ± 5,3	27,1 ± 6,2	10,4
Masa grasa muslo	37,8 ± 18,7	38,4 ± 16,9	1,8	60,9 ± 15,8	63,3 ± 17,2	3,8
Masa muscular muslo	182,8 ± 30,8	166,2 ± 25,8	10,0	170,7 ± 19,1	152,8 ± 15,7	11,7*

Functional asymmetries of emg activity and dynamic characteristics in elite weightlifters when performing a competitive clean and jerk exercise

Yu V. Koryagina & Nopin, S. V.

Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training, 1(1), 17-57. 2022.

Los Levantadores Élite realizan el movimiento de manera bastante simétrica y coordinada, con un buen equilibrio y coordinación de sus movimientos

Amplitud EMG media del músculo vasto lateral de las dos piernas (Hombres & Mujeres)

Phases	Right			Left		
	Men	Women	p<	Men	Women	p<
Pull 1.1	0.17±0.12	0.17±0.09	-	0.14±0.07	0.16±0,09	-
Pull 1.2	0.26±0.16	0.29±0.18	-	0.23±0.10	0.25±0.12	-
Snatch 2.1	0.34±0.18	0.34±0.13	-	0.33±0.15	0.30±0.18	-
Snatch 2.2	0.35±0.22	0.24±0.13	-	0.32±0.13	0.22±0.14	0.02
Squat 3.1	0.23±0.10	0.16±0.07	0.03	0.22±0.11	0.17±0.08	-
Squat 3.2	0.30±0.18	0.31±0.14	-	0.26±0.10	0.31±0.14	-
Recovery 4	0.38±0.25	0.33±0.15	-	0.29±0.17	0.30±0.19	-
Clean 6.1	0.23±0.15	0.22±0.10	-	0.20±0.09	0.22±0.16	-
Clean 6.2	0.39±0.28	0.27±0.14	-	0.35±0.15	0.28±0.14	-
Jerk 7	0.35±0.21	0.24±0.09	-	0.25±0.15	0.20±0.10	-
Recovery after the jerk 8	0.18±0.11	0.15±0.10	-	0.14±0.08	0.12±0.10	-

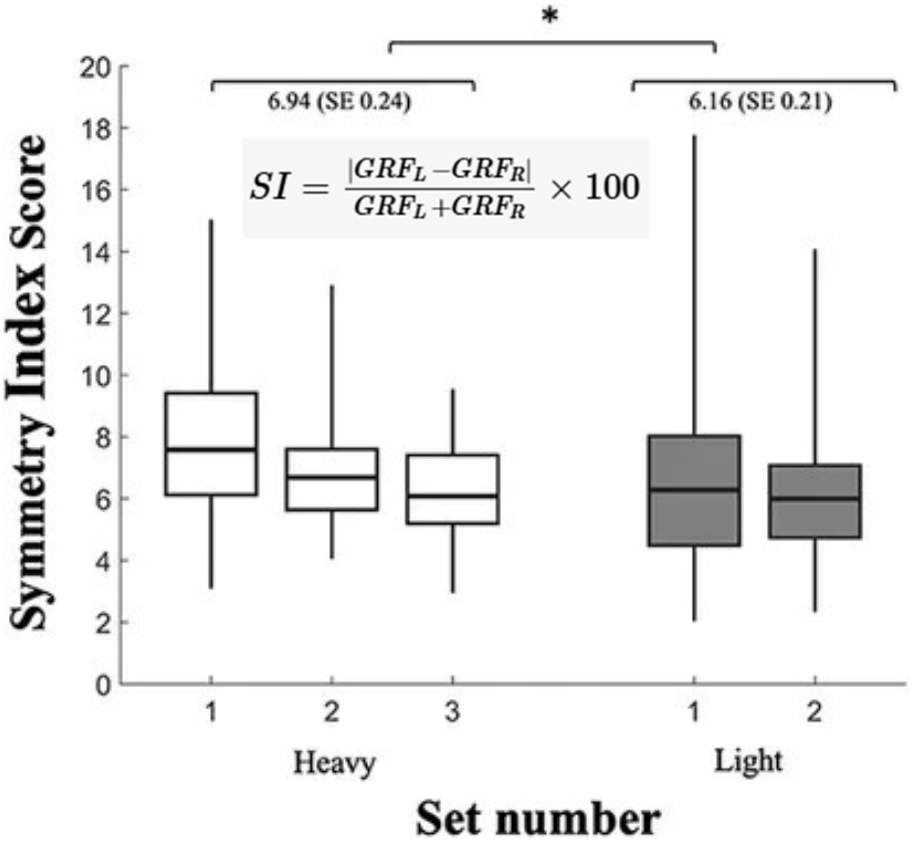


NO OBSTANTE:

Identifican Asimetrías Funcionales de la actividad EMG y características dinámicas en Levantadores de Pesas (♂ & ♀) de élite al realizar el Clean and Jerk

High load with lower repetitions vs. low load with higher repetitions:
The impact on asymmetry in weight distribution during deadlifting

Whittal, M. C., Zwambag, D. P., Vanderheyden, L. W., McKie, G. L., Hazell, T. J., & Gregory, D. E. Frontiers in Sports and Active Living, 2, https://doi.org/10.3389/fspor.2020.560288. 2020.



Box-Plot del Índice de Simetría (IS) para cada serie de Peso Muerto
Serie Pesada (blancos) - Serie Ligera (grises)

1RM: 149.58 ± 37.26 kg

Si bien la variabilidad entre los participantes fue bastante alta, dado el diseño de medidas repetidas del estudio, las diferencias en la puntuación del ***IS*** resultaron ser significativas (p = 0,023), lo que indica una respuesta similar entre los nueve participantes.

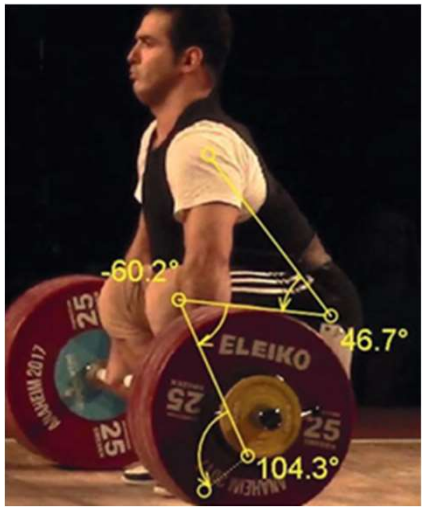
No hubo efecto del número de levantamientos en la simetría de la producción de fuerza (p = 0,127).

La trayectoria del Centro de Presión (COP) fue mayor durante los levantamientos pesados (p=0,002), sin embargo, el rango del COP no se vio afectado, lo que sugiere un punto de aplicación de fuerza controlado dentro de los mismos límites independientemente de la condición del levantamiento.

Traps, Bats & Calves: Considerations for the Hungarian start

Andrew "*Bud*" Charniga

The Official Journal of the European Weightlfing Federation, 13, 30-39. 2019.





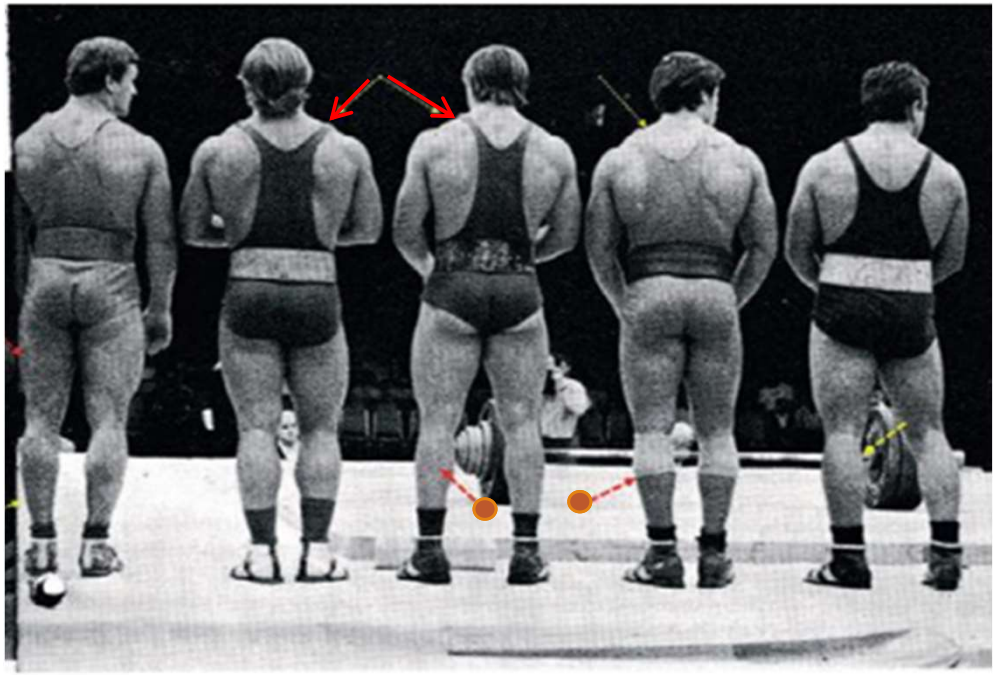
El desarrollo relativamente grande de la musculatura de la pantorrilla es un indicador de que estos músculos están muy cargados sobre una gran parte del movimiento

"EL IMPACTO DEL MODELO TÉCNICO"

HUNGARIAN START

Posición de partida con elevada flexión de la articulación de la rodilla





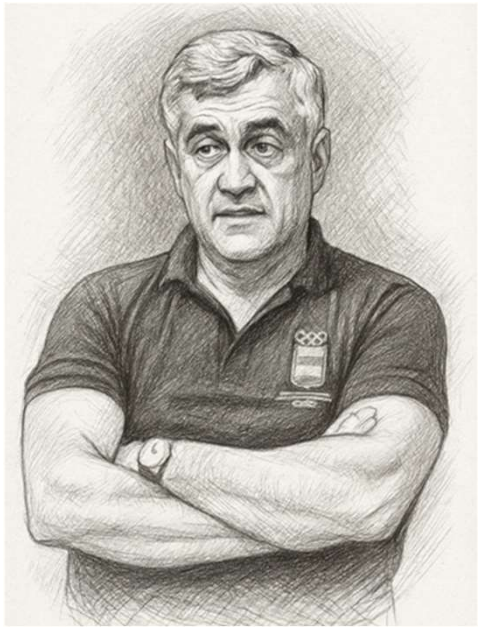
5 levantadores soviéticos - Copa del Báltico 1972

(Rigert, Kurentsov, Shari, Ryzhenkov & Sychev; 3 Campeones Olímpicos)

Nótese el desarrollo relativamente grande del Trapecio y, con una excepción, el desarrollo relativamente pequeño de los músculos de la Pantorrilla en relación con la musculatura del Muslo (forma de un bate de béisbol)

Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo

Dr. Juan Manuel García Manso



"ENTENDIENDO LA FUERZA"

RESPUESTA ADAPTATIVA

ADAPTACIONES ESTRUCTURALES (a)

(Componente Muscular)

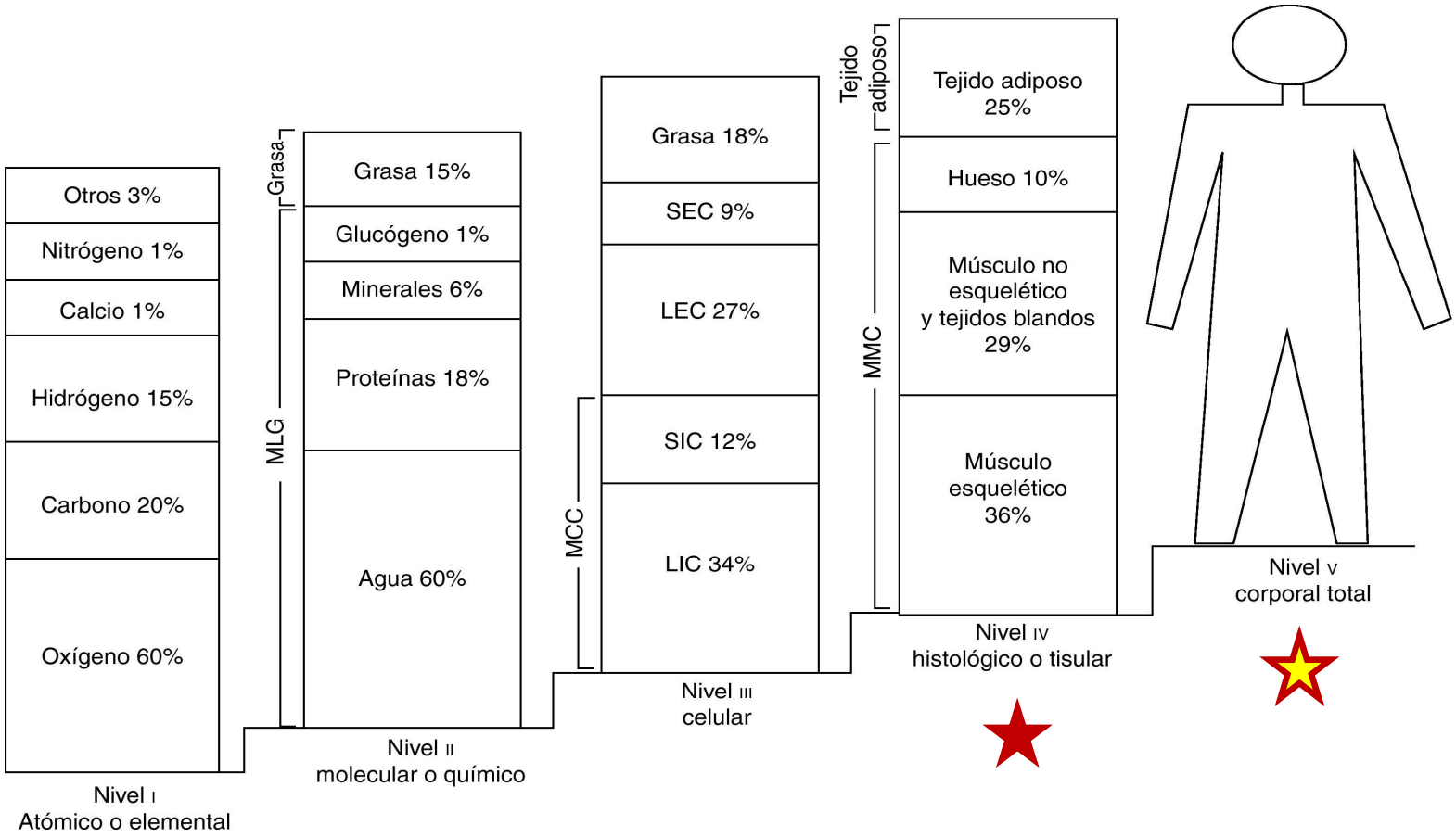
FUERZA MUSCULAR vs. COMPOSICIÓN CORPORAL

Rama de la Biología Humana que se ocupa de la determinación (*in vivo*) de los Componentes Corporales, las Relaciones Cuantitativas entre ellos y los Cambios Cualitativos que se generan cuando son relacionados con sus factores desencadenantes

Modelo Multicompartimental de la Composición Corporal de Cinco Niveles

Atómico, Molecular, Celular, Tisular & Corporal Total





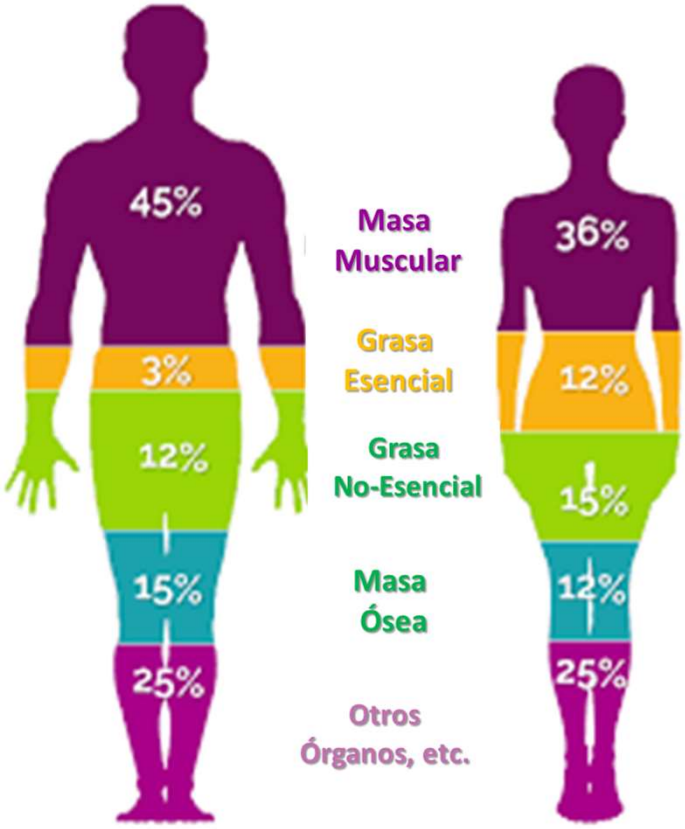
LEC: Líquidos Extracelulares; **LIC**: Líquidos Intracelulares; **MCC (Masa Celular Corporal)**: LIC+SIC:;
MLG: Masa Libre de Grasa; **MMC**: Masa Magra Corporal; **SEC**: Sólidos Extracelulares; **SIC**: Sólidos Intracelulares

COMPOSICIÓN CORPORAL *vs*. FUERZA MUSCULAR

NIVEL HISTOLÓGICO (TISULAR):

MODELO DOS COMPONENTES

COMPONENTE	♂	♀
MMLG	78-90 %	68-80 %
GRASA	10-22 %	20-32 %



NIVEL HISTOLÓGICO (TISULAR):

MODELO CUATRO COMPONENTES

COMPONENTE	♂	♀
Muscular	≈45%	≈36%
Graso (Esencial *vs*. No Esencial)	≈15% (3% & 12%)	≈26% (12% & 15%)
Óseo	≈15%	≈12%
Residual	≈25%	≈25%

♂ Tienen más Masa Magra &
♀ Tienen más Masa Grasa

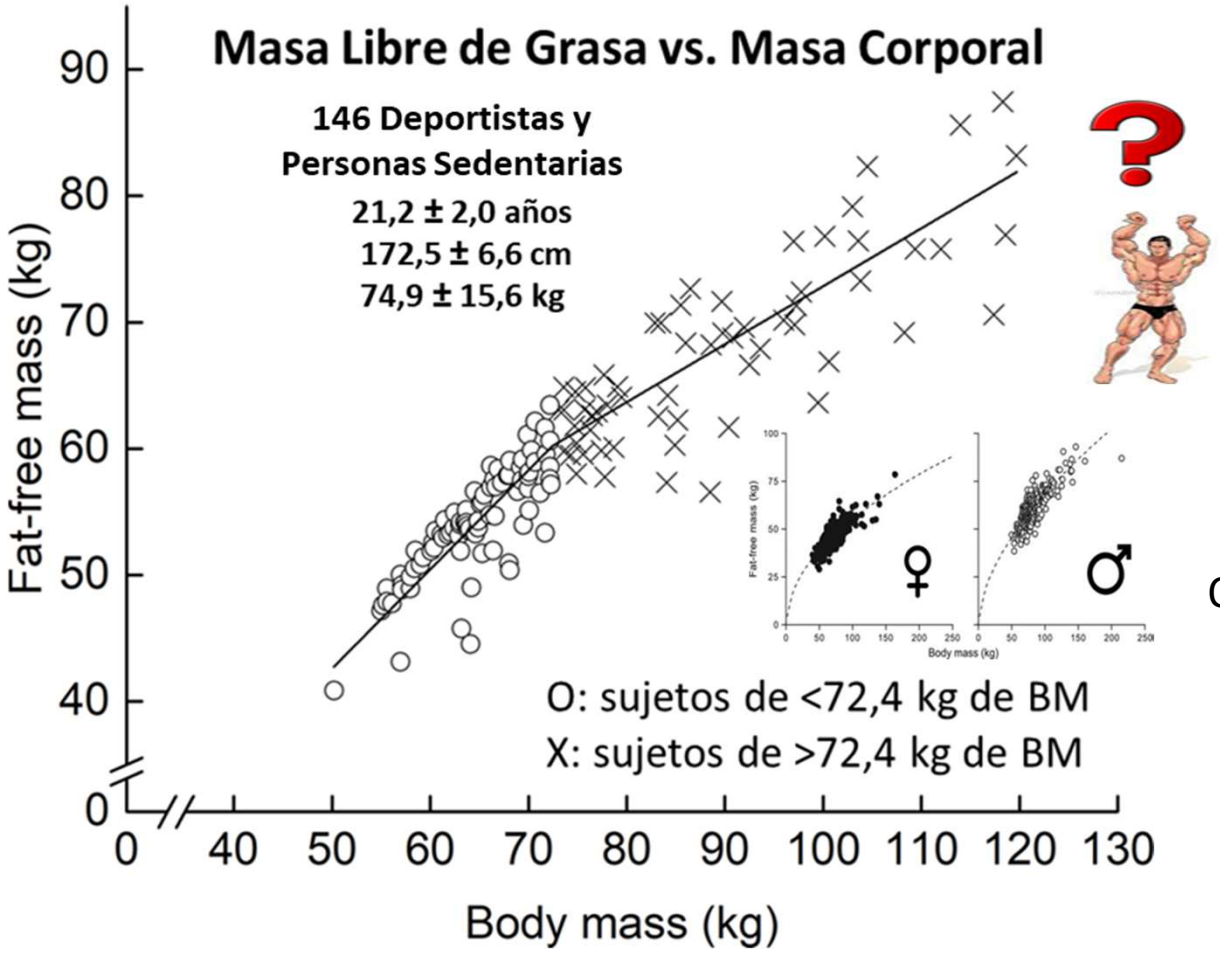
♂ Más probabilidades de acumular Tejido Adiposo alrededor del Tronco y Abdomen

♀ Suelen acumular Tejido Adiposo alrededor de Caderas y Muslos

Body shape indices are predictors for estimating fat-free mass in male athletes

Takai Y, Nakatani M, Aoki T, Komori D, Oyamada K, Murata K, Fujita E, Akamine T, Urita Y, Yamamoto M. & Kanehisa H.

PLoS ONE 13(1), e0189836. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189836. 2018.



MASA CORPORAL LIBRE DE GRASA (FFM)
(MASA MAGRA)

HACE REFERENCIA A:

Todos los Componentes Excepto **Grasa** (Esencial y No Esencial)

INCLUYE

Órganos Internos, Huesos & Músculos

REPRESENTA

HOMBRES: **78-90% PC**

MUJERES: **68-80% PC**

FFM total de cada deportista es diferente y específica para cada modalidad deportiva como resultado de las técnicas que utilizan en cada una de ella y los requisitos de energía o regímenes de entrenamiento y nutrición que habitualmente emplean para mejorar sus resultados

RELACIÓN
MASA MUSCULAR LIBRE DE GRASA *VS.* FUERZA MUSCULAR

The role of FFM accumulation and skeletal muscle architecture in <u>POWERLIFTING</u> performance

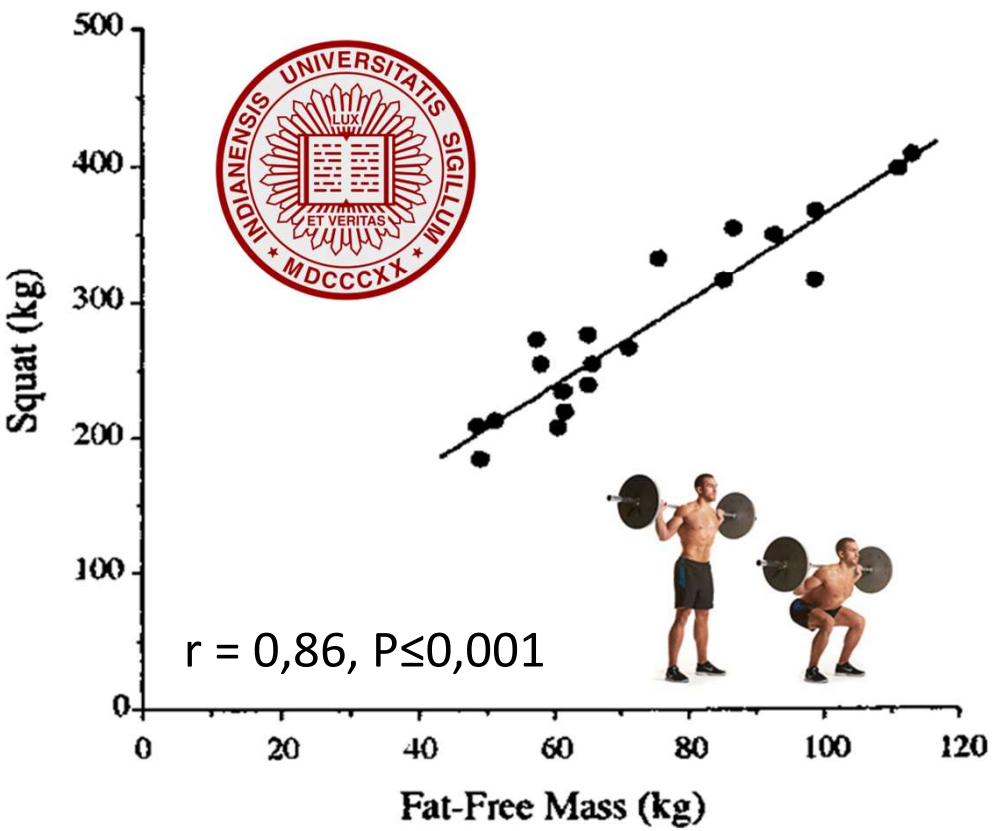


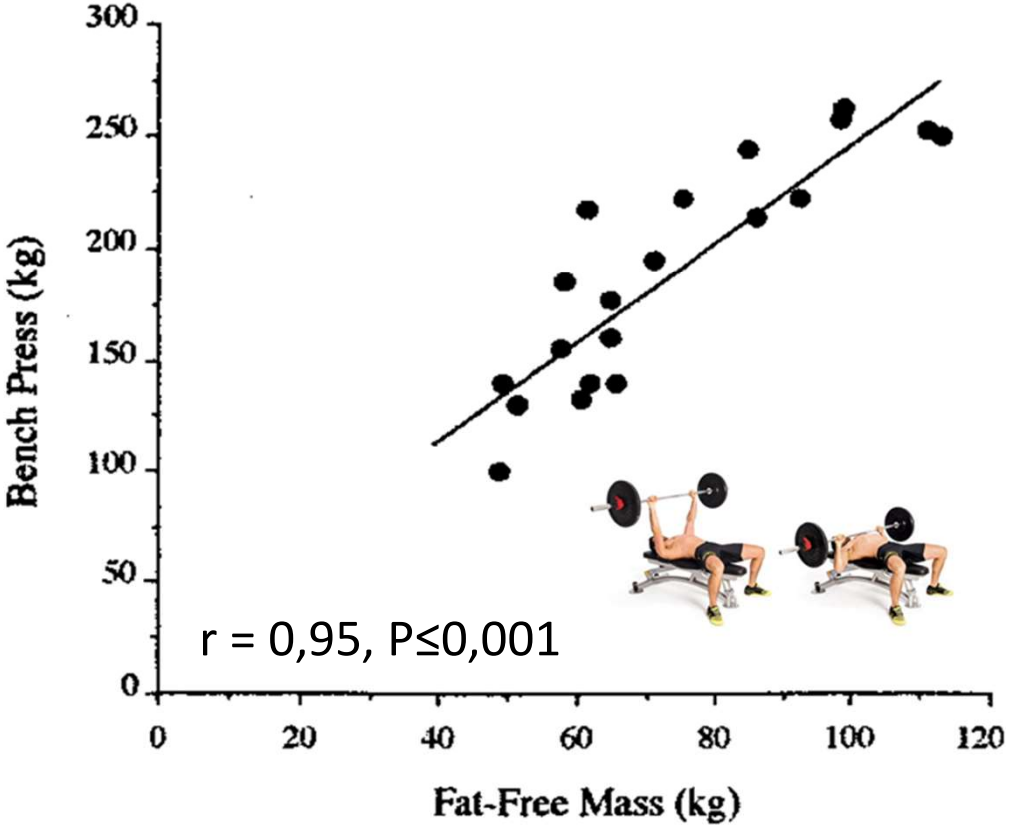
William F. Brechue & Takashi Abe (Universidad Indiana)

European Journal of Applied Physiology, 86(4), 327-336. 2002.



LA FUERZA ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA FFM





Correlations of Anthropometric and Body Composition Variables with the Performance of Young Elite Weightlifters

Marefat Siahkouhian & Meysam Hedayatneja

Journal of Human, 25, 125-131. 2010.

RELACIÓN FFM vs. FUERZA MUSCULAR

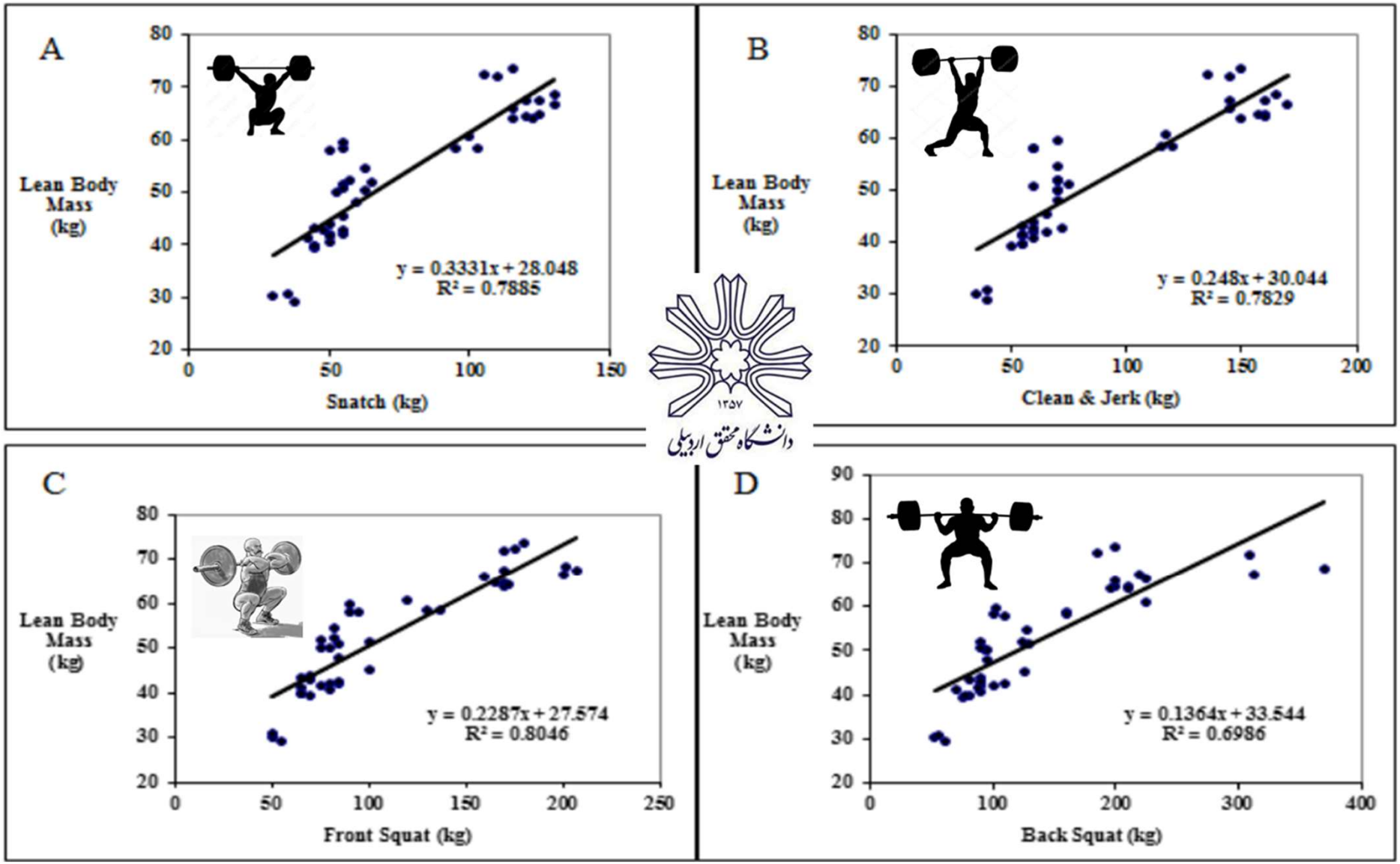
VARIABLE	SNATCH	CLEAN & JERK	SQUAT FRONTAL	SQUAT TRAS NUCA
PESO CORPORAL	0,450**	0,459**	0,511***	0,482***
TALLA	0,544**	0,519**	0,501***	0,482***
F.F.M.	**0,888*** **	**0,885*** **	**0,897*** **	**0,836*** **

** p<0,05 - *** p<0,01

Lean body mass as a predictor of performance of young Iranian elite weightlifters

Marefat Siahkouhian, Farhad Azimi & Meysam Hedayatnejad

South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation
38(2), 179-186. 2016.



NATIONAL AND KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS

Lean body mass, muscle architecture, and performance in well-trained female weightlifters

Zaras N., Stasinaki A. N., Spiliopoulou P., Hadjicharalambous M. & Terzis G.
Sports, 8(5), 67. doi:10.3390/sports8050067. 2020.

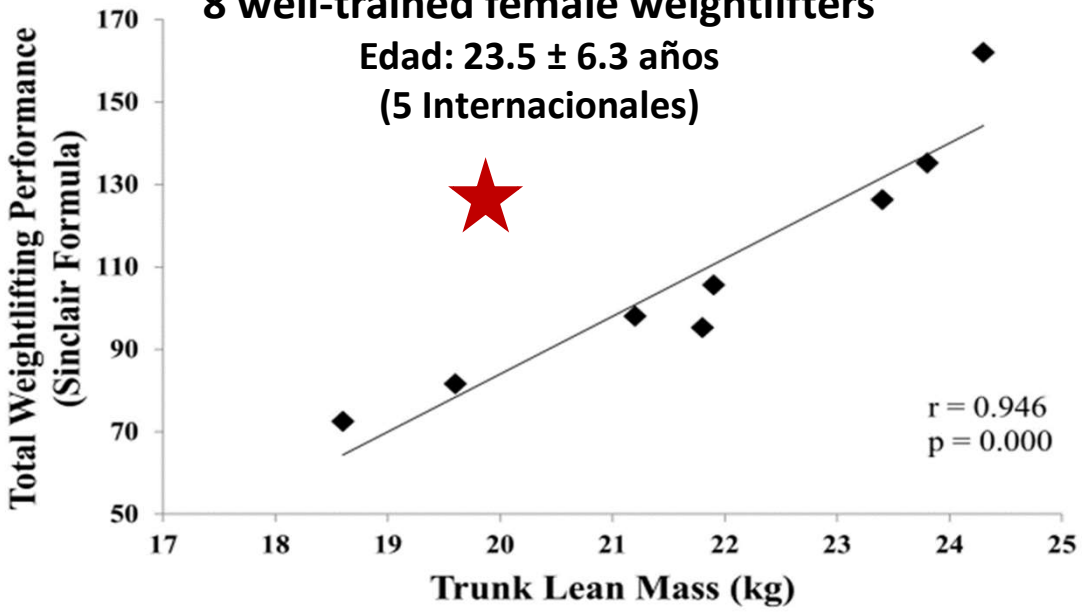
Weightlifting	Total Lean Mass	Legs Lean Mass	Arms Lean Mass	Trunk Lean Mass
Snatch	0.853 #	0.872 #	0.835 # ⇨	0.959 *
Clean and Jerk	0.791 #	0.809 #	0.802 # ⇨	0.929 *
Total	0.823 #	0.841 #	0.820 # ⇨	0.946 *

LBM del Tronco ⇒ Mejor predictor del rendimiento en Halterofilia



Total Lifting = 147.4 ± 34.1 kg
Snatch: 65.9 ± 15.4 kg
Clean & Jerk: 81.5 ± 18.8 kg

8 well-trained female weightlifters
Edad: 23.5 ± 6.3 años
(5 Internacionales)



National and Kapodistrian University of Athens

Lean Body Mass, Muscle Architecture and Powerlifting Performance during Preseason and in Competition

Tromaras, K., Zaras, N., Stasinaki, A. N., Mpampoulis, T. & Terzis, G.
Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 9(2), 89, https://doi.org/10.3390/jfmk9020089. 2024.

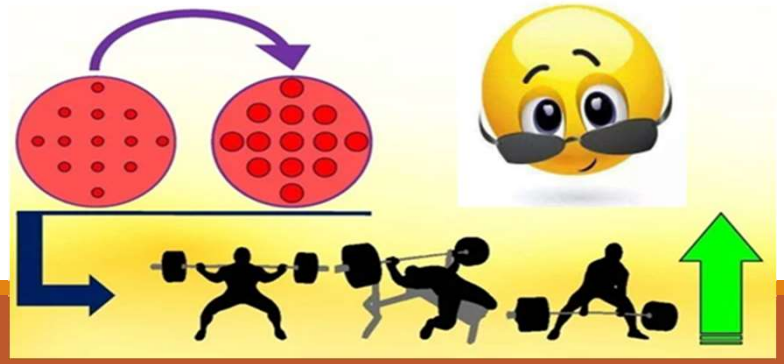
Los cambios en 1-RM después de la intervención de entrenamiento correlacionaron con los cambios en la masa corporal magra total ($p < 0,05$)

Cambios en LBM y rendimiento en Powerlifting que preparan una competición

MUESTRA:

8 Powerlifters ♂(Edad: 31,7±9,8 años; Estatura: 1,77±0,06 m; PC: 99,2±14,6 kg)
3 Powerlifters ♀ (Edad: 32,7±16,3 años, Estatura: 1,54±0,06 m; PC: 66,6±20,9 kg)

	T1	T2	*p*
Performance			
SQ (kg)	198.3 ± 71.5	208.4 ± 73.1	0.003
BP(kg)	126.8 ± 44.7	132.7 ± 47.2	0.050
DL (kg)	221.4 ± 69.3	235.6 ± 68.6	0.030
Total lifts (kg)	546.6 ± 181.8	576.8 ± 184.4	0.008
Handgrip (sum, kg)	102.0 ± 30.7	102.5 ± 33.3	0.840
CMJ power ($W \cdot kg^{-1}$)	39.5 ± 3.4	39.5 ± 3.2	0.928
PP Wingate (W)	910 ± 255	1011 ± 303	0.002



	T1	T2	*p*
Body composition			
Body mass (kg)	90.3 ± 21.6	92.2 ± 22.2	0.036
Fat mass (kg)	20.5 ± 10.1	21.1 ± 11.1	0.530
Fat (%)	23.3 ± 9.4	23.3 ± 9.6	0.950
LBM total (kg)	66.5 ± 16.6	67.9 ± 16.7	0.087
LBM arms (kg)	9.5 ± 3.3	9.7 ± 3.2	0.168
LBM trunk (kg)	31.1 ± 7.4	32.0 ± 7.7	0.049
LBM legs (kg)	22.5 ± 5.8	22.6 ± 5.6	0.619
BMC (kg)	3.251 ± 0.771	3.261 ± 0.760	0.406
BMD ($g \cdot cm^2$)	1.453 ± 0.178	1.455 ± 0.168	0.787
Visceral fat (gr)	421 ± 600	416 ± 652	0.830

MASA MUSCULAR *VS.* FUERZA MUSCULAR

FIBRA MUSCULAR
(MIOCITO ESQUELÉTICO):

Célula Multinucleada (*sincitio* o *sincicio*), de forma alargada, cilíndrica y con capacidad contráctil que constituye el principal componente el Músculo Esquelético

OTROS COMPONENTES

Agua: 60-75%; Proteínas: 18-20%; Resto 5-8% (otras sustancias: ATP, CP, etc.)

Proteínas más abundantes : Miosina, Actina, Tropomiosina y Mioglobina

Constituye entre el 50% y 75% del Contenido Proteico de todo el organismo

¿TODAS IGUAL DE IMPORTANTES?

MASA MUSCULAR

(Factores Determinantes de su Fuerza)

Tipo de Fibra

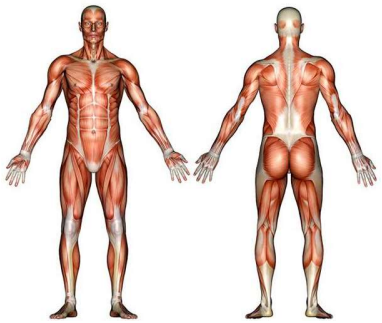
Número de Fibras

Nivel de Hipertrofia

Morfología de las Fibras







MASA MUSCULAR

RENOVACIÓN DEL COMPONENTE MUSCULAR

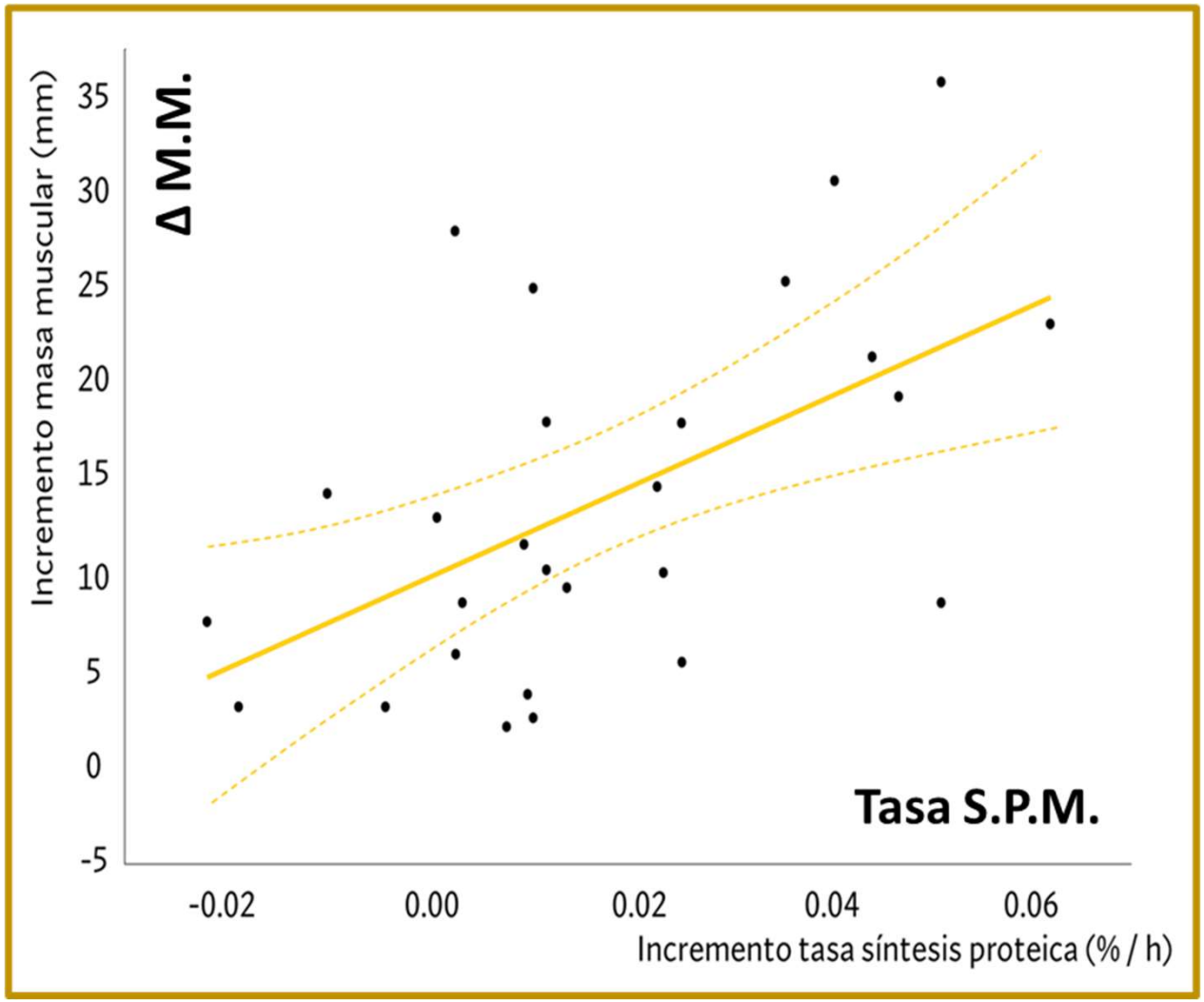
≈ 1%-2% al Día

MASA MUSCULAR DEPENDE DE LA:

TASA DE SÍNTESIS PROTEICA & DEL BALANCE ENTRE:

Síntesis de Proteínas Musculares
(S.P.M.)
vs.
Degradación de Proteínas Musculares
(B.P.M.)

RENOVACIÓN DEL COMPONENTE MUSCULAR



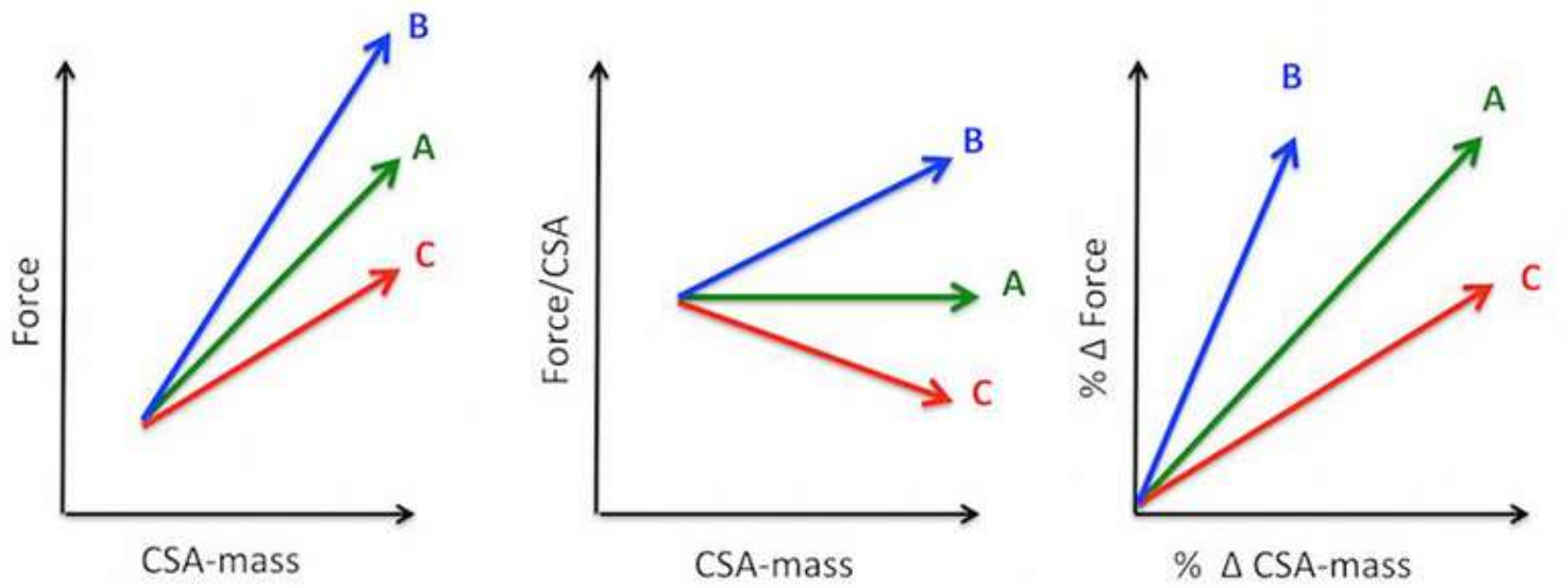
Universidad de Padua

Muscle hypertrophy and muscle strength: dependent or independent variables? A provocative review

Carlo Reggiani & Stefano Schiaffino

European Journal of Translational Myology. 30(3), 9311. doi: 10.4081/ejtm.2020.9311. 2020.

Relaciones entre el aumento del **Tamaño Muscular**, medido como masa o **Área de Sección Transversal** (CSA, por sus siglas en inglés) y el aumento de la **Fuerza Muscular**



A: Fuerza y Tamaño aumentan proporcionalmente: su relación permanece constante

B: Fuerza aumenta más que el Tamaño: su relación aumenta

C: Fuerza aumenta menos que el Tamaño: su relación disminuye.

GHENT UNIVERSITY

Evidence for Simultaneous Muscle Atrophy and Hypertrophy in Response to Resistance Training in Humans

Van Vossel K, Hardeel J, Van der Stede T, Cools T, Vandecauter J, Vanhaeck L, Boone J, Blenker SS, Lievens E. & Derave, W.

Medicine and Science in Sports and Exercise. 56(9), 1634-1643. 2024.



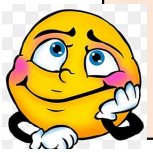
El músculo esquelético humano tiene la capacidad de crecer (**HIPERTROFIARSE**) en respuesta al entrenamiento de la fuerza

sto tiene un alto coste energético y proteico por lo que, presumiblemente, se limite principalmente a los músculos reclutados

AÚN SE DESCONOCE EN GRAN MEDIDA LO QUÉ SUCEDE EN LOS MÚSCULOS NO RECLUTADOS

Los autores plantean que la HIPERTROFIA en los MÚSCULOS RECLUTADOS se produce a expensas de la ATROFIA en los MÚSCULOS NO RECLUTADOS, especialmente cuando la disponibilidad de energía y proteínas es limitada

21 principiantes en Entrenamiento Fuerza
Los sujetos comieron *ad libitum* durante el estudio y la ingesta de energía y proteínas se evaluó mediante diarios autoinformados



Los músculos reclutados aumentaron en volumen (Rango: 2,2% a 17,7%, $p < 0,05$)

Aductor mayor no reclutado (media: -1,5 ± 3,1%, $p = 0,038$) y sóleo (-2,4 ± 2,3%, $p = 0,0004$) disminuyeron en volumen

Normal values for Handgrip Strength in 920 men and Skeletal Muscle Mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 years

Ian Janssen, Steven B. Heymsfield, Zi Mian Wang & Robert Ross
Journal of Applied Physiology, doi.org/10.1152. 2000.

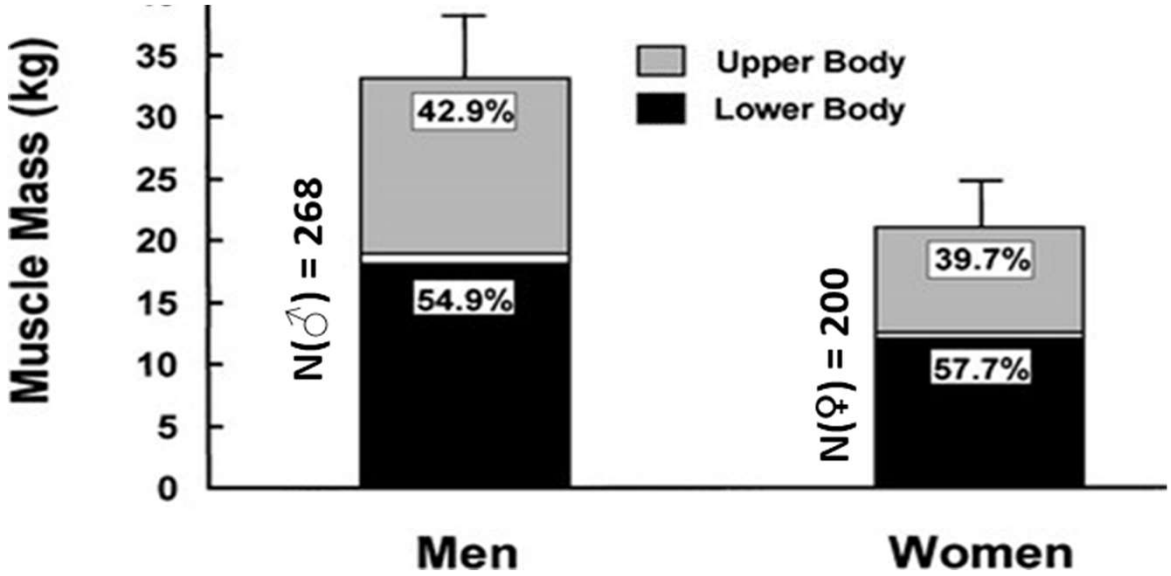
Queen's UNIVERSITY

La relación entre la Masa Muscular y la Fuerza Muscular, depende de la Edad, Sexo y del Nivel y Tipo de Actividad Física

♂ tienen una M.M. significativamente mayor que las ♀

♂: ≈ 35-45% P.C. - ♀: ≈ 30-35% P.C.







Diferencias: mayores en la Parte Superior que en la Parte Inferior del Cuerpo

Independientemente del Género, el Envejecimiento conlleva una pérdida de M.M., lo que se explica, en gran medida, por una disminución importante (ambos sexos) de la M.M. de la Parte Inferior del Cuerpo después de la edad de 50 años

Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 years

Ian Janssen, Steven B. Heymsfield, Zi Mian Wang & Robert Ross

Journal Applied of Physiology, 89, 81–88. 2000.



Muestra: Hombres Adultos Sanos (n = 268) que habían participado en estudios de composición corporal en Queen's University (Kingston) y St. Luke's/Roosevelt Hospital (Nueva York)

HOMBRES (N = 268)							
EDAD (años)	**Nº**	**P.C. (Kg)**	**Altura (cm)**	**M.M. (Total-Kg)**	**M.M. Relativo - %**	**M.M. PRN (kg)**	**M.M. Brazos (kg)**
18-19 a.	66	79,9 ± 15,4	178 ± 7	33,7 ± 5,8	**42,3** ± 4,4	18,5 ± 3,3	14,3 ± 2,9
30-39 a.	77	89,0 ± 17,0	176 ± 7	34,0 ± 4,7	**39,1** ± 5,0	18,7 ± 3,0	14,7 ± 2,2
40-49 a.	64	90,9 ± 16,6	177 ± 7	33,5 ± 5,5	**37,1** ± 4,0	18,3 ± 3,0	14,1 ± 3,0
50-59 a.	36	90,0 ± 14,0	176 ± 6	31,4 ± 4,8	**35,1** ± 3,4	17,3 ± 2,7	13,5 ± 2,5
60-69 a.	14	90,1 ± 11,5	177 ± 5	30,2 ± 3,1	**33,8** ± 3,9	16,7 ± 2,2	12,8 ± 1,6
> 70 a.	11	78,8 ± 12,1	173 ± 8	27,8 ± 3,4	**36,0** ± 7,3	13,8 ± 2,9	13,5 ± 2,8
Rango					**36-43 %**	**Dif: ≈26%**	**Dif: 13%**

MM: skeletal muscle; Relative MM = Body Mass/MM mass

Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 years

Ian Janssen, Steven B. Heymsfield, Zi Mian Wang & Robert Ross

Journal Applied of Physiology, 89, 81–88. 2000.



Muestra: Mujeres Adultas Sanas (n = 200) que habían participado en estudios de composición corporal en Queen's University (Kingston) y St. Luke's/Roosevelt Hospital (Nueva York)

MUJERES (N = 200)							
EDAD (años)	**Nº**	**P.C. (Kg)**	**Altura (cm)**	**M.M. (Total-Kg)**	**M.M. Relativo - %**	**M.M. PRN (kg)**	**M.M. Brazos (kg)**
18-19 a.	40	65,0 ± 16,8	164 ± 6	21,8 ± 4,6	**34,1** ± 5,7	12,5 ± 2,6	8,7 ± 2,6
30-39 a.	63	73,6 ± 21,3	165 ± 7	21,6 ± 3,7	**30,6** ± 5,6	12,7 ± 2,5	8,5 ± 1,5
40-49 a.	46	75,6 ± 7,1	162 ± 7	21,4 ± 3,4	**29,2** ± 5,0	12,7 ± 2,1	8,4 ± 1,3
50-59 a.	21	72,7 ± 17,1	165 ± 8	20,9 ± 3,4	**29,1** ± 4,4	12,0 ± 2,0	8,3 ± 1,5
60-69 a.	11	69,7 ± 16,8	162 ± 8	18,4 ± 2,2	**27,3** ± 4,6	10,5 ± 1,9	7,5 ± 1,5
> 70 a.	19	60,8 ± 18,2	157 ± 6	18,0 ± 2,5	**30,2 ± 4,7**	9,7 ± 2,0	7,7 ± 2,1
Rango					**29-34 %**	**Dif: ≈ 24%**	**Dif: ≈14%**

MM: skeletal muscle; Relative MM = Body Mass/MM mass

Anthropometric dimensions of male powerlifters of varying body mass

Keogh, J. W., Hume, P. A., Pearson, S. N. & Mellow, P.

Journal of Sports Sciences, 25(12), 1365-1376. 2007.

PARÁMETRO	LIGEROS (n = 9)	MEDIOS (n = 30)	PESADOS (n = 15)
Peso Corporal (kg)	**68,9 kg** ± 7,9	**87,7 kg** ± 6,9	**121,9 kg** ± 17,2
Masa Muscular (kg)	**33,3 kg** ± 4,1	**39,0 kg** ± 4,2	**48,2 kg** ± 5,1
Masa Muscular (%)	**48,3 %**	**44,5 %**	**39,5 %**
Squat – BP – Deadlift (kg)	**179** ± 49 / **116** ± 28 / **199** ± 39	**209** ± 52 / **143** ± 37 / **230** ± 35	**264** ± 36 / **180** ± 28 / **259** ± 27



MUESTRA

IPF World Championships (n = 6)

IPF Oceania Championships (n = 35)

New Zealand National Championships (n = 10)

New Zealand Regional Championships (n = 3)

Relationship between lifting performance and skeletal muscle mass in elite powerlifters

Ye X, Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Thiebaud RS, Kim D, Bemben MG. & Abe T.

The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 53(4), 409-414. 2013.

Masa Muscular ⇒ Buen predictor del Rendimiento

POWERLIFTING

Todas las Categorías de Peso Corporal

20 Powerlifters Élite (4 Campeonatos del Mundo)

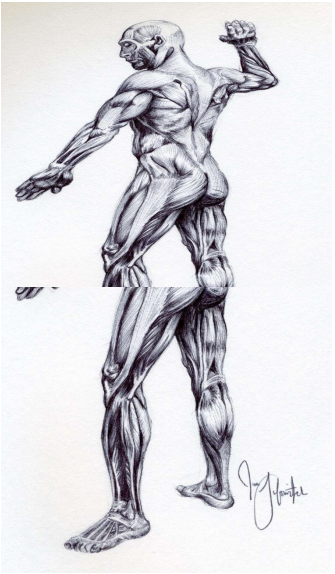
UNIVERSITY OF HARTFORD

IPF

Observaron fuertes correlaciones (P <0.01) entre **Masa Muscular Absoluta** ***vs*. Rendimiento**:

- **SQ *vs*. M.M. r= 0.93**
- **BP *vs*. M.M. r = 0.88**
- **DL *vs*. M.M. r = 0,84**





VALORES NORMALIZADOS DE FFM & MM

(Entendiendo la importancia del Tamaño)

Sujetos Altos y Bajos con Composición Corporal similar, tienen una relación con la Fuerza parecida pero no idéntica

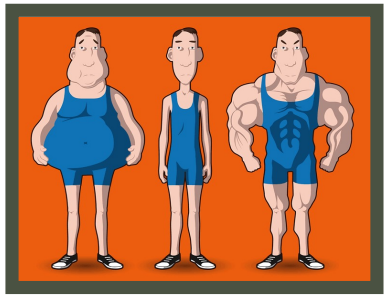
ÍNDICE DE MASA LIBRE DE GRASA & ÍNDICE DE MASA MUSCULAR

IFFM - IMM

FFM Index (IFFM)

=

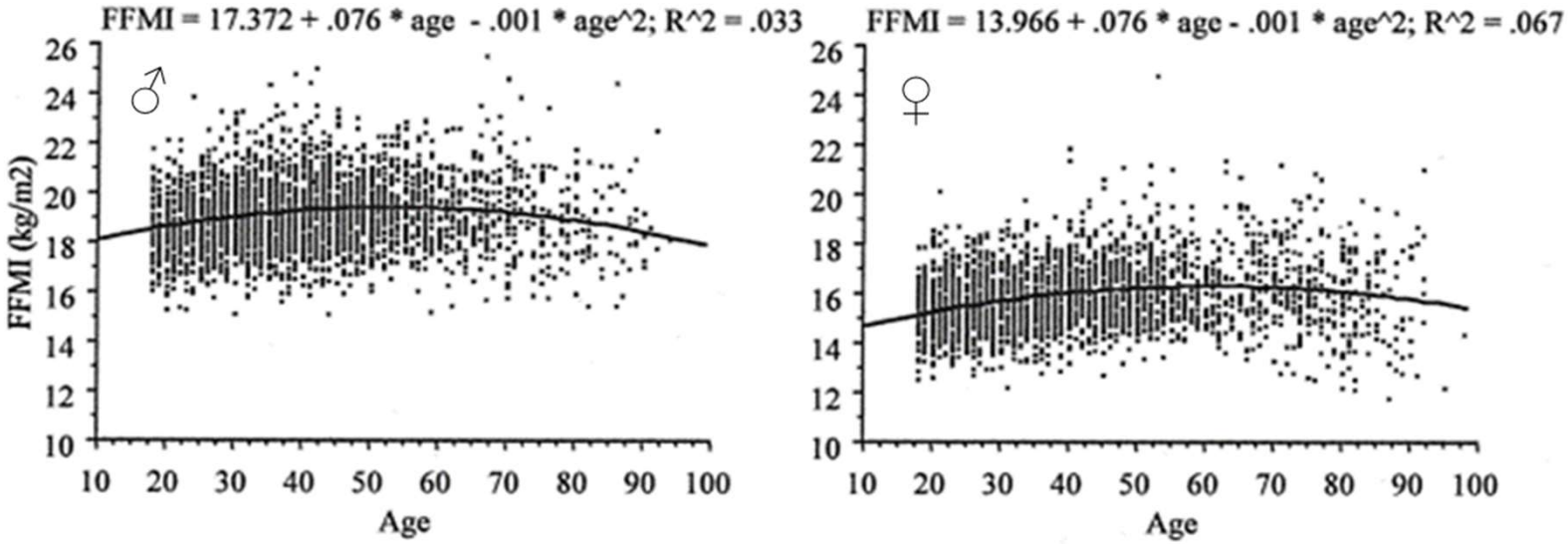
FFM (kg)/ESTATURA^2 (m^2)



MM Index (IMM)

=

MM (kg)/ESTATURA^2 (m^2)

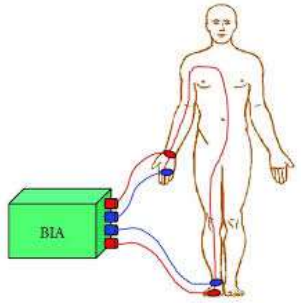


Stratification of fat-free mass index percentiles for body composition based on NHANES III bioelectric impedance data

Kudsk, K. A., Munoz-del-Rio, A., Busch, R. A., Kight, C. E. & Schoeller, D. A. JPEN. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition, 41(2), 249-257. 2017.

MUESTRA

16.000 Personas



FAT-FREE MASS INDEX (IFFM)

PERCENTIL	♂	♀	PERCENTIL	♂	♀
10%	16.81	14.44	60%	19.63	16.29
20%	17.57	14.91	70%	20.10	16.63
30%	18.17	15.29	80%	20.65	17.11
40%	18.67	15.62	90%	21.43	17.66
50%	**19.16**	**15.96**	**99%**	**23.49**	**19.02**

Datos de análisis de **Impedancia Bioeléctrica** obtenidos de las **Encuestas Nacionales de Examen de Salud y Nutrición (NHANES)**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Fat-free mass and fat mass reference values by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) in a 20–80 year-old Italian population

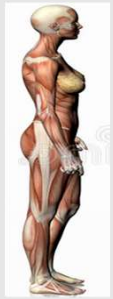
Coin A, Sergi G, Minicuci N, Giannini S, Barbiero E, Manzato E, Pedrazzoni M, Minisola S, Rossini M, del Puente A, Zamboni M, Inelmen EM, Enzi G

Clinical Nutrition, *27*(1), 87-94. 2008.

IFFM

Age group (years)	*n*	FFMI percentiles						
	1.866	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th
Men ♂								
20–80	431	17.0	17.6	18.7	19.8	21.0	22.5	23.7
20–29	89	17.0	17.7	18.6	19.3	21.0	22.0	22.5
30–39	39	16.2	16.4	18.7	19.7	20.6	24.1	24.3
40–49	34	17.1	17.8	18.8	19.9	20.7	22.1	23.6
50–59	81	17.7	17.9	19.3	20.3	21.5	22.7	23.0
60–69	110	17.4	17.8	18.8	20.3	21.2	23.0	23.7
70–80	78	17.0	17.3	18.6	19.1	20.8	21.5	22.6
Women ♀								
20–80	1435	13.6	14.0	14.9	15.9	17.2	18.6	19.4
20–29	105	13.2	13.8	14.2	15.1	15.8	16.8	17.0
30–39	54	13.7	13.9	14.7	15.8	17.0	18.4	19.2
40–49	173	13.3	13.9	15.0	15.7	16.9	18.8	19.4
50–59	460	14.1	14.6	15.5	16.5	17.7	18.9	19.7
60–69	376	14.1	14.6	15.5	16.7	18.1	19.3	20.0
70–80	267	13.4	14.0	14.8	16.0	17.0	18.4	18.9





19-21

22-25

15-17

18-20

LINDENWOOD UNIVERSITY

Upper and lower thresholds of fat-free mass index in a large cohort of female collegiate athletes

Harty PS, Zabriskie HA, Stecker RA, Currier BS, Moon JM, Jagim AR. & Kerksick CM. Journal of Sports Sciences, 37(20), 2381-2388. 2019.

DEPORTE	N	IFFM	RANGO
Cross Country	11	16.56 ± 1.14	14.71–18.58
Gymnastics	35	18.62 ± 1.12	16.16–20.84
Dance	2	17.86 ± 1.17	17.03–18.68
Swim & Dive	31	18.16 ± 1.67	15.86–22.77
Synchronized Swimming	29	17.27 ± 1.47	15.07–20.68
Wrestling	19	19.15 ± 2.47	15.04–24.45
Olympic Weightlifting	15	19.69 ± 1.98	17.19–23.84
Track & Field	22	18.98 ± 2.50	15.27–24.38
Basketball	20	18.64 ± 1.87	15.96–22.37
Ice Hockey	16	17.96 ± 1.04	16.22–19.76
Lacrosse	40	18.58 ± 1.84	15.94–26.35
Rugby	99	20.09 ± 2.23	15.73–27.20
Volleyball	20	18.04 ± 1.13	15.35–20.72
Water Polo	13	18.35 ± 1.92	14.85–22.85

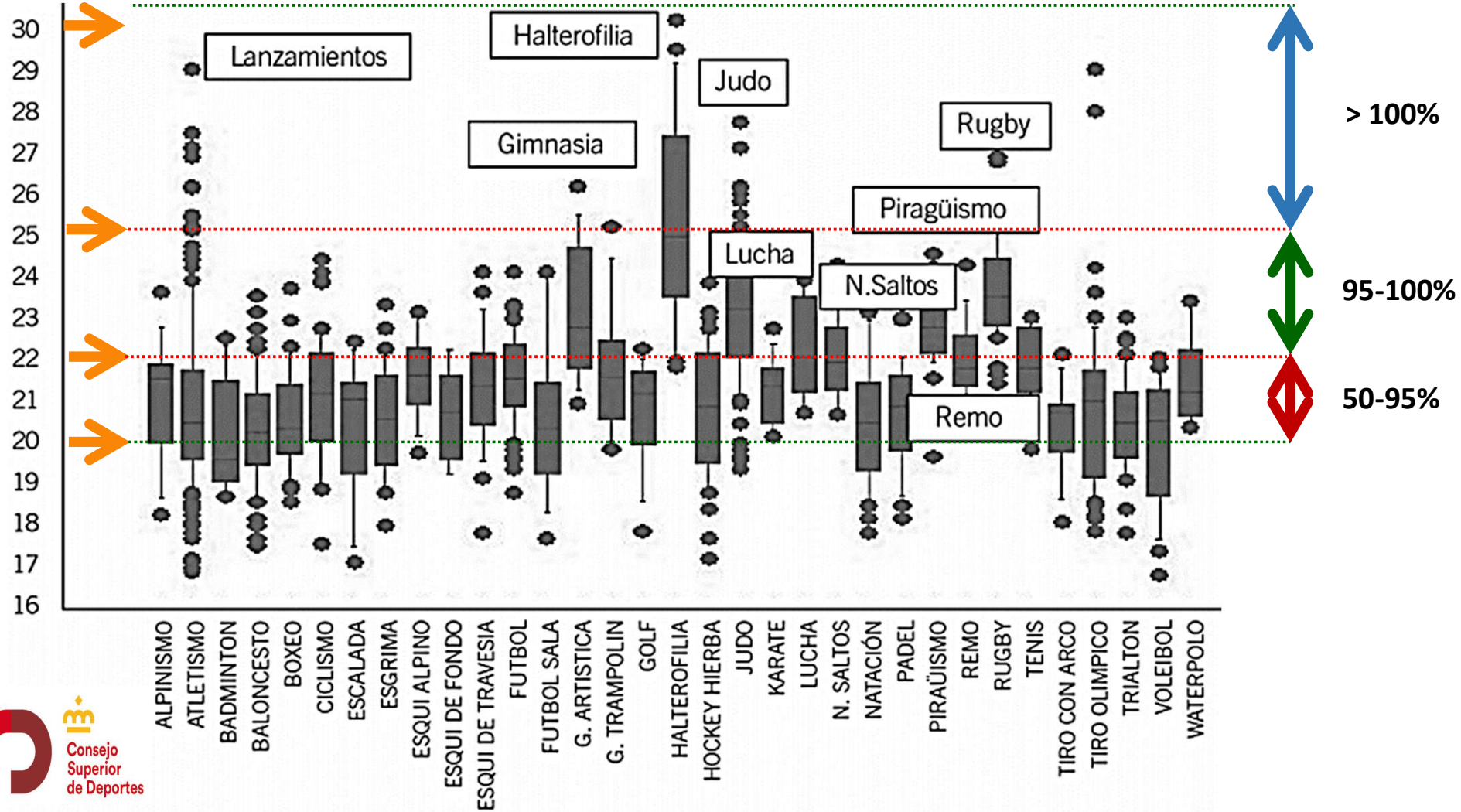
ÍNDICE DE MASA LIBRE DE GRASA (IMMLG) - PROMEDIO EN DEPORTISTAS

Análisis Valoración y Monitorización del Entrenamiento de Alto Rendimiento Deportivo

Gutiérrez F, Canta A, Heras ME, Boraita A, Rabadán M, Lillo P, González M, López-Illescas A, Enrique A, Palación N & Montalvo Z.

Centro de Medicina del Consejo Superior de Deportes

IFFM = [PC – Grasa]/Estatura^2 (metros)



Consejo Superior de Deportes

Anthropometric dimensions of male powerlifters of varying body mass

Keogh, J. W., Hume, P. A., Pearson, S. N. & Mellow, P.

Journal of Sports Sciences, 25(12), 1365-1376. 2007.

VARIABLES	PESOS LIGEROS	PESOS MEDIOS	PESOS PESADOS
Squat (kg)	179 ± 49	209 ± 52	264 ± 36
Press Banca (kg)	116 ± 29	143 ± 37	180 ± 28
Peso Muerto (kg)	199 ± 39	230 ± 35	259 ± 27
Estatura (cm)	163.0 ± 7.2	174.7 ± 4.9	174.7 ± 9.6
Peso Corporal (kg)	68.9 ± 7.9	87.7 ± 6.9	121.9 ± 17.2
Masa Muscular (%)	48.1 ± 3.2	48.2 ± 2.2	45.8 ± 2.4
Masa Muscular (kg)	33.0 ± 4.1	39.0 ± 4.2	48.2 ± 5.1
FFM (kg)	62.1	78.7	104.2
IFFM	**25.9**	**28.7**	**39.9**
Grasa Corporal (%)	9.8 ± 3.2	10.1 ± 1.9	14.5 ± 3.0



Hierarchical differences in body composition of professional Sumo wrestler

Hattori K, Kondo M, Abe T, Tanaka S & Fukunaga T. (Ibaraki University)

Annals of Human Biology, 26(2), 179-184. 1999.

茨城大学 Ibaraki University

- **Sekitori División** muestra **FFMI scores** significativamente mayor que las divisiones inferiores.
- **Las ganancias de P.C. entre principiantes y campeones se debe principalmente a un aumento del Tejido Magro**, **particularmente en el Volumen Muscular** y no tanto en el **Tejido Graso** que tiende a mantenerse estable.
- **Punto de corte de** que diferencia a luchadores **Sekitori** de otros es **≈30 kg/m²**.

Parámetro/Grupo	Sekitori (7)	Makushita (12)	Sandanme (12)	Shindeshi (5)
Estatura	180,1 ± 6,1	178,8 ± 5,8	179,4 ± 4,4	177,3 ± 5,3
Peso Corporal	154,2 ± 24,9	105,7 ± 17,5	109,3 ± 18,2	177,3 ± 5,3
Grasa %	28,6 ± 5,1	22,2 ± 5,4	28,2 ± 4,2	27,4 ± 11,3
Fat Free Mass (kg)	**109 ± 10,7**	**81,7 ± 11,3**	**78,0 ± 9,2**	**78,3 ± 8,4**
IFFM (kg/m²)	**33,6 ± 2,7**	**25,5 ± 2,7**	**24,3 ± 3,1**	**25,0 ± 3,6**



ÍNDICE MASA LIBRE DE GRASA (IFFM) EN CULTURISTAS





CULTURISTA	IFFM	H	PC	CULTURISTA	IFFM	H	PC
Dorian Yates	36,40	177	120,66	Ken Wheeler	31,74	177	105,23
Nasser El Sonbaty	35,72	180	122,74	Franco Columbu	31,30	163	83,16
Larry Scott	35,14	170	107,48	Kevin Levrone	30,96	180	100,30
Victor Martínez	34,87	175	113,00	Shawn Ray	30,58	174	97,98
Sergio Oliva	34,73	178	116,44	Arnol Schwarzeneger	30,33	183	107,50
Roy Coleman	33,87	180	116,12	Samir Bannout	28,73	177	95,25
Lee Haney	33,66	177	111,58	Chis Dickerson	26,90	174	86,18
Dexter Jackson	33,11	168	98,88	Frank Zane	26,03	175	84,37

Muscle mass index estimated by anthropometry vs bioelectrical impedance: Study in athletes competing by weight categories

Alicia S. Canda-Moreno

Apunts Sports Medicine, 56(211), 100360. 2021.

AEPSAD
AGENCIA ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN DE LA SALUD EN EL DEPORTE

PARÁMETRO	MUJERES (♀)	HOMBRES (♂)	P-Value
M.M. (kg)	**24,25** ± 3,11	**34,08** ± 3,11	0,000
I.M.M. (kg/m^2)	**9,01** ± 3,11	**11, 17** ± 3,11	0,000

MUESTRA: 109 deportistas (42 ♀ y 67 ♂)

Edad: 21.4 ± 3.5 Años

Boxeo (32), **Halterofilia (16)**, Judo (28), karate (12), Lucha (14) y Taekwondo (7)

Todos Competían a Nivel Internacional o Nacional

Años de Práctica: 9.7 ± 4.9 años

Volumen de Entrenamiento: 5.5 ± 0.7 días/semana - 3.3 ± 0.9 horas/día

Anthropometric dimensions of male powerlifters of varying body mass

Keogh, J. W., Hume, P. A., Pearson, S. N. & Mellow, P.

Journal of Sports Sciences, 25(12), 1365-1376. 2007.



VARIABLES	PESOS LIGEROS	PESOS MEDIOS	PESOS PESADOS
Squat (kg)	179 ± 49	209 ± 52	264 ± 36
Press Banca (kg)	116 ± 29	143 ± 37	180 ± 28
Peso Muerto (kg)	199 ± 39	230 ± 35	259 ± 27
Estatura (cm)	163.0 ± 7.2	174.7 ± 4.9	174.7 ± 9.6
Peso Corporal (kg)	68.9 ± 7.9	87.7 ± 6.9	121.9 ± 17.2
Masa Muscular (%)	48.1 ± 3.2	48.2 ± 2.2	45.8 ± 2.4
Masa Muscular (kg)	33.0 ± 4.1	39.0 ± 4.2	48.2 ± 5.1
IMM	**12.4**	**12.8**	**15.8**
FFM (kg)	62.1	78.7	104.2
Grasa Corporal (%)	9.8 ± 3.2	10.1 ± 1.9	14.5 ± 3.0

Relationship between lifting performance and skeletal muscle mass in elite powerlifters

Ye X, Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Thiebaud RS, Kim D, Bemben MG. & Abe T.

The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 53(4), 409-414. 2013.

Masa Muscular ⇒ Buen predictor del Rendimiento

POWERLIFTING

Todas las Categorías de Peso Corporal

20 Powerlifters Élite (4 Campeonatos del Mundo)

Observaron fuertes correlaciones (P <0.01) entre

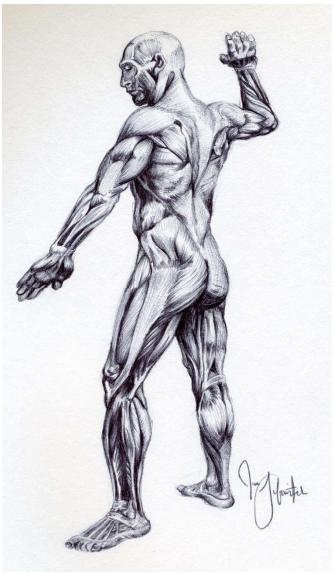
Masa Muscular Relativa

(IMM=MM/H^2) *vs*.

Rendimiento en Powerlifting:

- **SQ *vs*. IMM - r = 0.94**
- **BP *vs*. IMM - r = 0.87**
- **DL *vs*. IMM - r = 0,85**





INCIDENCIA DE LA MASA MUSCULAR EN EL RENDIMIENTO DEPORTIVO





VALORES MÁXIMOS

Masa Libre de Grasa (FFM), IFFM & IMM en Humanos

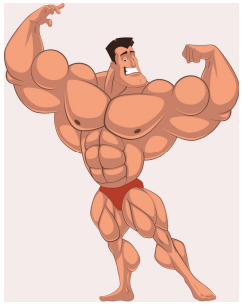
FFM: (H) 100-110 kg / (M) 60-70 kg





IFFM - Máximo: 30-35

IMM - Máximo: 15-17





¿Seguro?

¿También en los Deportes de Fuerza?

Skeletal muscle mass in human athletes: What is the upper limit?

Abe T, Buckner SL, Dankel SJ, Jessee MB, Mattocks KT, Mouser JG. & Loenneke JP.

American Journal of Human Biology, 30(3), e23102. 2018.

MUESTRA:

95 ♂ Musculosos (GE) y 48 ♂ Moderadamente Activos (GC)

RESULTADOS

- **10 Atletas >100 kg de FFM (FFM_{max}: 120.7 kg)**
- **7 Atletas >50 kg de M.M. (MM_{max}: 55.1 kg)**
- **IFFM más elevado en Musculosos (GE) que en el GC:**

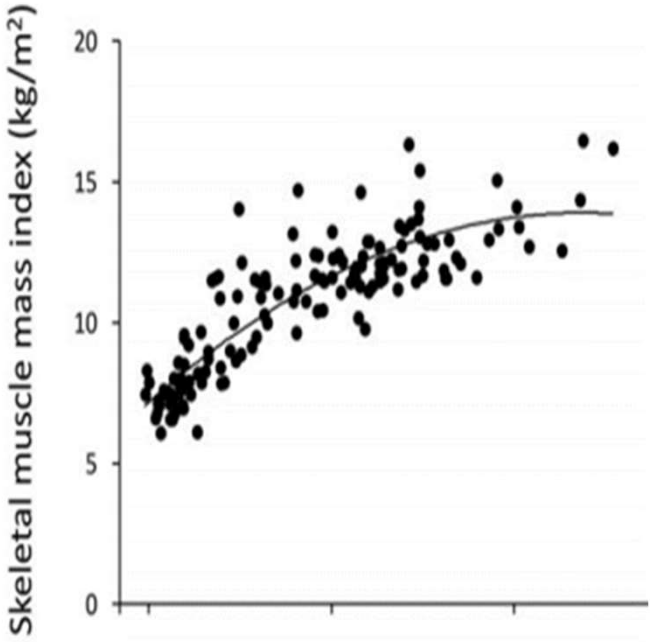
IFFM aumentó hasta 90 kg de P.C. (≈28 kg/m²)

Posteriormente se estabiliza pese a aumentar el P.C. (P.C.: 129 kg)

Límite superior IFFM = ≈ 34 kg/m²

- **IMM se comporta forma similar**

Límite superior IMM = ≈ 17 kg/m²-P.C.>120 kg)



CONCLUSIONES:

IMM: ≈17 kg/m² PUEDE SERVIR COMO LÍMITE SUPERIOR EN HUMANOS

IFFM: ≈34 kg/m² PUEDE SERVIR COMO LÍMITE SUPERIOR EN HUMANOS

Skeletal Muscle Mass and Architecture of the World's Strongest Raw Powerlifter: A Case Study

Abe T, Buckner SL, Mattocks KT, Jessee MB, Dankel SJ,. Mouser JG, Bell ZW & Loenneke JP.

Asian Journal Sports Medicine, doi: 10.5812/asjsm.61763. 2018.

Estatura: 1.84 m

P.C.: 183,1 kg

BMI: 54.1 kg/m^2

% Graso: 24.3 (Ultrasonido)

SUMNER BLAINE



FFM: 138.6 kg

IFFM: 54,08 kg/m^2

M.M.: 58,0 kg

IMM: 17.2 kg/m^2

- **Press Banca**: 242,5 kg
- **Squat:** 477,5 kg
- **Peso Muerto:** 392,5 kg

Total: 1105 kg

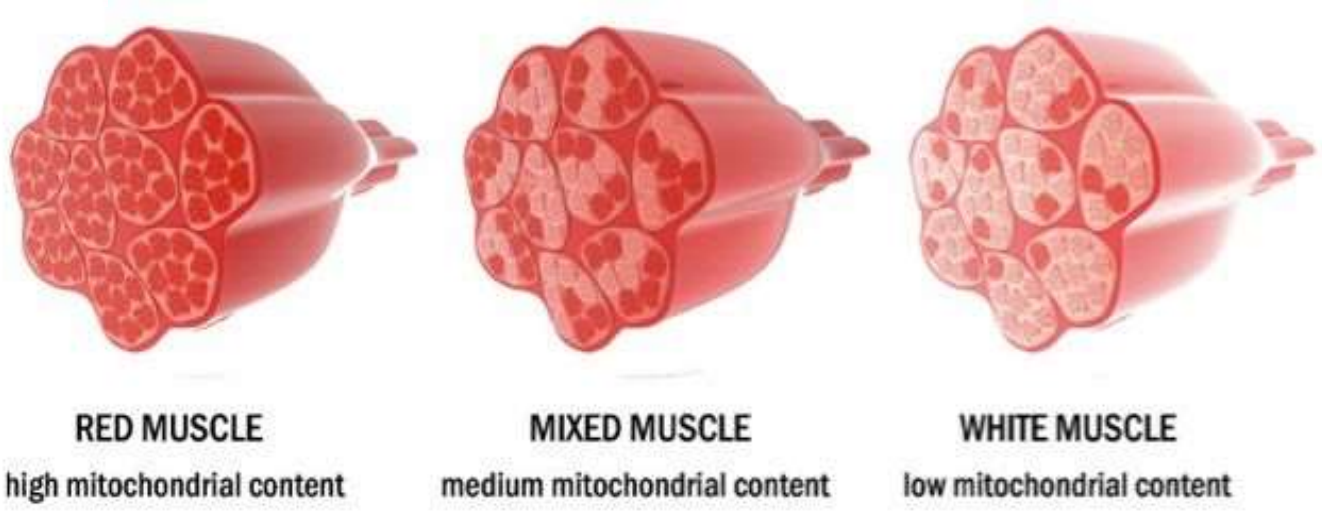
CAMPEÓN IPF

2016 y 2019

LOS DIFERENTES TIPOS DE FIBRA SE CLASIFICAN DE ACUERDO A DIFERENTES CRITERIOS:



- Diferencias Moleculares
- Propiedades Metabólicas
- Características Estructurales
- Propiedades Contráctiles



SEGÚN EL TIPO DE FIBRA DOMINANTE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MÚSCULO CAMBIAN

MODIFICANDO SU RESPUESTA MECÁNICA

CLASIFICACIÓN DE LA FIBRA MUSCULAR

Human skeletal muscle fiber type classifications
Scott, W., Stevens, J. & Binder–Macleod, S. A.
Physical therapy, 81(11), 1810-1816. 2001.

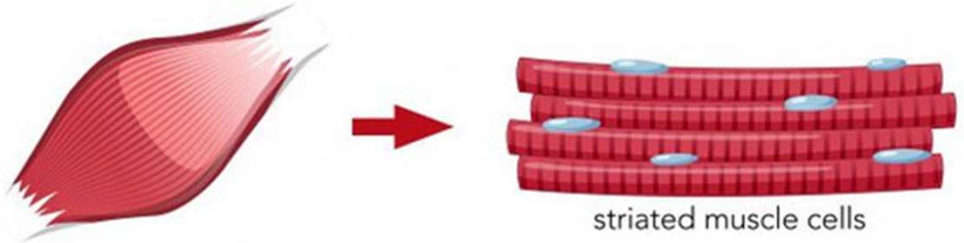
Taxonomía I	Taxonomía II	Taxonomía III
Tinción de Miosina ATPasa	Identificación de la Cadena Pesada de Miosina	Tipificación Histoquímica Miosina ATPasa

I ⟷ MHCI ⟷ SO

IC

IIC

IIAC



IIA ⟷ MHCIIa ? ⟷ ? FOG

IIAB

IIB ⟷ MHCIIx/d(IIb) ? ⟷ ? FG

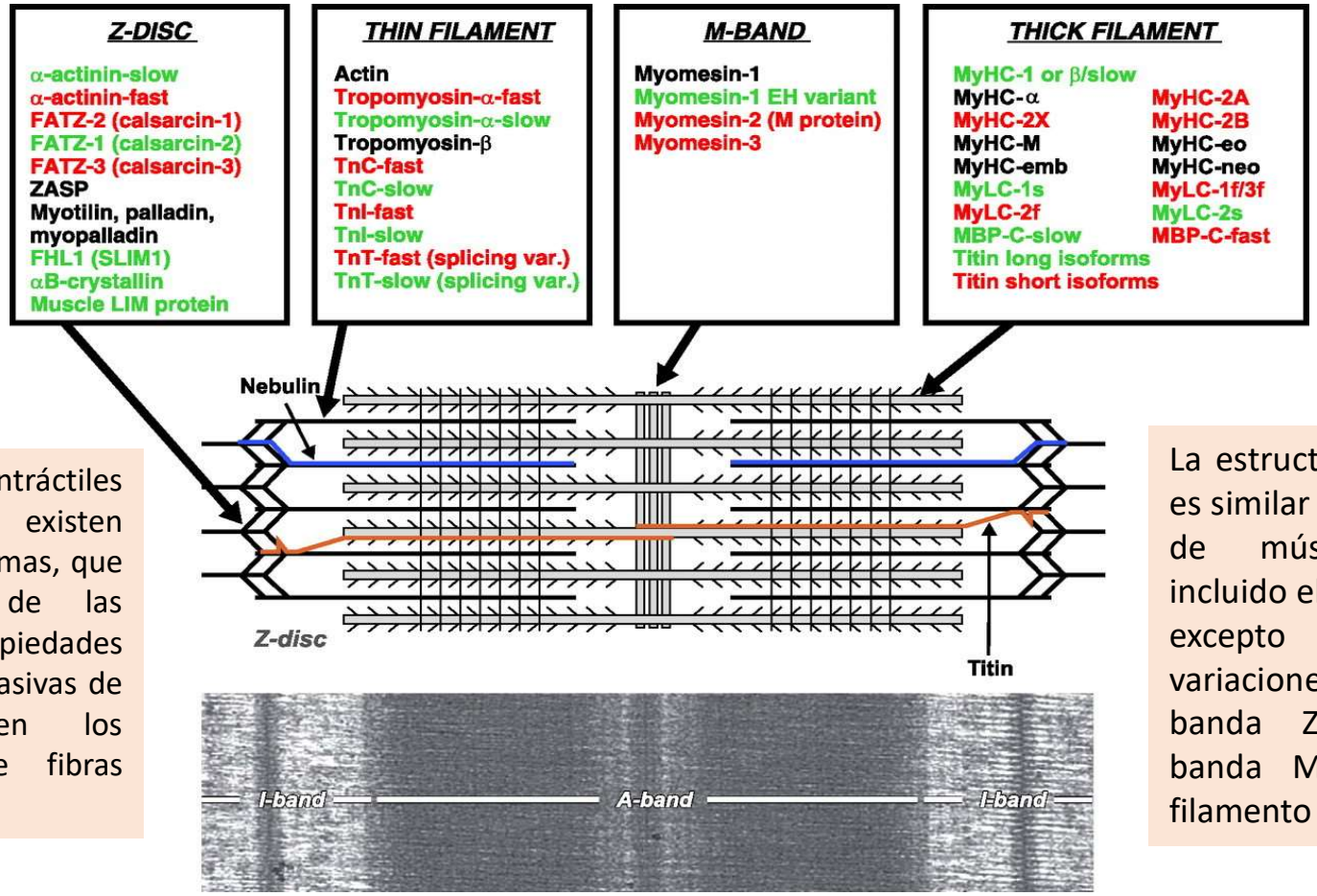
VENETO INSTITUTE MOLECULAR MEDICINE

Fiber types in mammalian skeletal muscles

Stefano Schiaffino & Carlo Reggiani

Physiological Reviews, 91(4), 1447-1531. 2011.

Componentes principales del sarcómero del músculo estriado (superior) y micrografía electrónica que muestra la apariencia del sarcómero en sección longitudinal (inferior)

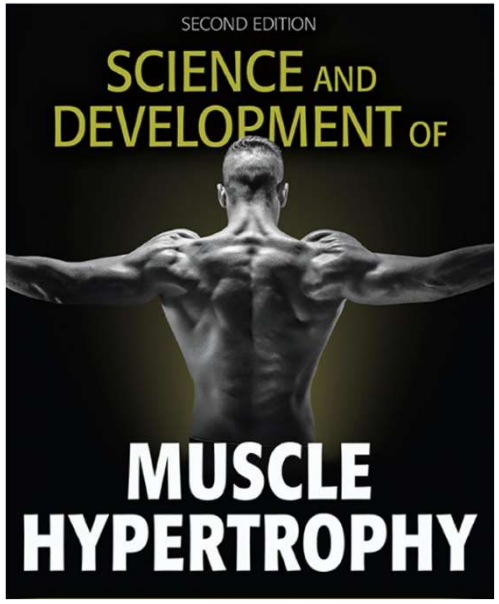


Muchas proteínas contráctiles y citoesqueléticas existen como múltiples isoformas, que son responsables de las variaciones en las propiedades mecánicas activas y pasivas de las miofibrillas en los diferentes tipos de fibras musculares

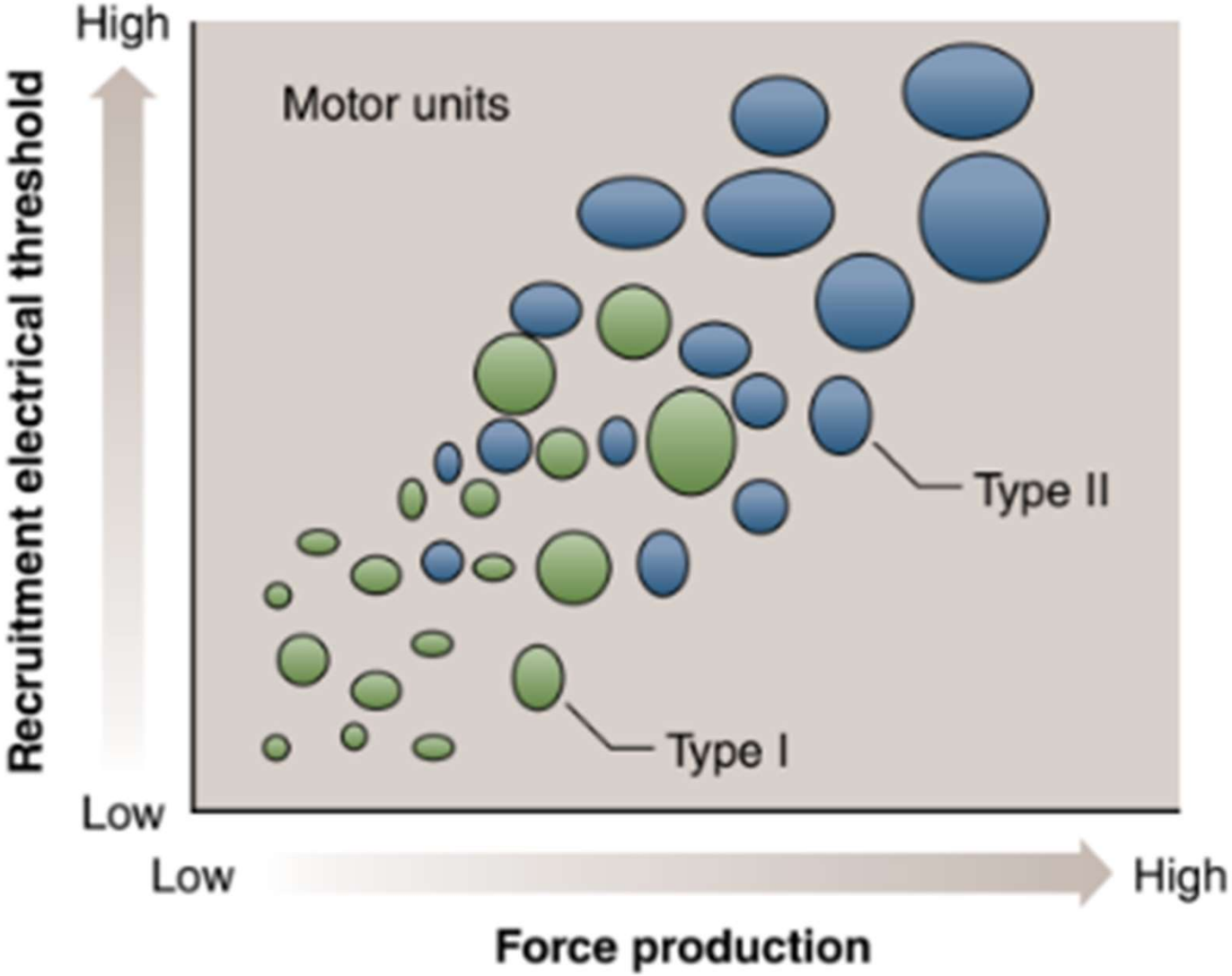
La estructura del sarcómero es similar en diferentes tipos de músculos estriados, incluido el músculo cardíaco, excepto por pequeñas variaciones, como: grosor de banda Z, estructura de banda M y longitud del filamento de actina

Isoformas con distribución diferencial en las ST (verde) y FT (rojo)

Science and development of muscle hypertrophy
Brad J. Schoenfeld
Human Kinetics. Champaign IL. 2020.



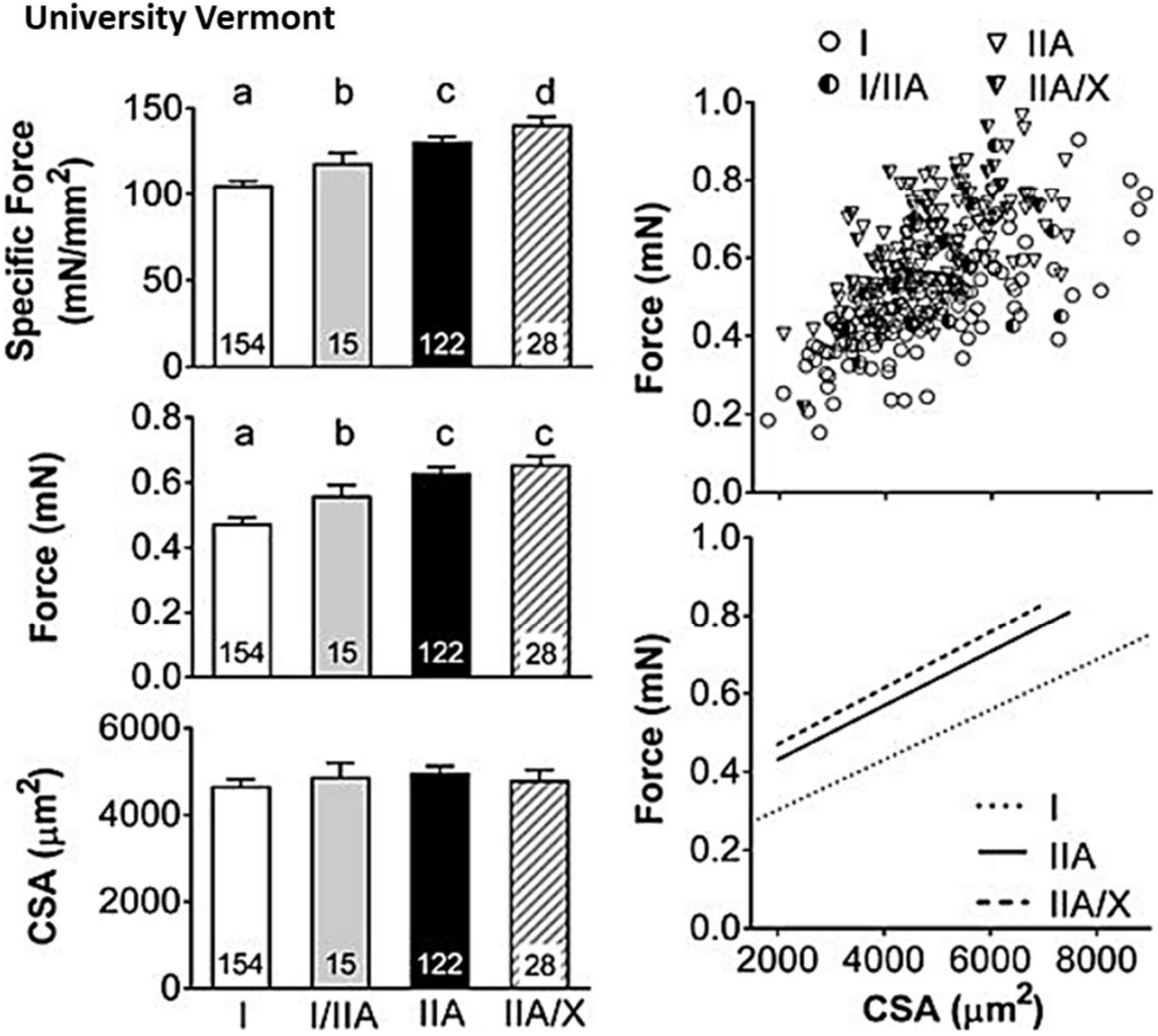
LEY DE HENNEMAN



Molecular determinants of force production in human skeletal muscle fibers: effects of myosin isoform expression and cross-sectional area

Miller, M. S., Bedrin, N. G., Ades, P. A., Palmer, B. M., & Toth, M. J.
American Journal of Physiology-Cell Physiology, 308(6), C473-C484. 2015.

University Vermont



El rendimiento contráctil del músculo esquelético está determinado por las propiedades de las fibras que lo componen, que a su vez están determinadas por las interacciones moleculares de las proteínas que conforman sus miofilamentos.

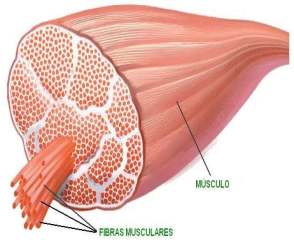
Las fibras que contienen solo isoformas MHC II (IIA y IIA/X) producen más fuerza que aquellas que contienen las isoformas MHC I

UNIVERSITY OF TORONTO

A physiological model for the evaluation of muscular forces in human locomotion: theoretical aspects

Michael Raymond Pierrynowski & James Barbour Morrison

Mathematical Biosciences, *75*(1), 69-101. 1985.



Músculo - %	I (ST)	IIa (FTa)	IIx (FTb)	Músculo - %	I (ST)	IIa (FTa)	IIx (FTb)
Glúteo Mayor	50	20	30	Psoas Ilíaco	50	-	50
Glúteo Mediano y Menor	50	20	30	Pectíneo	45	15	40
Vasto Intermedio Cuádriceps	50	15	35	Psoas	50	20	30
Vasto Interno Cuádriceps	50	15	35	Semimembranoso	50	15	35
Vasto Externo cuádriceps	45	20	35	Semitendinoso	50	15	35
Recto Anterior Cuádriceps	45	15	40	Bíceps Femoral	65	10	25
Gemelos	50	20	30	Tensor Fascia Lata	70	10	20
Soleo	75	15	10	Tibial Anterior	70	10	20

Chris Beardsley

Strength and Condition in Gresearch.com



ESTUDIO	Glúteo	Isquios	Gemelos	Sóleo	Recto F.	Vasto L.	Vasto M.	Vasto I.
Dahmane 2005	-	44-54%	63-75%	80-96%	-	-	-	-
Dajhmane 2006	-	51 %	70%	90%	-	-	-	-
Jennekes 1971	-	-	-	-	50%	-	-	-
Johnson 1973	52%	67%	44-51%	89%	30-43%	-	44-62%	-
Garret 1984	-	55%	-	-	42%	-	51%	46%
Gouzi 2013	-	-	-	-	-	50%	-	-
Edgerton 1975	-	-	50%	70%	-	-	-	47%
Travnik 1995	-	-	-	-	-	-	60-65%	-
Pierrynowski 1985	-	50%	-	-	-	-	-	-
Keh-Evans 2010	-	-	67%	-	-	-	-	-
Sirca 1980	60%	-	-	-	-	--	-	-

DALHOUSIE UNIVERSITY

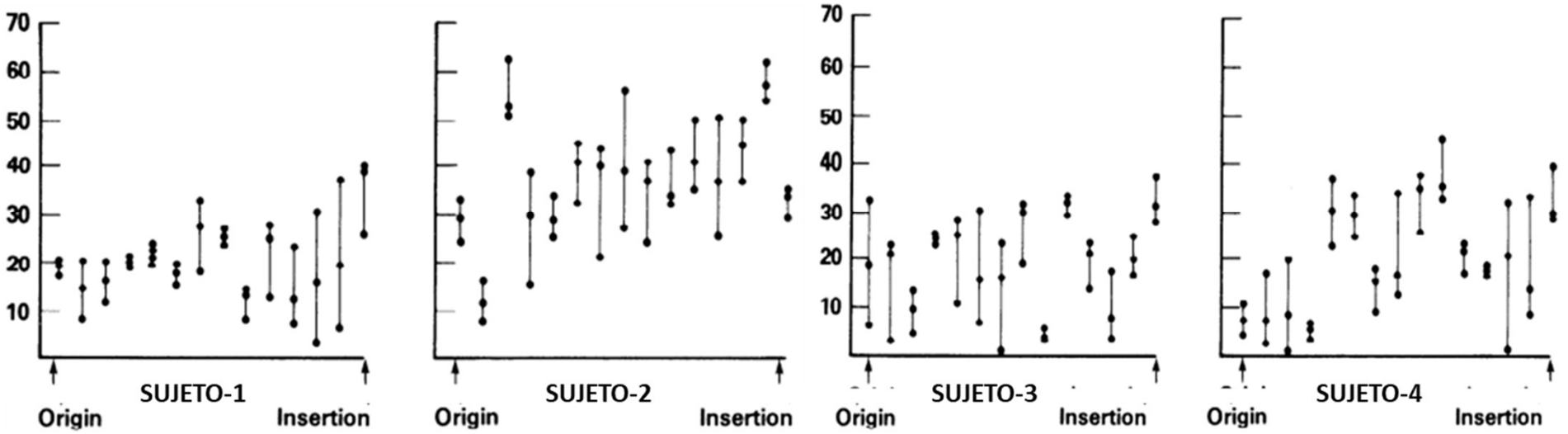
Variability of fiber type distributions within human muscles

Elder, G.C.B., Bradbury, K & Roberts, R.

Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology

53(6), 1473-1480. 1982.

Distribución (%) de fibras FT en 3 áreas del Sóleo

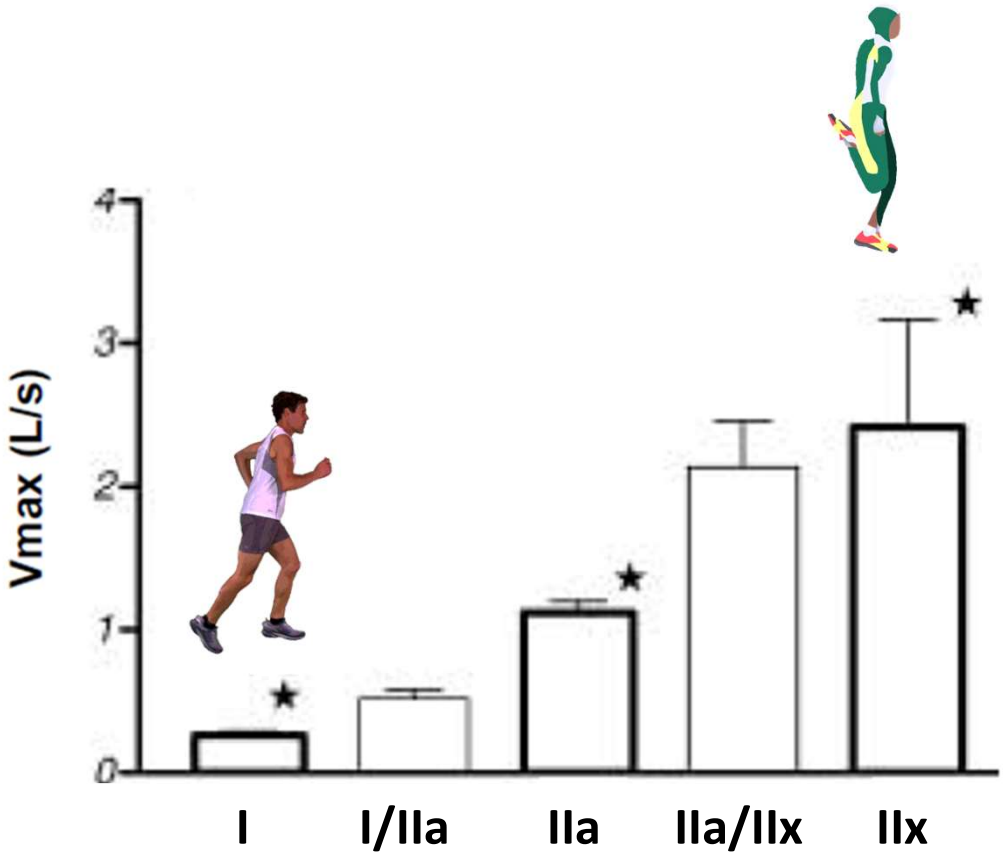


La variabilidad en las distribuciones de distintos Tipos de Fibras cambia en diferentes puntos y áreas dentro de un mismo músculo para cada Grupo Muscular y Sujeto

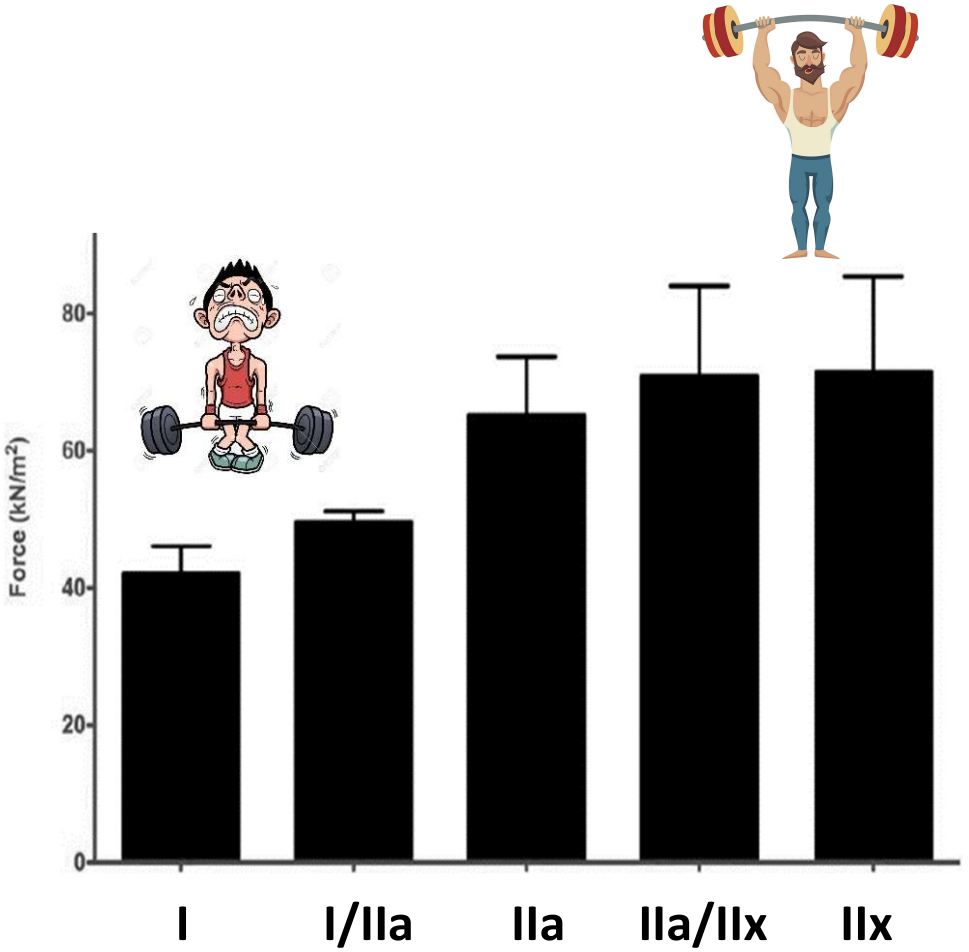
Promedio (%) fibras FT a nivel profundo y superficial

Subj No.	Vastus Lateralis		Biceps		Triceps	
	Deep	Superficial	Deep	Superficial	Deep	Superficial
1	60.57 ±5.34	59.00 ±4.62	47.71 ±6.56	56.28 ±13.28	52.43 ±6.77	49.07 ±4.50
2	40.28 ±7.10	51.57* ±8.66	41.85 ±11.07	47.33 ±13.86	52.04 ±5.07	53.64 ±9.15
3	63.34 ±7.39	68.62 ±4.90	61.82 ±6.25	67.70 ±5.79	57.61 ±11.56	70.28 ±7.78
4	56.07 ±9.55	61.60 ±8.56	57.66 ±4.69	61.21 ±5.51	54.50 ±13.56	58.36 ±5.35

TIPO DE FIBRA *vs*.
VELOCIDAD DE CONTRACCIÓN &
CARACTERÍSTICAS METABÓLICAS



TIPO DE FIBRA *vs*.
FUERZA MUSCULAR



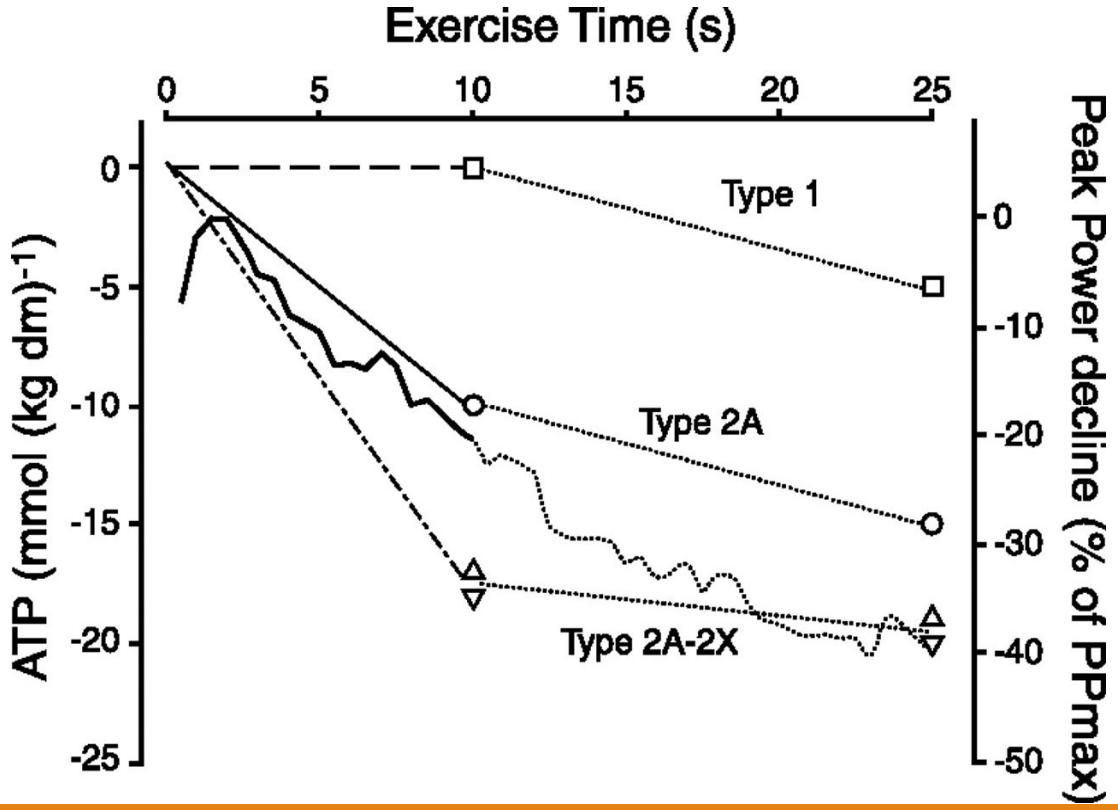
VENETO INSTITUTE MOLECULAR MEDICINE

Fiber types in mammalian skeletal muscles

Stefano Schiaffino & Carlo Reggiani

Physiological Reviews, 91(4), 1447-1531. 2011.

PCr es la principal fuente de suministro de ATP en los músculos durante la transición del reposo a la actividad. En tales circunstancias, PCr se consume rápidamente intentando mantener constante el ATP. Su resíntesis se produce más tarde, al final de la actividad contráctil o cuando se activan otras vías metabólicas. La disminución de PCr se distribuye de manera desigual entre los tipos de fibras y .



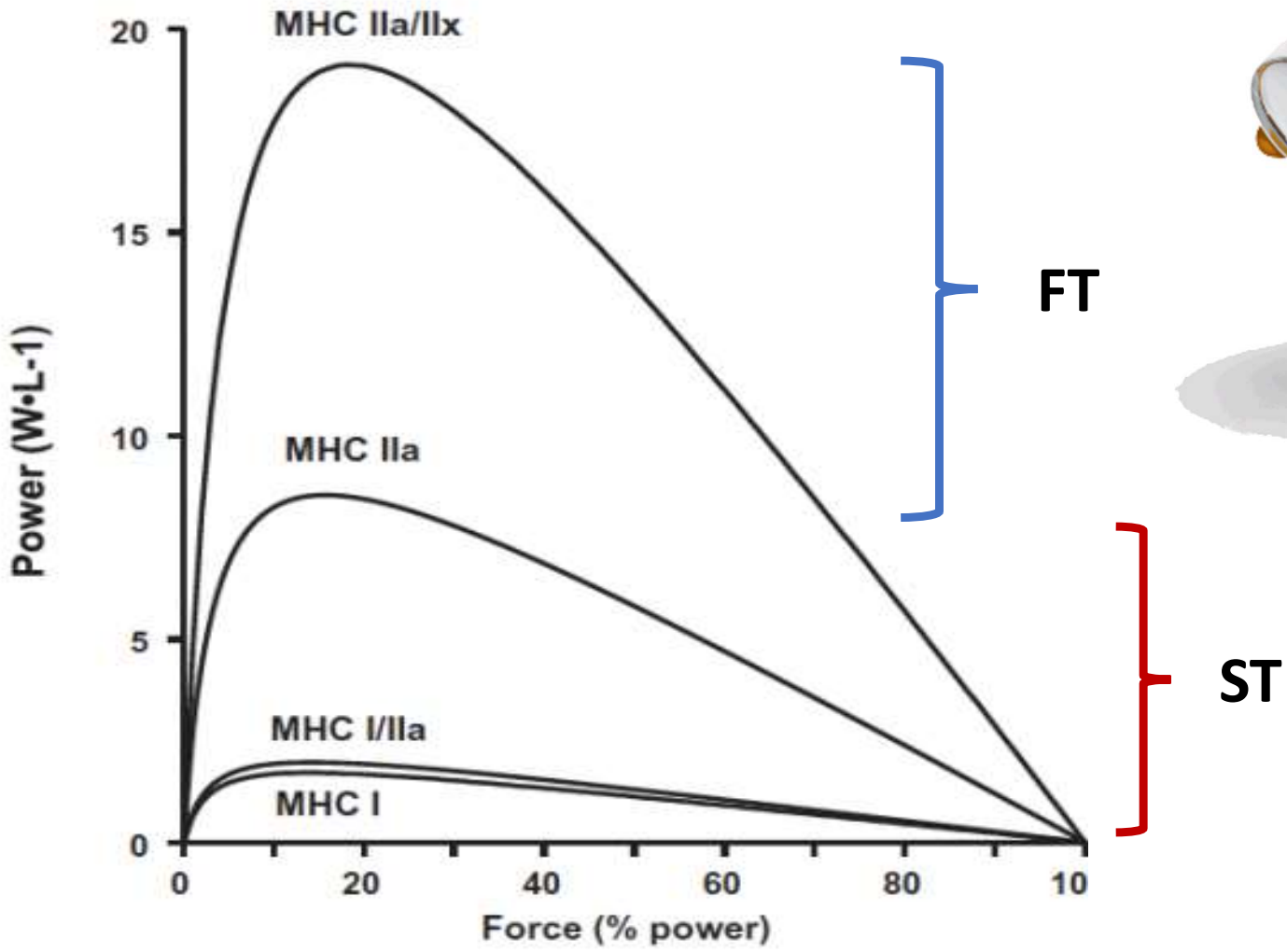
La concentración de ATP disminuye en diferentes fibras musculares con el ejercicio máximo.

Los valores medios de concentración de ATP se muestran a los 10” y 25” para las fibras Tipo 1 (cuadrados), Tipo 2A (círculos) y Tipo 2A/2X (triángulos).

La línea continua representa la disminución de potencia muscular.

Human skeletal muscle fiber type specific protein content

Galpin AJ, Raue U, Jemiolo B, Trappe TA, Harber MP, Minchev K. & Trappe S. Analytical Biochemistry, 425(2), 175-182. 2012.





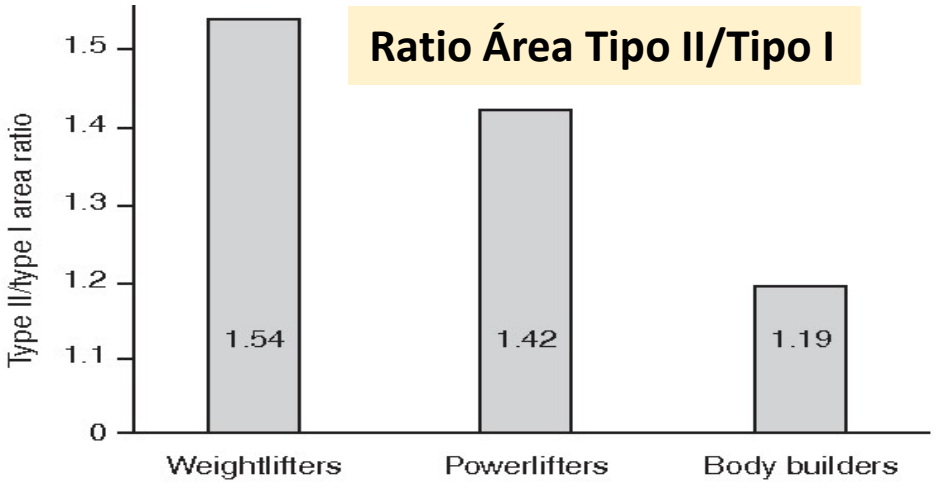
The Role of Resistance Exercise Intensity on Muscle Fibre Adaptations

Andrew C. Fry

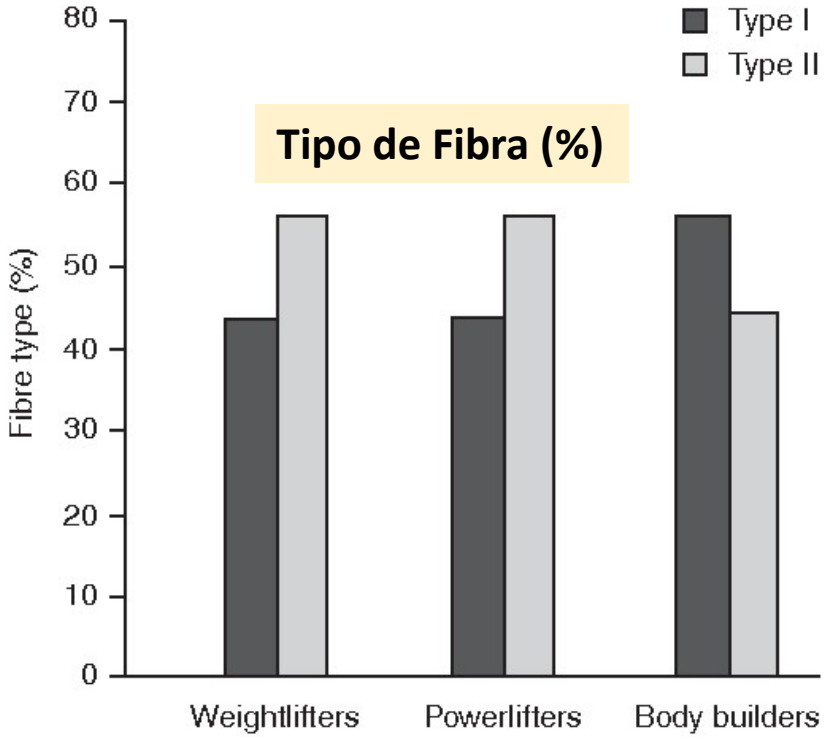
Sports Medicine, 34(10), 663-679. 2004.



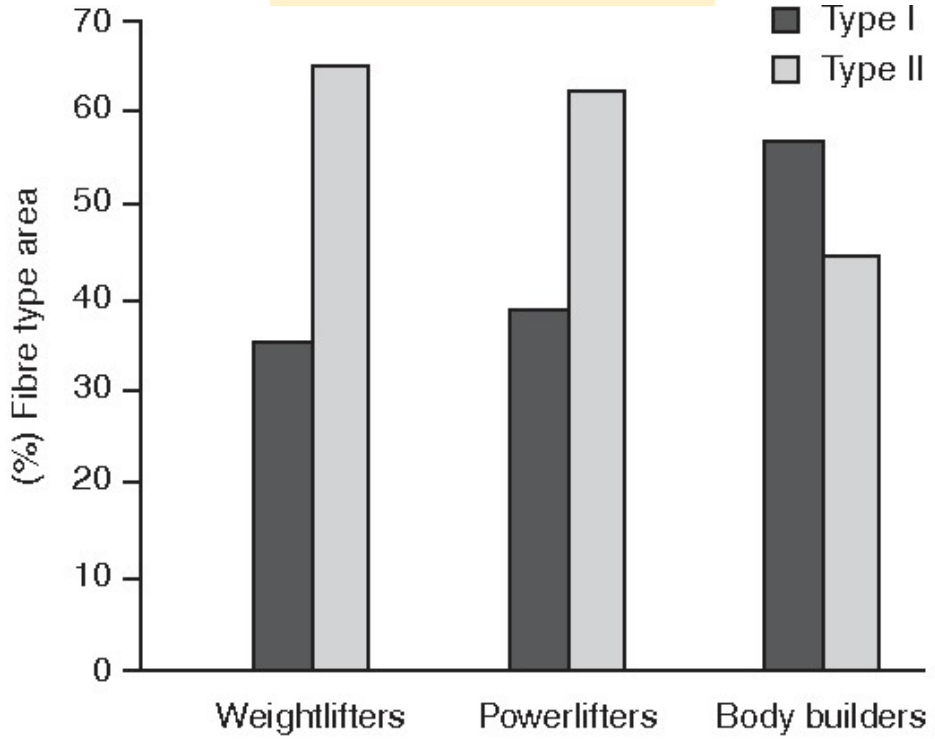
Ratio Área Tipo II/Tipo I



Tipo de Fibra (%)



Hipertrofia Selectiva



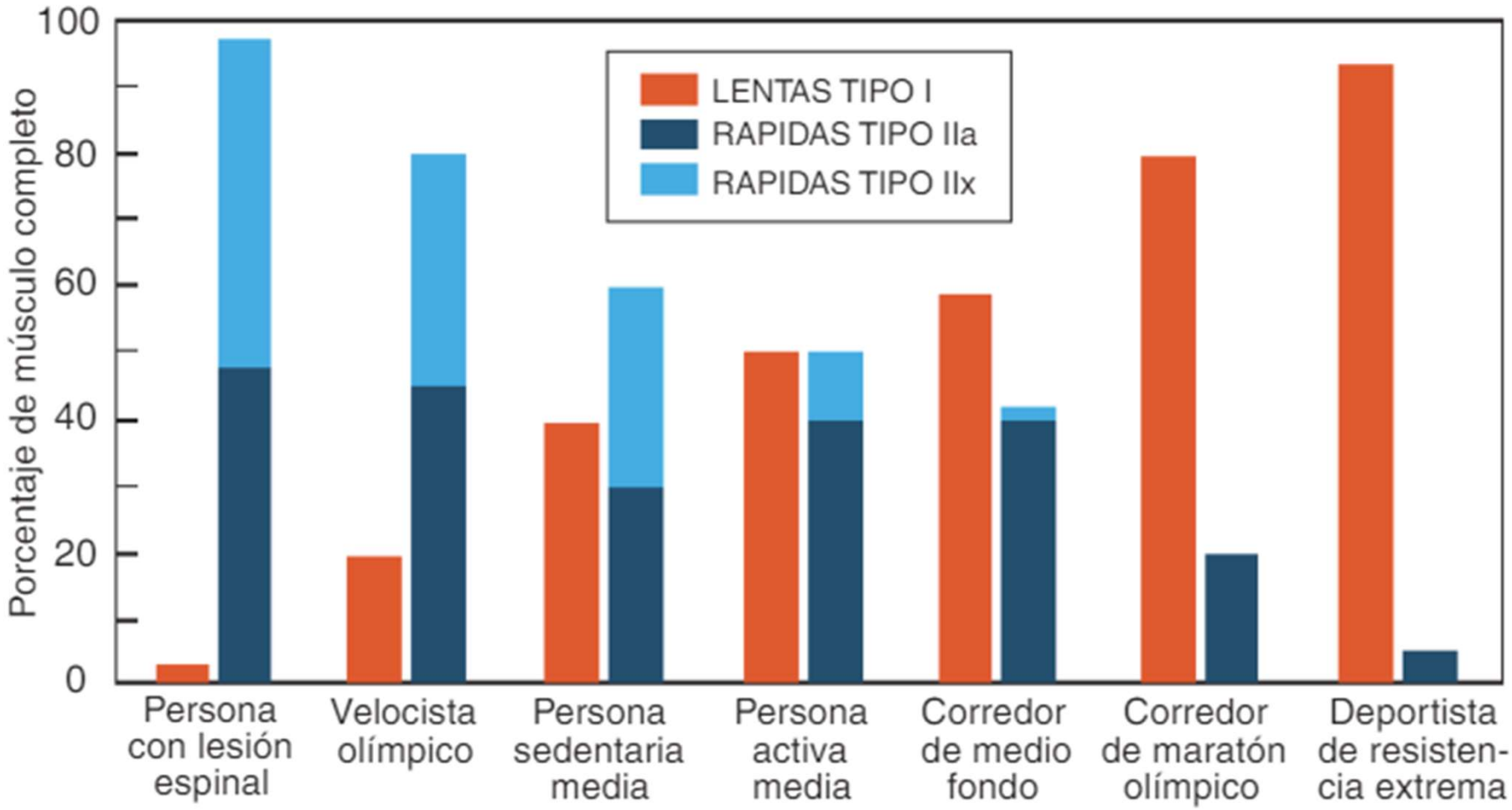
Royal Gymnastic
Central Institute

Bioquímica del Rendimiento Atlético

Jesper L. Andersen, Peter Schjerling & Bengt Saltin

Investigación y Ciencia, 1-13. 2000.

Institute of Sports Medicine Copenhagen
ISMC
Bispebjerg Hospital



Royal Gymnastic Central Institute

Bioquímica del Rendimiento Atlético

Jesper L. Andersen, Peter Schjerling & Bengt Saltin

Investigación y Ciencia, 1-13. 2000.

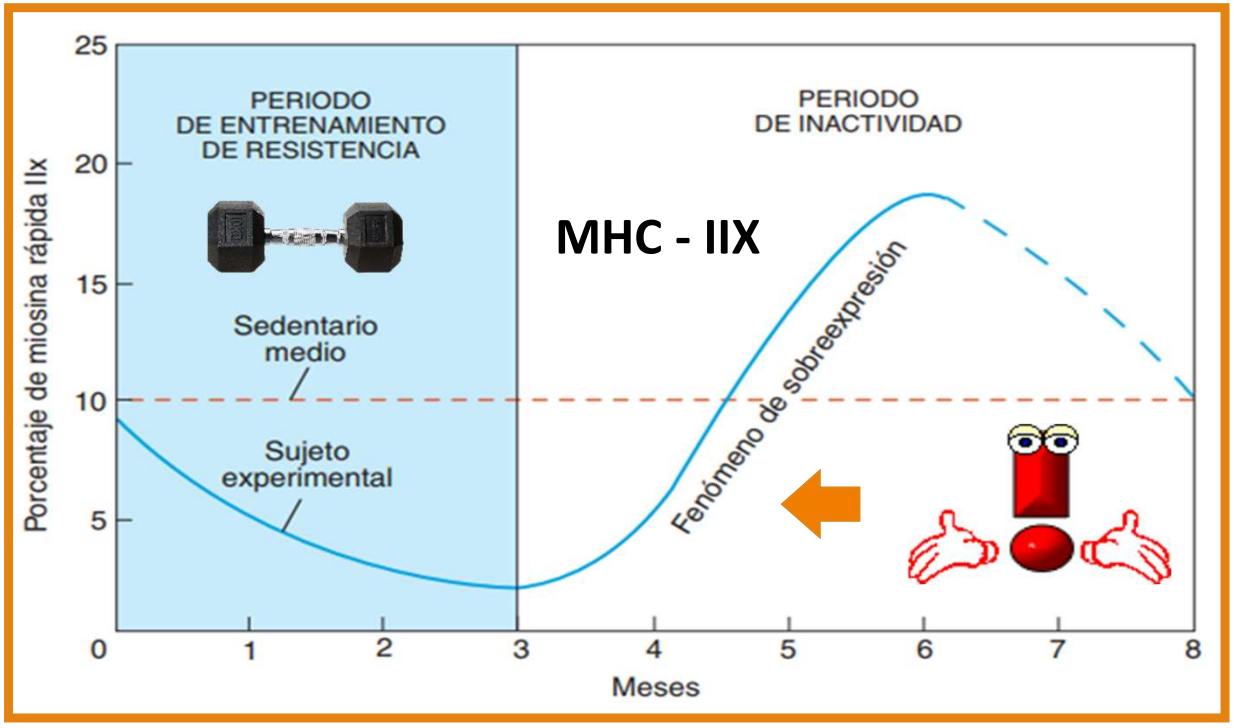
Institute of Sports Medicine Copenhagen

ISMC Bispebjerg Hospital

ENTRENAMIENTO DE FUERZA *vs*. MHC – IIX

DIFERENCIAS ENTRE LAS FASES DE CARGA Y DE RECUPERACIÓN

Las Fibras se transforman hacia una expresión más rápida durante el desuso



El porcentaje de Miosina IIx disminuye con el Entrenamiento de Fuerza

Al parar el entrenamiento el % de FTIIX vuelve a aumentar, incluso superar, los valores iniciales de manera significativa

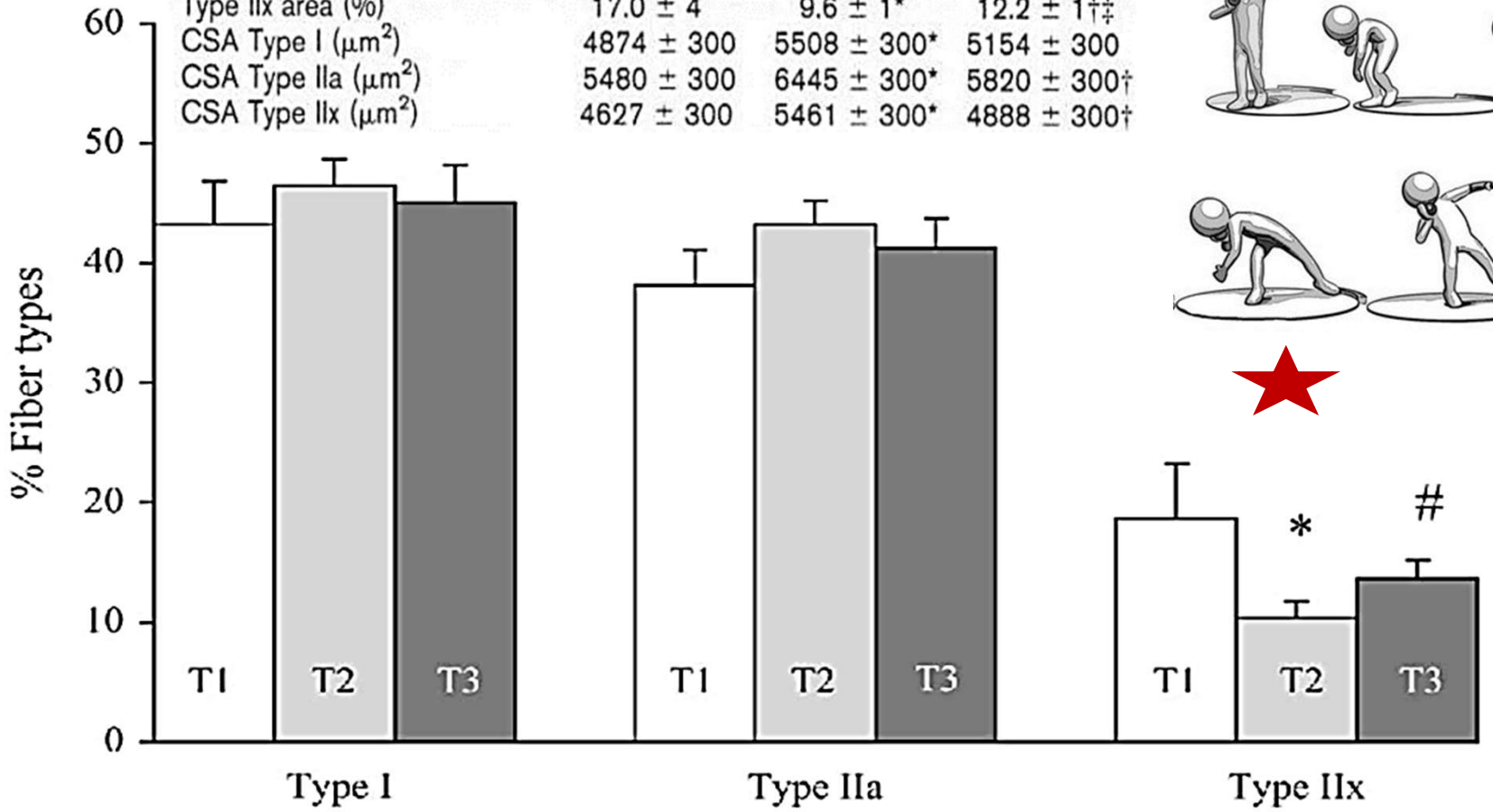
NATIONAL AND KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS

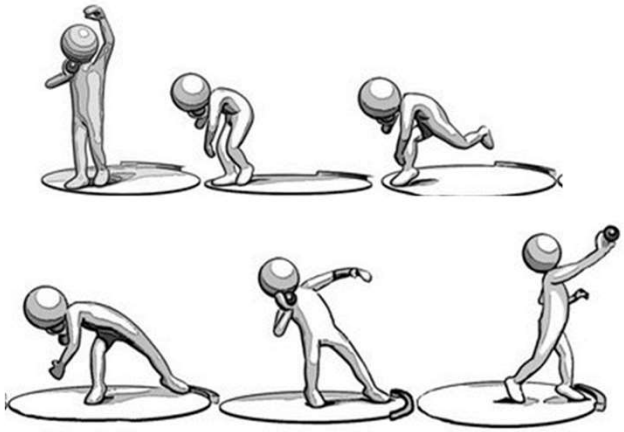
Throwing performance after resistance training and detraining

Gerasimos Terzis, Grigoris Stratakos, Panagiota Manta P. & Giorgios Georgiadis G.

The Journal of Strength & Conditioning Research, 22(4), 1198-1204. 2008.

	T1	T2	T3
Type I area (%)	41.5 ± 4	43.2 ± 2	43.2 ± 3
Type IIa area (%)	41.4 ± 3	47.2 ± 2	44.6 ± 3
Type IIx area (%)	17.0 ± 4	9.6 ± 1*	12.2 ± 1†‡
CSA Type I (μm^2)	4874 ± 300	5508 ± 300*	5154 ± 300
CSA Type IIa (μm^2)	5480 ± 300	6445 ± 300*	5820 ± 300†
CSA Type IIx (μm^2)	4627 ± 300	5461 ± 300*	4888 ± 300†





Evolución (%) de la Composición Muscular

PRE (T1); POST 14 semanas de Entrenamiento (T2); POST: 4 semanas (T3)

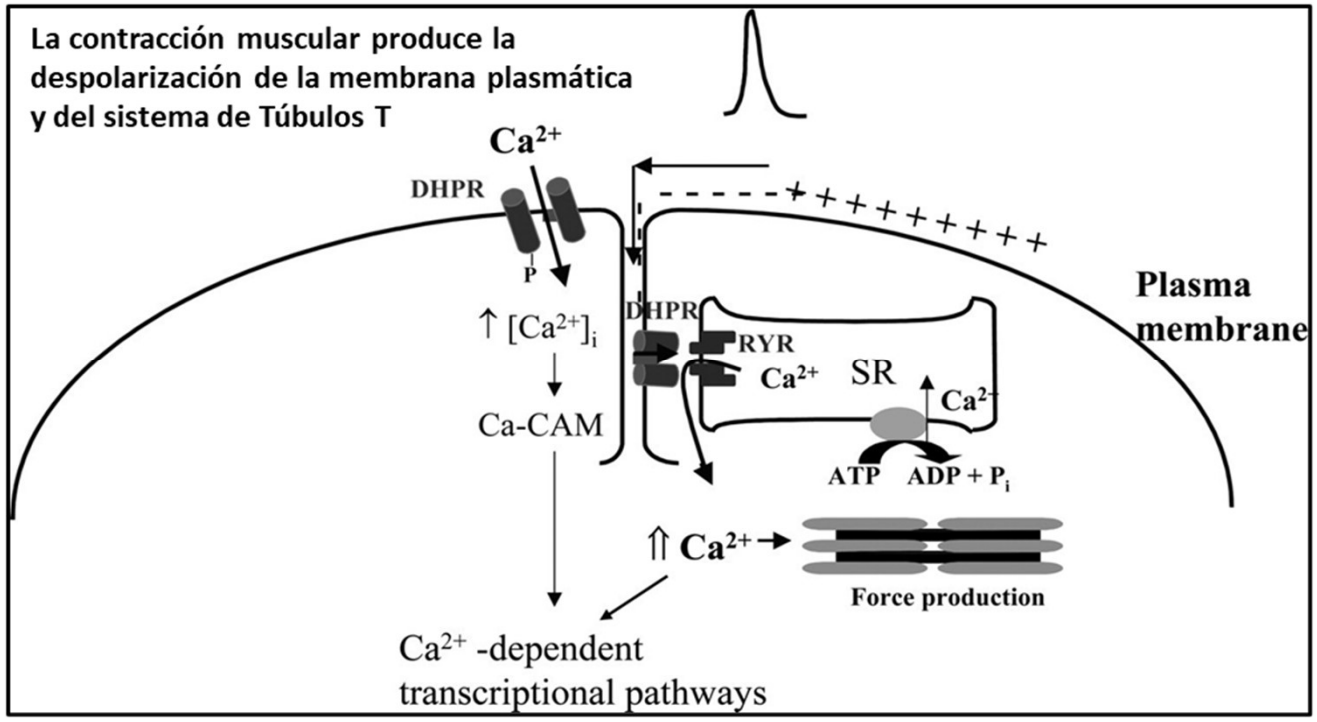
Role of Ca2+/calmodulin-dependent kinases in skeletal muscle plasticity

Eva R. Chin (University of Maryland)

Journal of Applied Physiology, 99(2), 414-423. 2005.

Quinasas dependientes de Ca^{2+}/Calmodulina (**CaMK**), como la **CaMKII**, desempeñan un papel clave en la expresión de enzimas oxidativas, la biogénesis mitocondrial y la expresión de proteínas miofibrilares específicas que caracterizan cada tipo de fibra

Promueve la TRANSICIÓN de FIBRA RÁPIDA (Tipo II) a FIBRA LENTA (Tipo I)





Role of CaMKII and sarcolipin in muscle adaptations to strength training with different levels of fatigue in the set

Martínez-Cantón M, Gallego A, Gelabert M, Martín-Rincón M, Pareja F, Rodríguez-Rosell D, Sanchis J, Dorado C, González-Badillo JJ. & López-Calbet J.A.

Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 31(1), 91-103. 2021.

Determinados Entrenamientos de Fuerza pueden provocar un cambio del Tipo de Fibra

Fibras IIX ⇒⇒⇒ Fibras IIA

La transformación es debida, probablemente, a cambios en el Ca^{2+} Sarcoplasmático que es detectado por la:

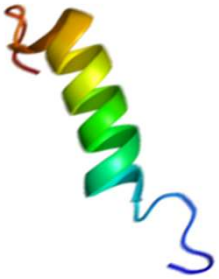
Calcio Calmodulina Cinasa II (CaMKII)

(Serina/treonina proteína cinasa regulada por el complejo calcio-calmodulina)

LA FATIGA PROVOCADA POR EL EJERCICIO PARECE SER LA CLAVE

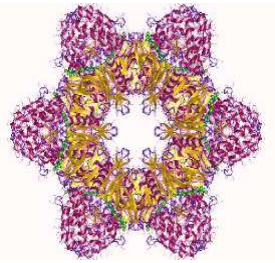
PROTOCOLO: Entrenamiento con PÉRDIDA DE VELOCIDAD INTRA-SERIE:

20% (VL20) *vs*. 40% (VL40)



La FATIGA ACUMULADA en cada serie influyó significativamente en las respuestas musculares del CaMKII & Sarcolipina (SLN)

(Ca^{2+} sarcoplasmático está regulado, al menos en parte, por la SLN)



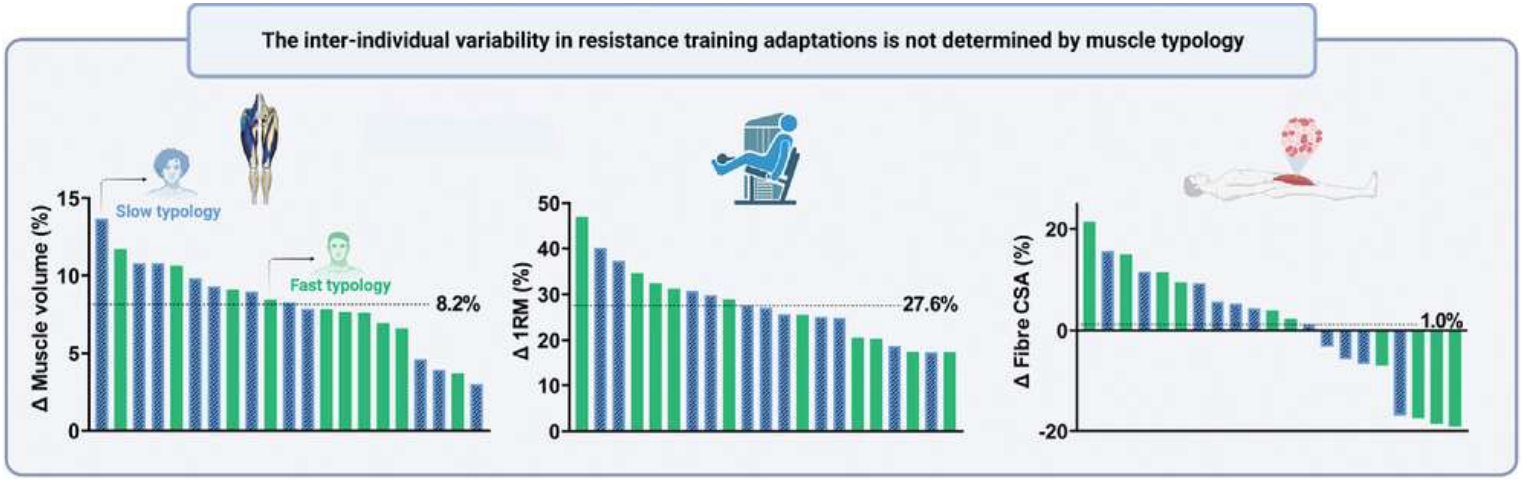
Cuando la Fatiga generada en cada serie disminuye, la transformación de MHC IIX a MHC IIA se atenúa

UNIVERSITEIT GENT

Can muscle typology explain the inter-individual variability in resistance training adaptations?

Van Vossel K, Hardeel J, Van Casteele F, Van der Stede T, Weyns A, Boone J., ... & Derave W.
The Journal of Physiology, 601(12), 2307-2327. 2023.





La respuesta al entrenamiento para el **Volumen Muscular Total** (+3 a +14%), **Tamaño de la Fibra** (−19 a +22%) y **Fuerza** (+17 a +47%) mostraron una variabilidad interindividual elevada, pero estas **no pudieron atribuirse** a diferencias en la tipología muscular

Sin embargo, los individuos ST realizaron un volumen de entrenamiento significativamente mayor para obtener adaptaciones similares que los individuos FT

La extremidad que entrenó 3 veces/semana tuvo generalmente una hipertrofia más elevada que la extremidad que entrenó 2 veces/semana

La Tipología Muscular NO puede explicar la alta variabilidad en las adaptaciones del entrenamiento de Fuerza cuando el entrenamiento se realiza “al fallo” con 60%-1RM

HIPERTROFIA MUSCULAR

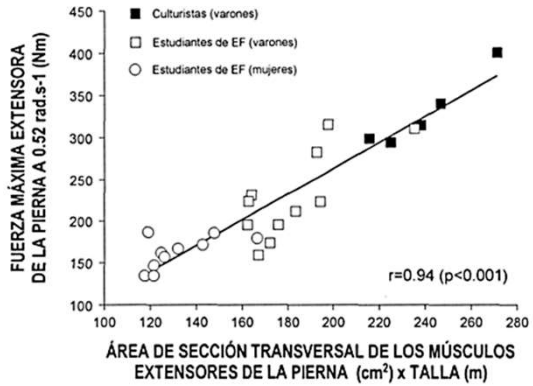
Aumento de los Elementos Contráctiles, Matriz Extracelular de las Células del Músculo Esquelético, Sarcómeros en Paralelo y/o la adición de Miofibrillas

SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA FIBRA MUSCULAR

CSA *vs.* FUERZA MUSCULAR







LA FUERZA DE UN MÚSCULO ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA FIBRA MUSCULAR (CSA)

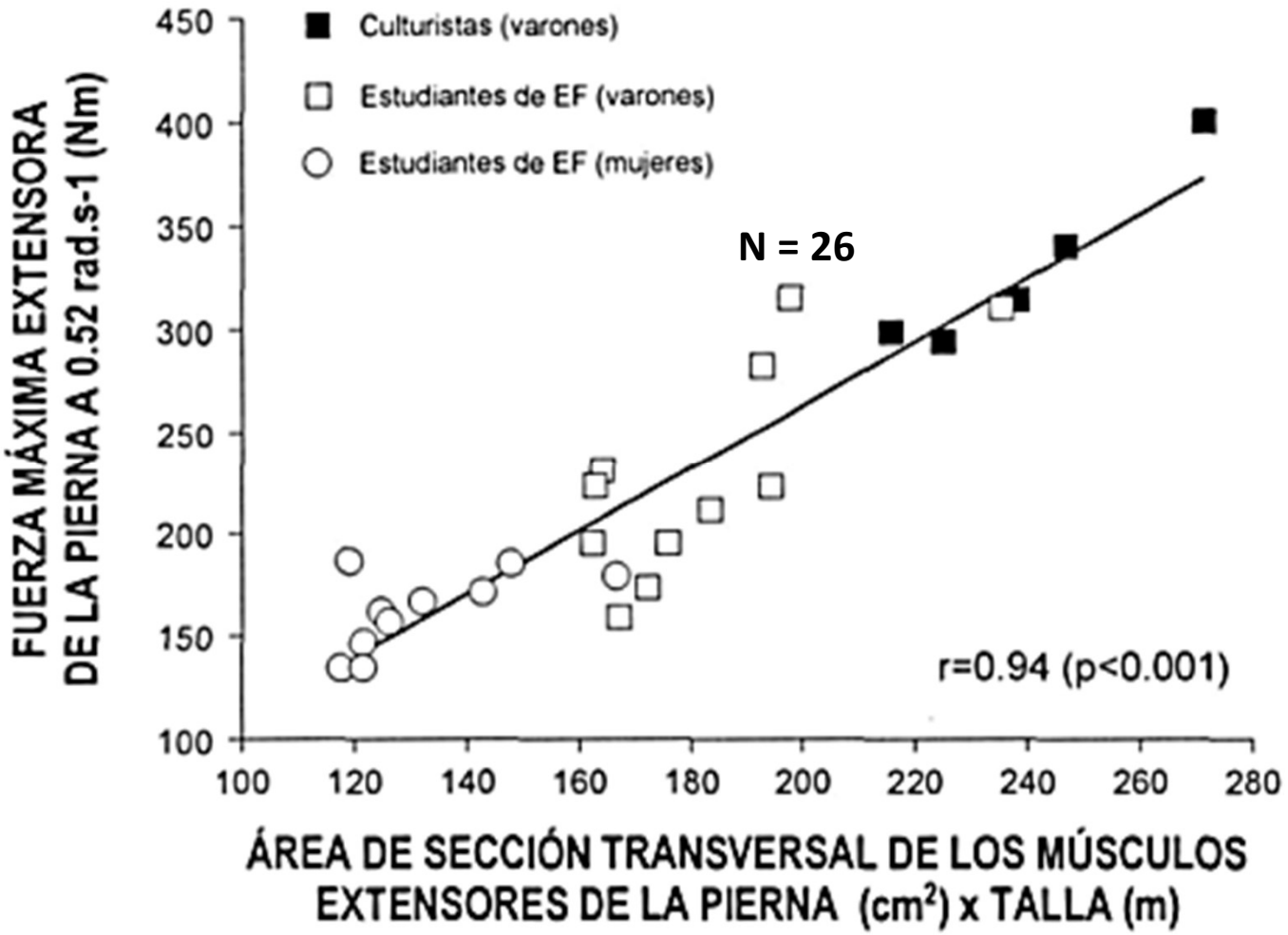
30-40 N/cm² → 41-80 N/cm² → 81-100 N/cm²

Karolinska Institutet

Muscle fibre type distribution, muscle cross-sectional area and maximal voluntary strength in humans

Schantz P, Randall-Fox E, Hutchison W, Tydén A. & Åstrand P.O.

Acta Physiologica Scandinavica, 117(2), 219-226. 1983.



FUERZA MÁXIMA (FM)

La FM correlaciona significativamente con la CSA de los Músculos PRN

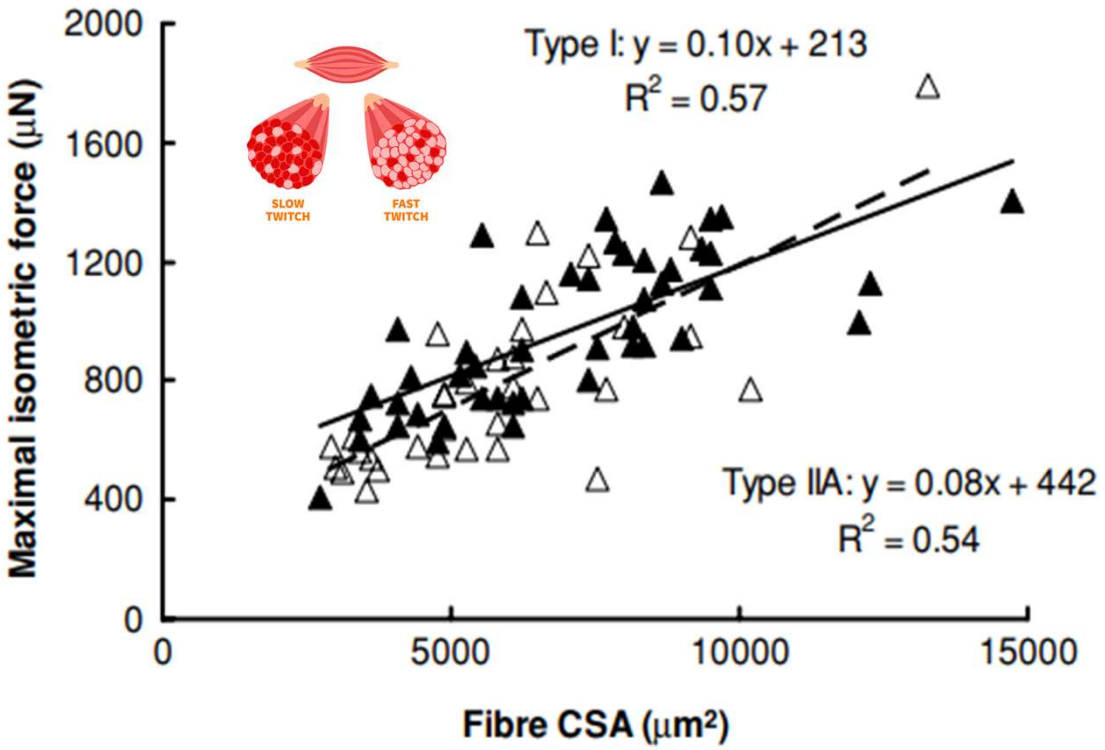
FM/CSA cambia entre Estudiantes de EF ♂ y ♀ vs. Culturistas

FM desarrollada por unidad de CSA de PRN no correlacionó significativamente con el % de Área de Fibra Tipo I

Manchester Metropolitan University

Variation in the determinants of power of chemically skinned human muscle fibres

Gilliver SF, Degens H, Rittweger J, Sargeant AJ. & Jones DA.
Experimental Physiology, 94(10), 1070-1078. 2009.



	CSA (μm^2)	Force (μN)
Type I fibres ($n = 33$)	5874	787
	2304	298
	2922–13273	430–1793
Type IIA fibres ($n = 46$)	7031*	966*
	2542	259
	2734–14741	409–1470

	V_{max} ($FL\ s^{-1}$)	Peak power ($W\ L^{-1}$)
Type I fibres ($n = 33$)	0.37	1.99
	0.06	0.73
	0.20–0.51	0.62–4.47
Type IIA fibres ($n = 46$)	0.95**	6.92**
	0.17	2.41
	0.53–1.19	2.65–14.51

Fuerza Isométrica Máxima (FMI) correlacionó (r^2 = 0,56; P <0,001) con el **Área de la Sección Transversal (CSA)** para todos los Tipos de Fibras **No hubo diferencias estadísticamente significativas entre ellas**, aunque si fue mayor la relación en las Fibras Tipo II

DOS PRINCIPIOS BÁSICOS SUBYACEN DETRÁS DEL CRECIMIENTO MUSCULAR

- **PRIMER PRINCIPIO (ESTÍMULO ESPECÍFICO)**: Entrenamiento para hipertrofia.



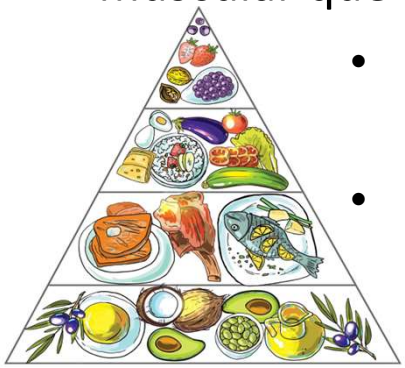
  - **Estímulo desencadenante ⇒ debe ser de Naturaleza Anabólica**.

    Estímulo Anabólico: relacionado con la Carga & Activación Neural asociada
  - Una carga elevada produce mayor Activación Neuronal (Reclutamiento UM).
  - Se necesita elevada intensidad para activar UM de Alto Umbral
    - Alta intensidad también activa a las UM de Bajo Umbral.

LEY DE HENNEMAN

El estímulo más eficaz será un programa bien diseñado que contemple Volumen Elevado e Intensidad Suficientemente Alta por Grupo Muscular

- **SEGUNDO PRINCIPIO (NUTRIENTES):** aumentar el Tamaño Muscular requiere la energía muscular que proporciona la ingesta de los componentes nutricionales adecuados.



  - Estas deben proceder de una dieta adecuada y bien diseñada que incorpore las calorías adecuadas y los nutrientes necesarios.
  - El cuerpo necesita H. de C., Proteínas y Grasas para reparar, remodelar e Hipertrofiar los músculos.

Proteínas son el Sustrato Nutricional principal para Hipertrofia.

HIPERTROFIA DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO

Aumento en el Área de la Sección Transversal (*CSA*) de la Fibra Muscular conlleva aumentos en:



- **Masa Muscular Total**
- **Grosor Muscular Total (Área Muscular - *CSA*)**
  - **Sección Transversal Fisiológica (*PCSA*)**
  - **Sección Transversal Anatómica (ACSA)**
- **Grosor de Miobrillas & Fibras Musculares (Área Fibras – *CSA*)**

La Hipertrofia Muscular en respuesta al Entrenamiento de Fuerza se debe, principalmente, a un aumento de Proteínas Miofibrilares; un aumento en el Número de Sarcómeros en Paralelo (o en Serie) de las Miofibrillas (SARCOMEROGÉNESIS) y/o Formación de nuevas Miofibrillas (MIOFIBRILOGÉNESIS o MIOGÉNESIS)

(Paul & Rosenthal, 2002; Schoenfeld, 2010; Wisdom et al., 2015; Franchi et al., 2017)

LaGrange College

A critical evaluation of the biological construct skeletal muscle hypertrophy: size matters but so does the measurement

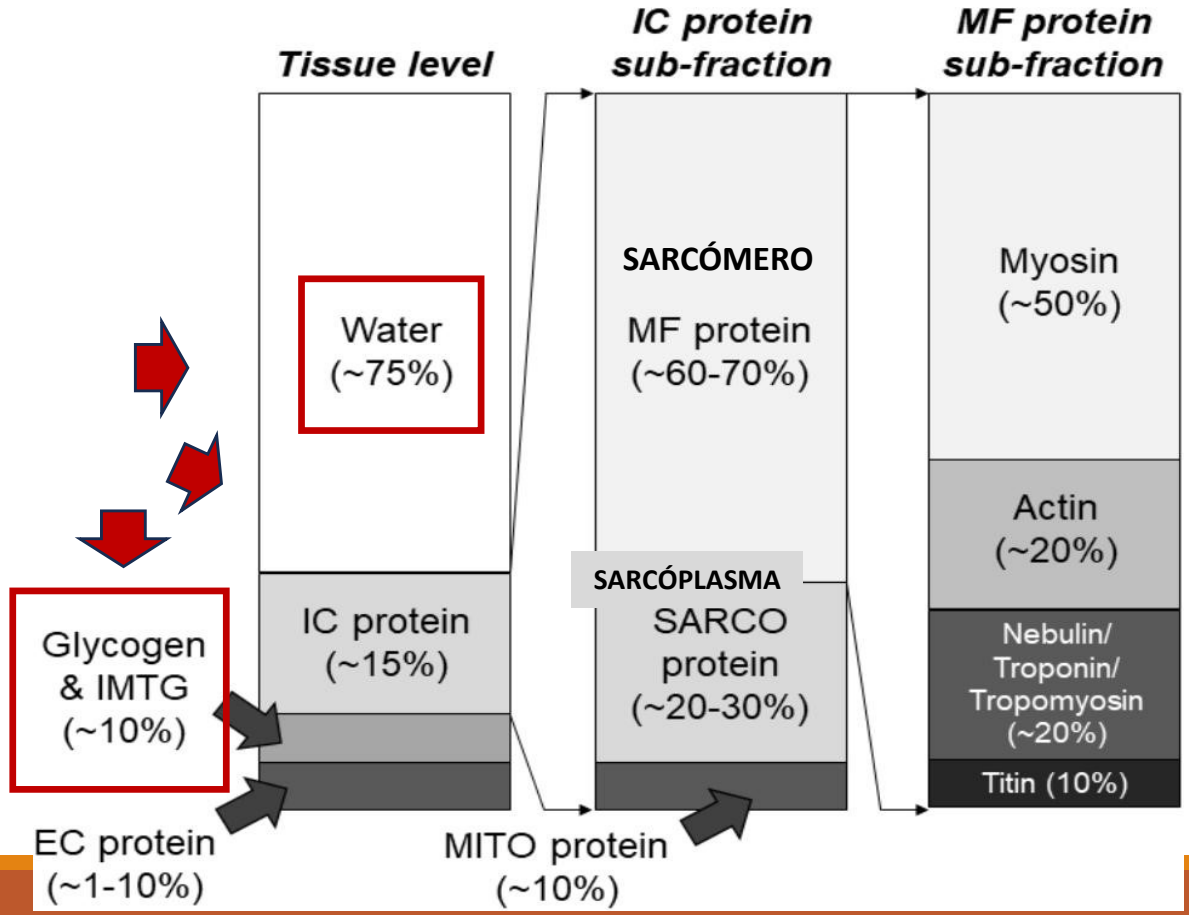
Haun CT, Vann CG, Roberts BM, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ. & Roberts MD. Frontiers in Physiology, 10, 247. doi.org/10.3389/fphys.2019.00247. 2019.

HIPERTROFIA DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO

Además de Proteínas también implica un aumento en los niveles de:

Minerales, Líquidos y Sustratos Energéticos Intramusculares

[i.e., Glucógeno (5%) o Triglicéridos Intramusculares (2-3%)]



IMTG: Triglicéridos Intramusculares;

EC: Extracelular;

IC: Intracelular;

MF: Miofibrilla;

SARCO: Sarcoplasma;

MITO: Mitocondrias.



↑ Proteínas Contráctiles ← ↑ Síntesis Proteínas Musculares

↑ Número de Miofibrillas

↑ Tamaño de las Miofibrillas

↑ Número de Sarcómeros

↑ Longitud Miofibrilla - ↑ Tamaño

¿↑ Número de Fibras?
Hiperplasia



↑ Tamaño de las Fibras

↑ Capilarización

Hipertrofia
Tejido Conjuntivo

↑ Sustratos Energéticos



Retención de Líquidos
(Congestión)

Hipertrofia Muscular

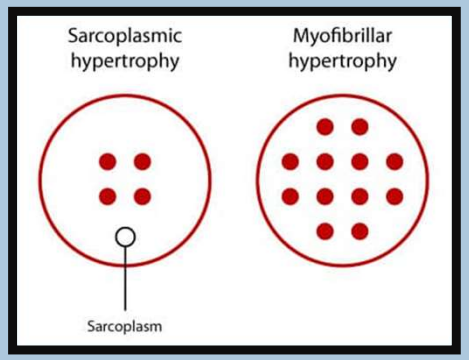
TIPOS DE HIPERTROFIA

FUNCIONAL ⇦ **CONGESTIÓN**

Sarcoplasmática

Siff & Verjoshanski

Sarcomérica



Sarcoplasmática

Nikituk & Somailov

Miofibrilar

GENERAL



SELECTIVA

CONFIRMATIVA

COMPENSATORIA

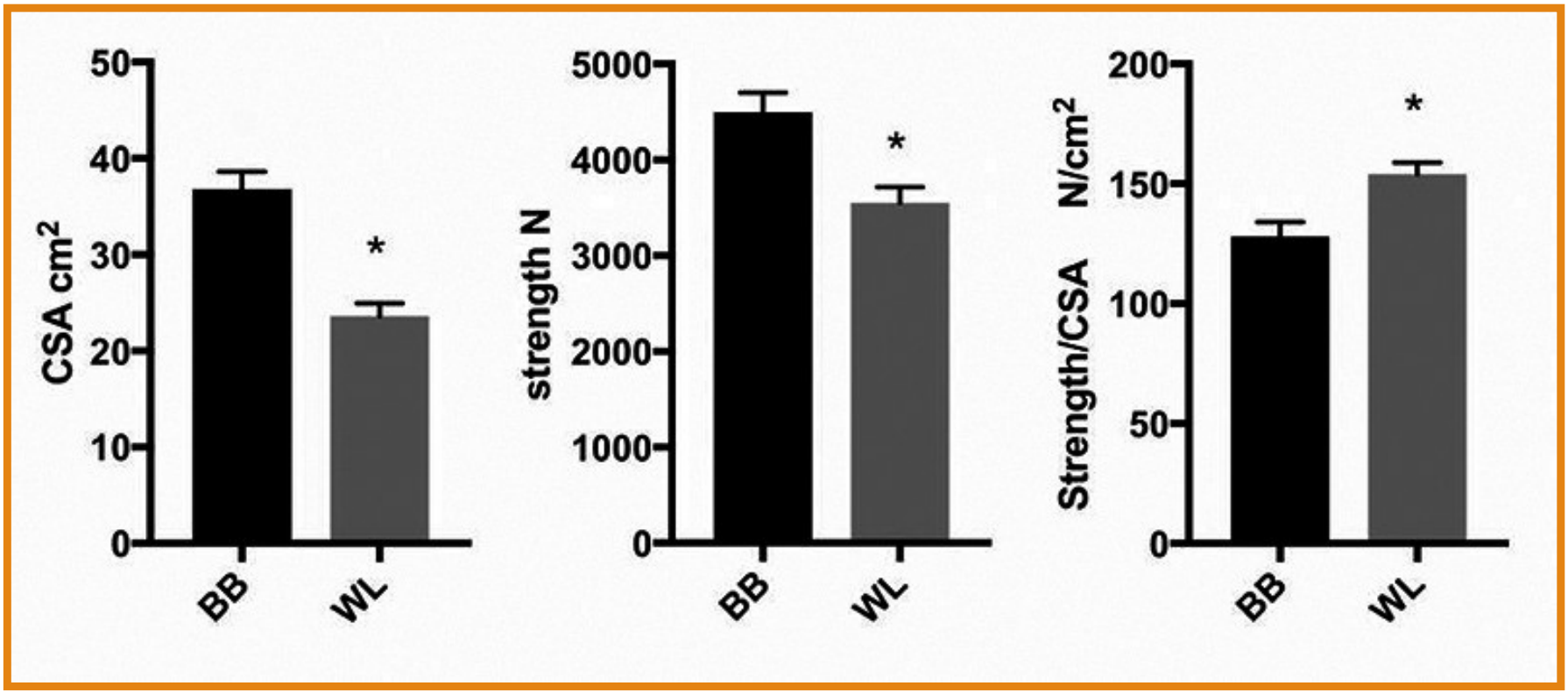
HIPERTROFIA SELECTIVA CONFIRMATIVA

ESPECIALISTA	Area ST (μm^2)	Area FT (μm^2)	Ratio Area FT/ST
Velocista	6403 μm^2 (±1359)	**6919** μm^2 (± 2165)	**1.08**
Mediofondistas	**7505** μm^2 (± 1397)	7356 μm^2 (± 1042)	**0.98**
Marchadores	**6626** μm^2 (± 1513)	5911 μm^2 (± 1325)	**0.89**
Maratonianos	**7309** μm^2 (± 2455)	6774 μm^2 (± 3612)	**0.92**
Saltadores Altura	6734 μm^2 (± 1662)	**7273** μm^2 (± 1607)	**1.08**
Saltadores Longitud	7675 μm^2 (± 1755)	**8889** μm^2 (± 2102)	**1.15**
Lanzamiento Peso	8479 μm^2 (± 2097)	**10765** μm^2 (± 3438)	**1.27**

HIPERTROFIA SELECTIVA CONFIRMATIVA

Muscle force per cross-sectional area is inversely related with pennation angle in strength trained athletes

Ikegawa, S., Funato, K., Tsunoda, N., Kanehisa, H., Fukunaga, T., & Kawakami, Y.
The Journal of Strength & Conditioning Research, 22(1), 128-131. 2008.



Tamaño y la FIM del Tríceps Braquial en *Culturistas* y *Halterófilos* de Alto Nivel

El tamaño se expresa con la *CSA* del Tríceps Braquial (ultrasonografía)

Fuerza del extensor del brazo se mide en la muñeca con el codo a 80° y luego se normaliza a *CSA*

Muestra: Culturistas (BB): n = 32; Levantadores de Pesas (WL): n = 20

HIPERTROFIA SARCOMÉRICA *VS.* HIPERTROFIA SARCOPLASMÁTICA



Aunque los Culturistas tienen músculos más grandes (Hipertrofia Sarcoplasmática - HSP) que los Levantadores de Pesas (Halterófilos o Powerlifters) Los Culturistas NO SON tan fuertes como los Levantadores de Pesas (Hipertrofia Sarcomérica - HSM)

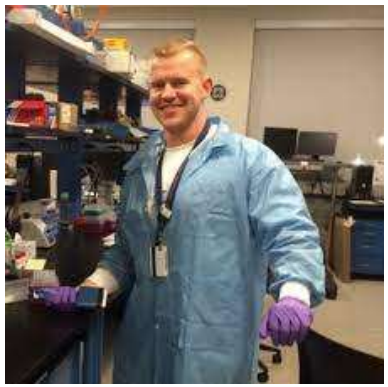


- **HIPERTROFIA SARCOPLASMÁTICA (H.S.P.):** Se produce por un aumento desproporcionado de elementos celulares que no generan directamente fuerza (Núcleos, Aparato de Golgi, Mitocondrias, Retículo Sarcoplasmático, Calcio, etc.).
  - También se podrían incluir Metabolitos Osmóticamente Activos (p.ej.: Creatina y Glucógeno que atraen Agua hacia la Miofibrilla).
- **HIPERTROFIA SARCOMÉRICA (H.S.M.):** El Crecimiento Radial de Miofibrillas (∅) no es impulsado por la Hipertrofia Sarcoplásmica (o lo es poco), sino que se debe al aumento de:
  - Elementos Generadores de Fuerza & Elementos No Generadores de Fuerza.

A critical evaluation of the biological construct skeletal muscle hypertrophy: size matters but so does the measurement

Haun CT, Vann CG, Roberts BM, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ. & Roberts MD.

Frontiers in Physiology, 10, 247. doi.org/10.3389/fphys.2019.00247. 2019.



TIPOS DE HIPERTROFIA

(a) Hipertrofia del Tejido Conectivo;

(b) Hipertrofia Miofibrilar;

(c) Hipertrofia Sarcoplásmica.

LaGrange College

- **Hipertrofia Miofibrilar:** aumento en el Tamaño y/o Número de Miofibrillas acompañado de un aumento en el Número y Tamaño de Sarcómeros y de las Proteínas Sarcoméricas relacionadas con la estructura o la generación de fuerza contráctil.
- **Hipertrofia Sarcoplasmática (*Citoplasmática*)**: aumento del Volumen del Sarcolema y/o del Sarcoplasma (citoplasma de células musculares estriadas) que va acompañado de un aumento en el Volumen de Mitocondrias, Retículo Sarcoplásmico, Túbulos T y/o contenido de Enzimas o Sustratos Sarcoplasmáticos.
- **Hipertrofia del Tejido Conectivo:** aumento en el Volumen de la M.E.C. del Músculo Esquelético y aumento de Componentes Elásticos, acompañado de un Aumento de Minerales o Proteínas.

HIPERTROFIA MUSCULAR

NO CONFUNDIR

HINCHAZÓN MUSCULAR



(CONGESTIÓN)

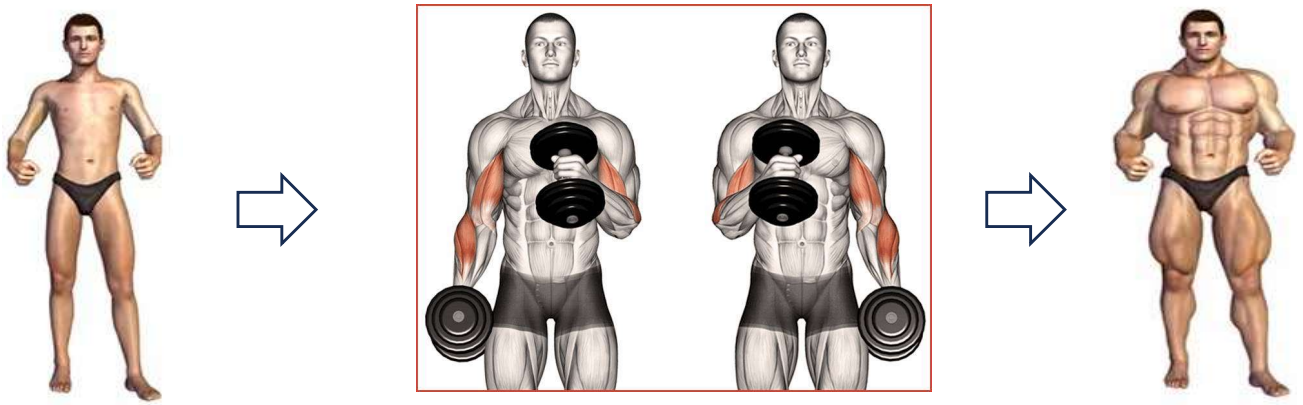
VS.



HIPERTROFIA MUSCULAR

(HIPERTROFIA FUNCIONAL)

ENTRENAMIENTO DE FUERZA *VS.* HIPERTROFIA MUSCULAR



ADAPTACIONES INICIALES DE LAS FIBRAS MUSCULARES

(en respuesta a estímulos de Entrenamiento de fuerza):

- **REMODELACIÓN ESTRUCTURAL PREPARATORIA**
- **CAMBIOS METABÓLICOS & FUNCIONALES PROGRESIVOS**

Estas adaptaciones sientan las bases para el crecimiento posterior

DAÑO CELULAR experimentado inicialmente se asocia con HINCHAZÓN
(Hipertrofia No Funcional por Congestión, Edema o Inflamación)

RESPUESTA CRÓNICA supone aumentos de:
SÍNTESIS DE PROTEÍNAS MUSCULARES y, en consecuencia, un incremento de:
PROTEÍNAS CONTRÁCTILES

RESPUESTA INICIAL

The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: the role of muscle damage and muscle protein synthesis

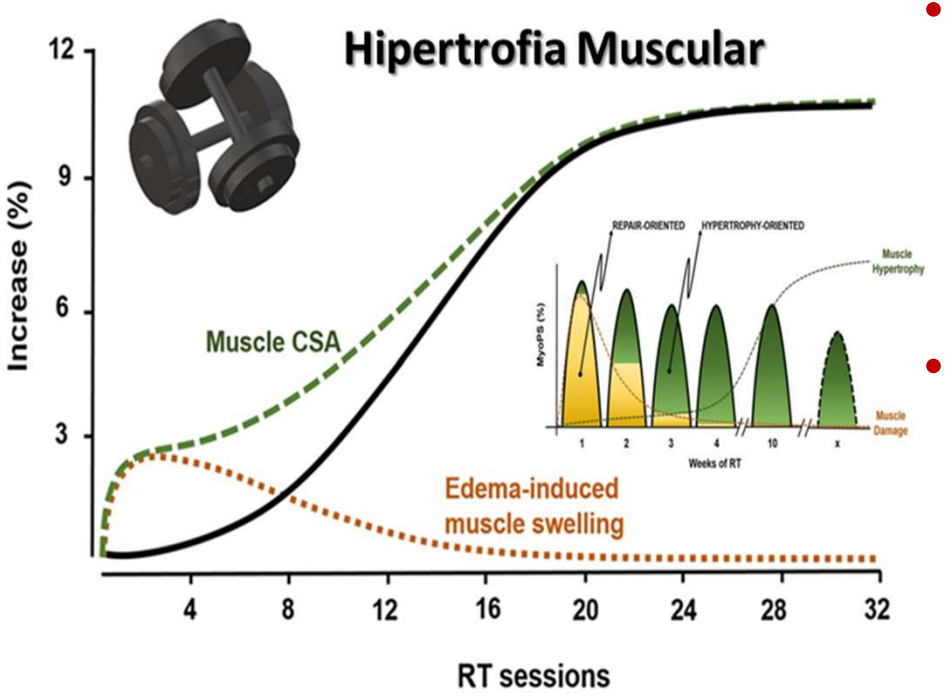
Felipe Damas, Cleiton A. Libardi & Carlos Ugrinowitsch

European Journal of Applied Physiology, 118(3), 485-500. 2018.

FASE INICIAL (≤ 4 sesiones):

- **El aumento inicial de la CSA no se deba a la Reparación y Remodelación Muscular:**
  - **No correlaciona con una Hipertrofia Muscular Real**.

INICIALMENTE, EL AUMENTO DE LA CSA, SUELE RESPONDER A UNA CONGESTIÓN o HINCHAZÓN DE LA ESTRUCTURA CONSECUENCIA DEL DAÑO MUSCULAR GENERADO POR EL ENTRENAMIENTO



- **MEDIO PLAZO (≈ ≥ 10 sesiones):**

HIPERTROFIA MUSCULAR MODERADA

Aumentos iniciales de S.P.M. post-entrenamiento solo contribuye levemente a la Hipertrofia Muscular conforme desaparece el Daño Muscular.

- **LARGO PLAZO (≈ ≥ 18 sesiones):**

Sólo después de un prolongado proceso de entrenamiento se observa:

AUMENTO REAL DEL TAMAÑO Y LA MASA MUSCULAR

Relationship Between Muscle Swelling and Hypertrophy Induced by Resistance Training

Hirono T, Ikezoe T, Taniguchi M, Tanaka H, Saeki J, Yagi M, Umehara J. & Ichihashi N.

Journal of Strength and Conditioning Research, *36*(2), 359-364. 2022.

Hombres Jóvenes No Entrenados (N = 22)

ENTRENAMIENTO: Extensión de la Articulación de la Rodilla

(3 series x 8 repeticiones al 80% 1RM - 3 días/semana - Durante 6 semanas)

EVALUACIÓN: CSA DE CUÁDRICEPS

3 sitios (Proximal, Medial y Distal) del Muslo

- **CAMBIO AGUDO DE *CSA*:** Tras **1ª sesión** de RT, la Hipertrofia indica:

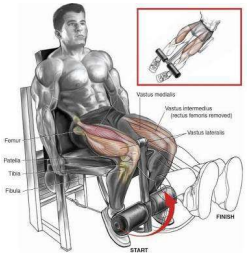


HINCHAZÓN MUSCULAR (CONGESTIÓN)

Se observó un aumento significativo (**8.3% ± 3.2%; p<0.001**) de *CSA* tras 1ª sesión

- **CAMBIO CRÓNICO DE LA *CSA*:** Tras **6 semanas** de RT se consigue:

HIPERTROFIA MUSCULAR REAL



CSA aumentó significativamente (**2.9 ± 2.6%; P<0.001**)



CORRELACIÓN POSITIVA SIGNIFICATIVA ENTRE

HINCHAZÓN MUSCULAR *vs*. HIPERTROFIA MUSCULAR

(ρ = 0.443, p=0.039)

Architectural, functional, and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle

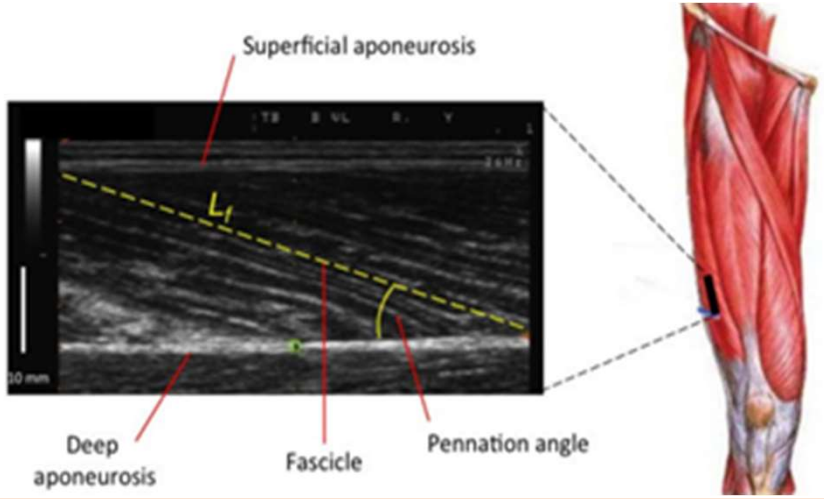
Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, Flück M, Williams J, Mitchell WK, Selby A, Beltrán MR & Narici MV.

Acta Physiologica, 210(3), 642-654. 2014.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

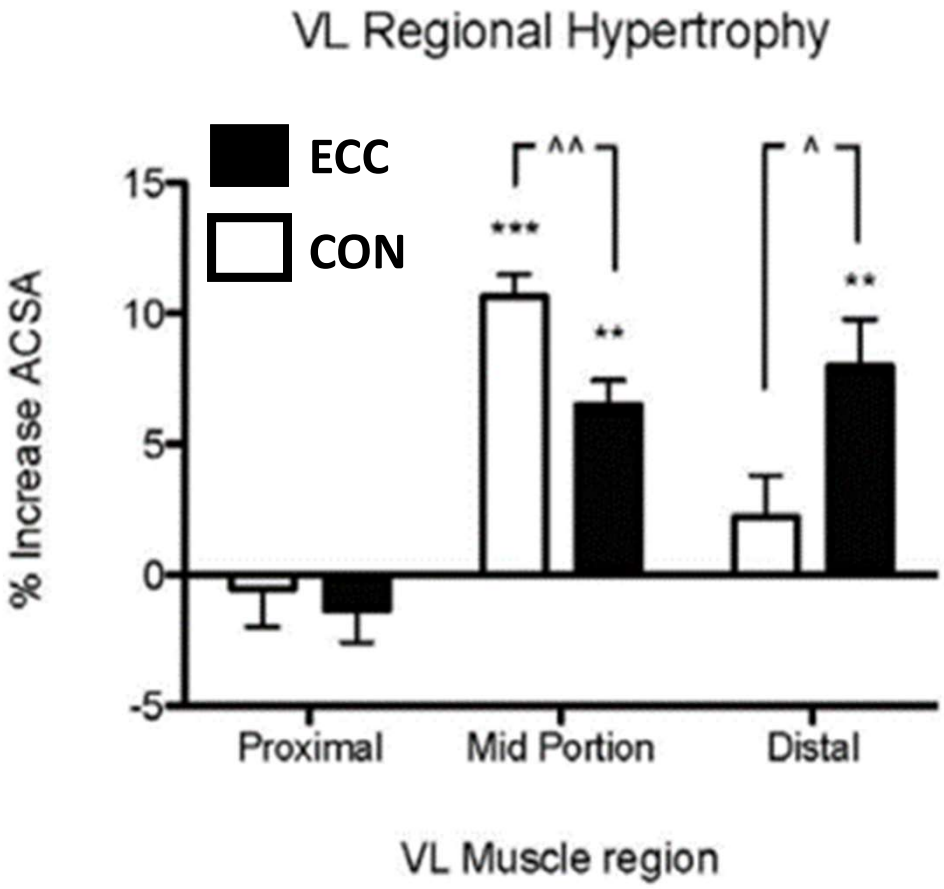
RESPUESTA ADAPTATIVA *vs*. TIPO DE ENTRENAMIENTO

La Hipertrofia Muscular se produce de forma diferente, y en distintos puntos, con el Trabajo Concéntrico (CON) o Excéntrico (ECC)



Las adaptaciones arquitectónicas se asociaron con un crecimiento preferencial en diferentes regiones:

- **Zona Distal de VL para Entreno ECC**
  (ECC: 8% vs. CON: 2%)
- **Vientre Medio para Entreno CON**
  (ECC: +7 vs. CON: + 11%)



HIPERPLASIA

Aumento del tamaño de un músculo (Hipertrofia) provocado por el aumento del Número de Fibras Musculares

“Un fenómeno aun por demostrar en humanos”

POTENCIALES MECANISMOS QUE SUBYACEN EN LA HIPERPLASIA

- **Formación “*de novo*” de fibras a partir de Células Satélite.**
- **División longitudinal a partir de fibras existentes. *Fiber Splitting* [Ramificación (*Branched*) de Fibras]**
- **Alargamiento de fibras que previamente no recorrían toda la longitud del músculo.**
- **Separación y mayor crecimiento de fibras inmaduras, previamente encerradas dentro de la membrana basal de fibras.**

Si ocurre, es probable que contribuya poco (<5%)

HIPERPLASIA ADULTA: MITO O REALIDAD

- LA HIPERPLASIA EN LOS MÚSCULOS ADULTOS SIGUE SIENDO DEBATIDO -

La mayoría de los estudios se basan en recuentos de miofibrillas por CSA lo que puede estar condicionado por cambios en la arquitectura del músculo (p. ej. Longitud de la fibra y/o Ángulo de penetración)

Solo existen 2 estudios que han abordado directamente si un estímulo similar al de fuerza puede alterar la cantidad de miofibrillas

- **Gonyea colaboradores:** contaron el Nº Miofibrillas en el flexor radial del carpo (gatos) sometidos a 60-129 semanas de entrenamiento con pesas. El entrenamiento provocó aumento del 9% en Nº de Miofibrillas por músculo (39.759 vs. 36.550 Miofibrillas/Músculo).

Exercise induced increases in muscle fiber number
Gonyea, W.J.; Sale, D.G.; Gonyea, F.B.; Mikesky, A.
European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 55, 137–141. 1986

- **Tamaki y colaboradores:** sometieron a ratas a ejercicios de levantamiento de pesas. Encontraron que el Nº Miofibrillas en el músculo plantar aumentó en un 14% después de 12 semanas de entrenamiento. La masa absoluta del plantar no se alteró significativamente y, por lo tanto, la causa del aumento en el número de fibras es difícil de interpretar.

A weight-lifting exercise model for inducing hypertrophy in the hindlimb muscles of rats
Tamaki, T.; Uchiyama, S.; Nakano, S.
Medicine & Science in Sports & Exercise, 24, 881–886. 1992.

MUSCLE FIBER SPLITTING IS A PHYSIOLOGICAL RESPONSE TO EXTREME LOADING IN ANIMALS

Murach KA, Dungan CM, Peterson CA. & McCarthy JJ. Exercise and Sport Sciences Reviews, 47(2), 108. 2019.

AUNQUE EXISTEN DIFERENTES MODELOS EXPLICATIVOS DE LA HIPERPLASIA

Nosotros nos inclinamos por el mecanismo según el cual una Fibra Muscular crece y llega a un

Punto Crítico

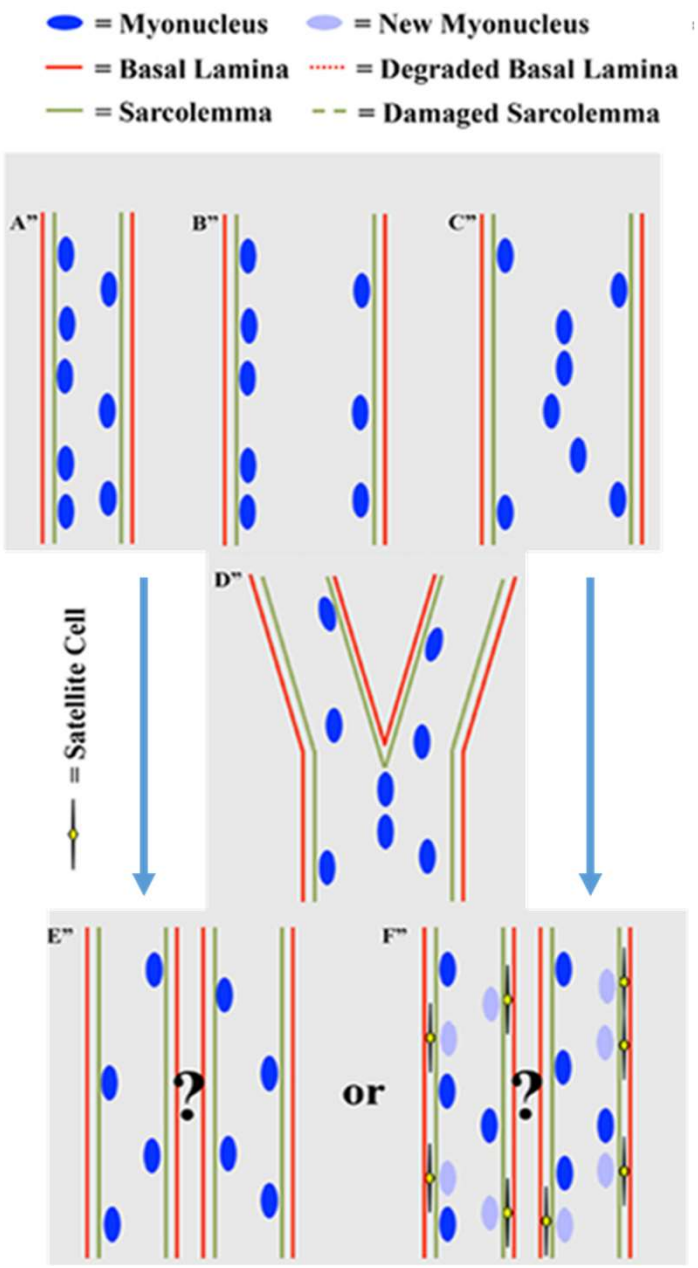
Hipertrofia Funcional Límite

(*Tamaño Crítico*)

a partir del cual la fibra se divide

"MUSCLE FIBER SPLITTING"

Aún no existen evidencias científicas concluyentes que demuestren que una fibra dividida pueda convertirse en dos fibras musculares diferentes o que se requiera que las Células Satélite se fusionen para mantener una nueva fibra muscular.

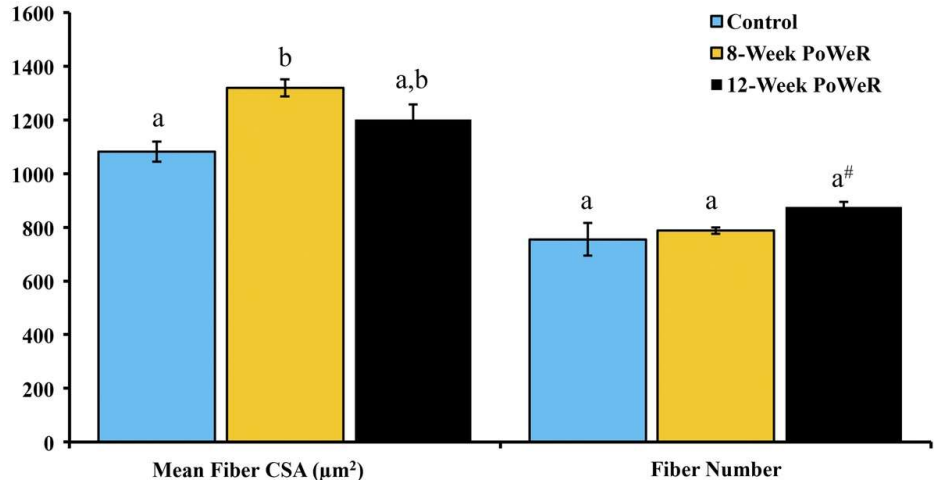


Muscle Fiber Splitting Is a Physiological Response to Extreme Loading in Animals

Kevin A. Murach, Cory M. Dungan, Charlotte A. Peterson & John J. McCarthy

Exercise and Sport Sciences Reviews, 47(2), 108-115. 2019.

HIPERPLASIA
DIVISIÓN DE FIBRAS

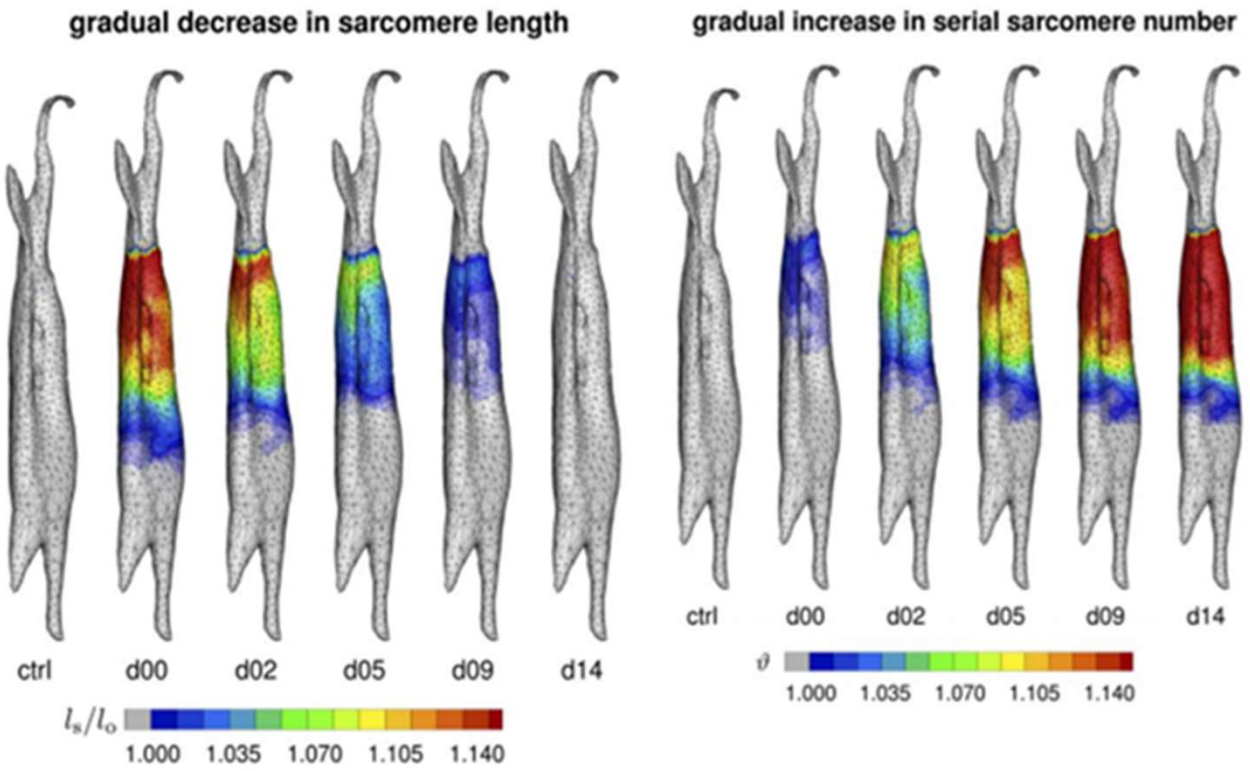


- **División de fibras** se produce con a carga muscular extrema y su posterior hipertrofia.
- Se ha documentado en modelos de hipertrofia animal no asociados a marcada *Respuesta Degeneración-Regeneración*, lo que sugiere **no ser patológico**.
- Puede producirse aumento del Nº de fibras musculares en ausencia de Células Madre Musculares (*Células Satélite*).
- **Algunas evidencias sugieren que la división de fibras en respuesta a una fuerte tensión muscular o hipertrofia puede ocurrir en humanos, pero puede limitarse a aquellos sujetos que usan esteroides exógenos durante el entrenamiento**.
- No se comprende bien hasta qué punto la división de las fibras o la hiperplasia auténtica contribuyen a la hipertrofia de fibras musculares inducida por el Entrenamiento de Fuerza.

LONGITUD DEL MÚSCULO

SARCÓMERO, MIOFIBRILLAS, FIBRAS & MÚSCULOS





LA LONGITUD DE UNA MIOFIBRILLA DEPENDE DE:

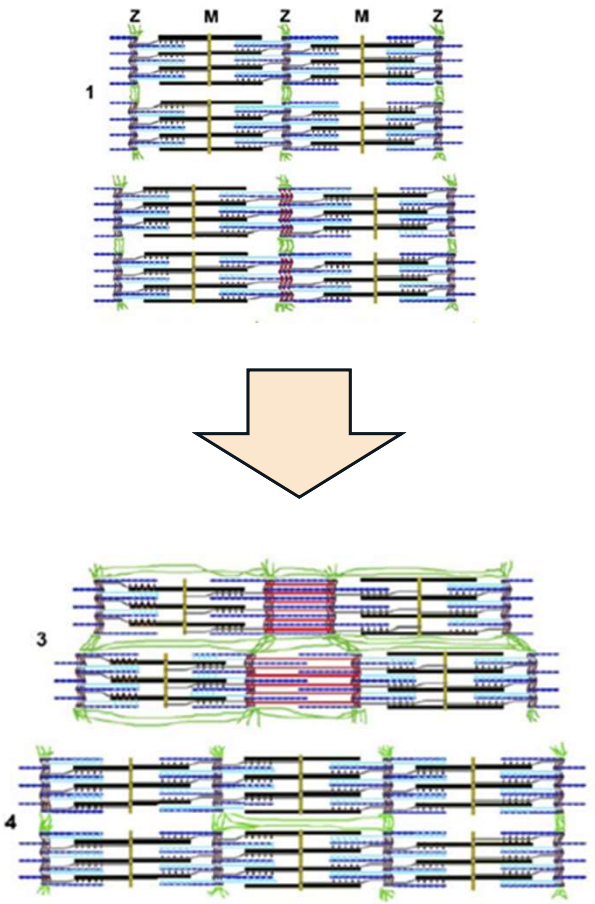
TAMAÑO DE SARCÓMEROS Y DEL NÚMERO DE SARCÓMEROS EN SERIE

PRINCIPALES ADAPTACIONES ESTRUCTURALES

CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN SARCÓMEROS, MIOFIBRILLAS Y FIBRAS DETERMINA:

TAMAÑO Y FORMA DEL MÚSCULO

- **CAMBIOS EN LA LONGITUD DEL MÚSCULO**
  - **AUMENTO DE LONGITUD DE LOS SARCÓMEROS**
    - Cambios en la Longitud de las Miofibrillas
    - Cambios en la Longitud de la Fibra
    - Cambios en la Longitud del Músculo
  - **SARCOMEROGÉNESIS:** Creación nuevos sarcómeros
    - Ruptura de Banda Z



Mecanismo de creación en serie de nuevos Sarcómeros mediante la División Transversal de Banda Z

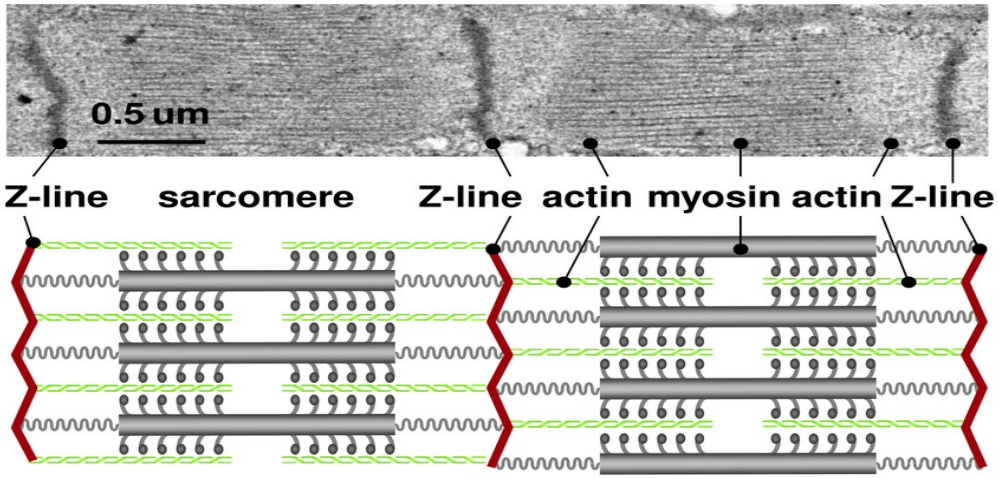
Do adaptations in serial sarcomere number occur with strength training?

Timothy J. Koh

Human Movement Science, 14(1), 61-77. 1995.

UIC UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO



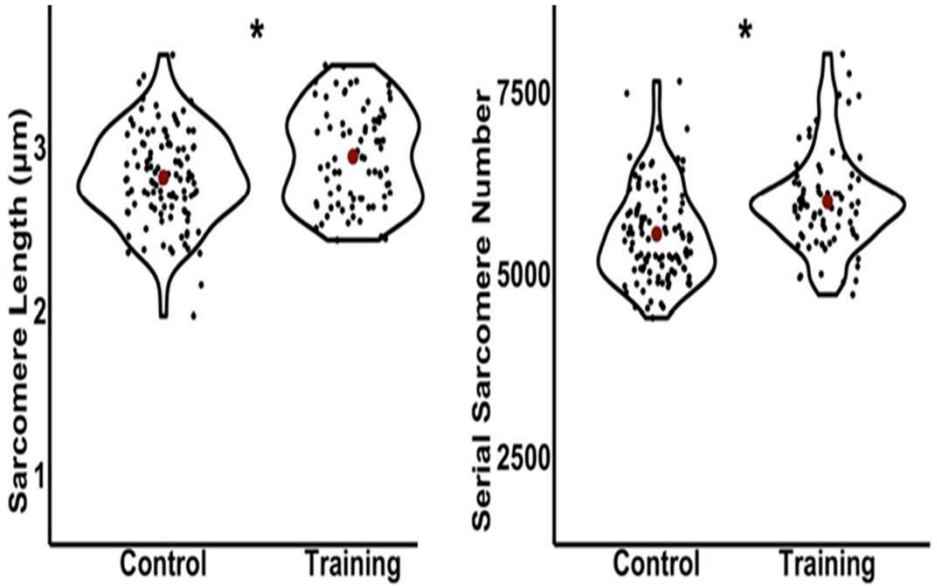


- **Importantes y rápidas adaptaciones ocurren con el número de sarcómeros en serie (disminución) como respuesta a la inmovilización prolongada de un músculo (i.e. escayola) o prolongados espacios de tiempo en reposo**
- **También hay evidencias que sugieren que el Entrenamiento de la Fuerza puede influir en las adaptaciones del número de sarcómeros en serie en función del rango de trabajo y el tipo de contracción (Concéntrica *vs*. Excéntrica).**
- **Estas adaptaciones podrían conducir a cambios en las propiedades mecánicas del músculo (i.e. Curvas Fuerza-Longitud o Fuerza-Tiempo) y en la Fuerza Muscular expresada en diferentes Ángulos Articulares**

An increase in serial sarcomere number induced via weighted downhill running improves work loop performance in the rat soleus.

Hinks A, Jacob K, Mashouri P, Medak KD, Franchi MV, Wright DC, ... & Power GA.

bioR$_x$iv, doi: https://doi.org/10.1101/2022.02. 2022.



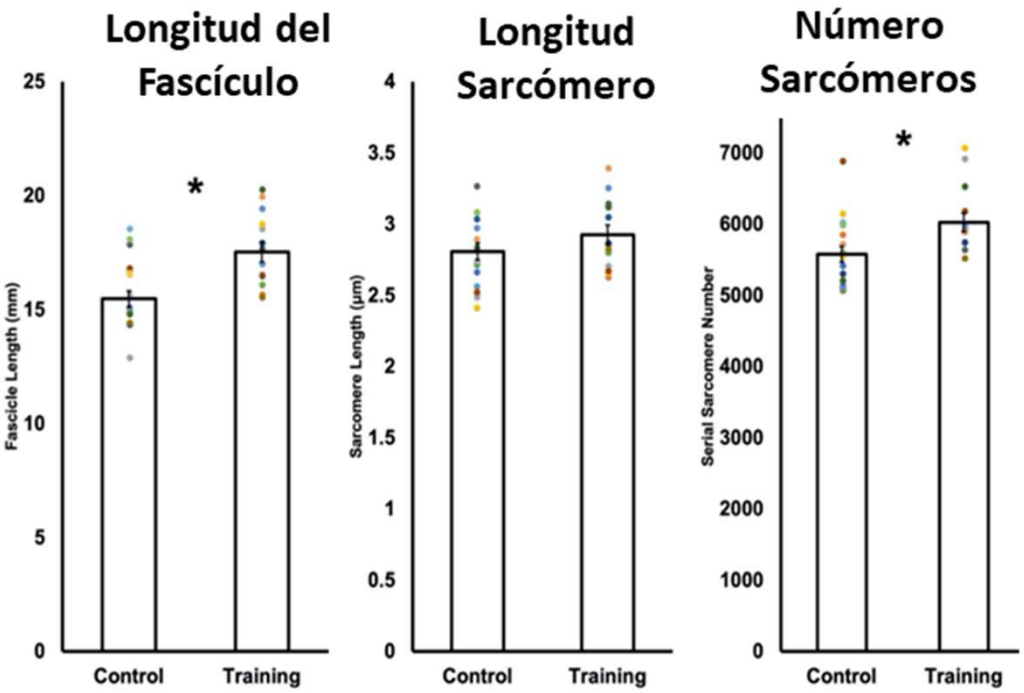
PROTOCOLO

4 semanas de entrenamiento de carrera cuesta abajo con peso (5 a 15% PC)



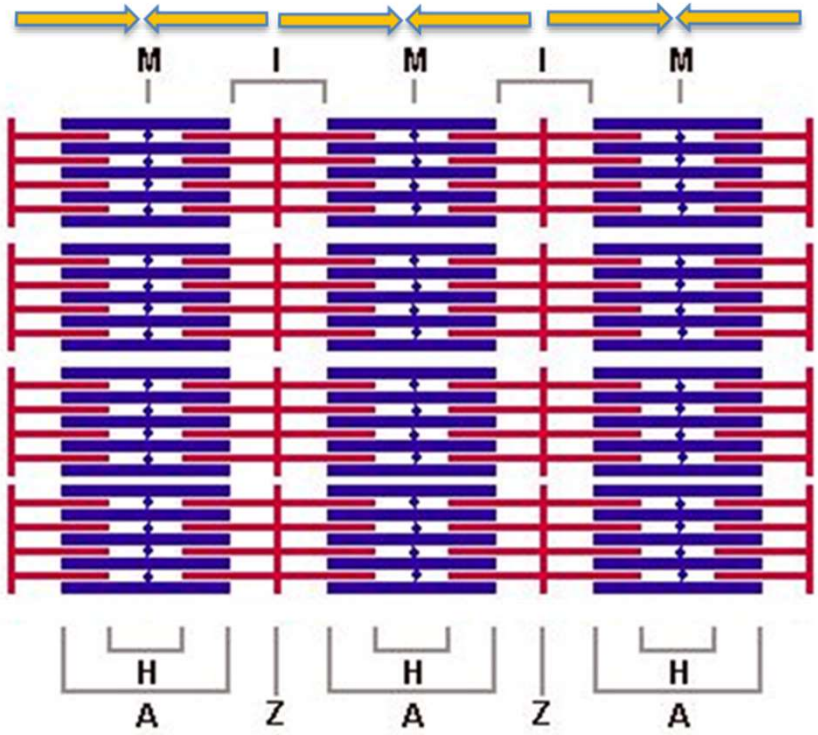
UNIVERSITY of GUELPH





Las ratas entrenadas mostraron fascículos de mayor longitud (+13%), mayor número de sarcómeros en serie (+8%) y mayor fuerza (+50%) que las del Grupo de Control (P<0,05).

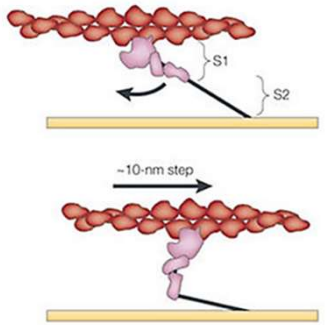
HIPERTROFIA TRANSVERSAL



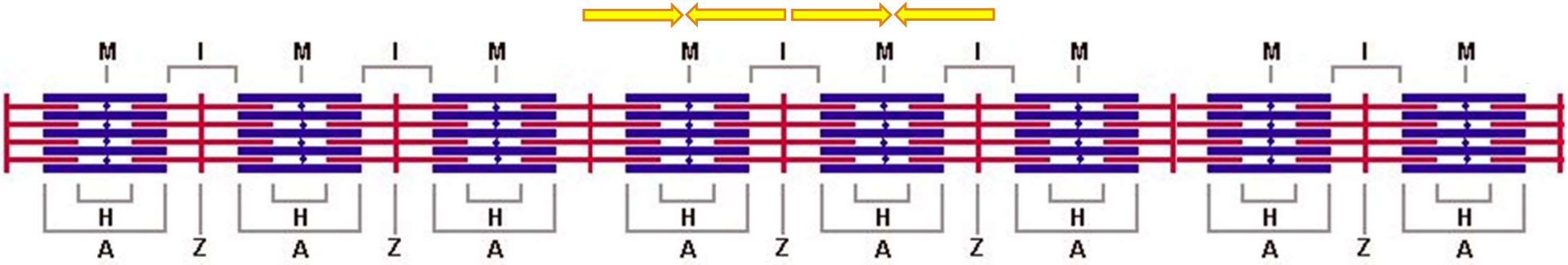
Δ Número de Sarcómeros en Paralelo

Más Puentes Actina-Miosina

FUERZA



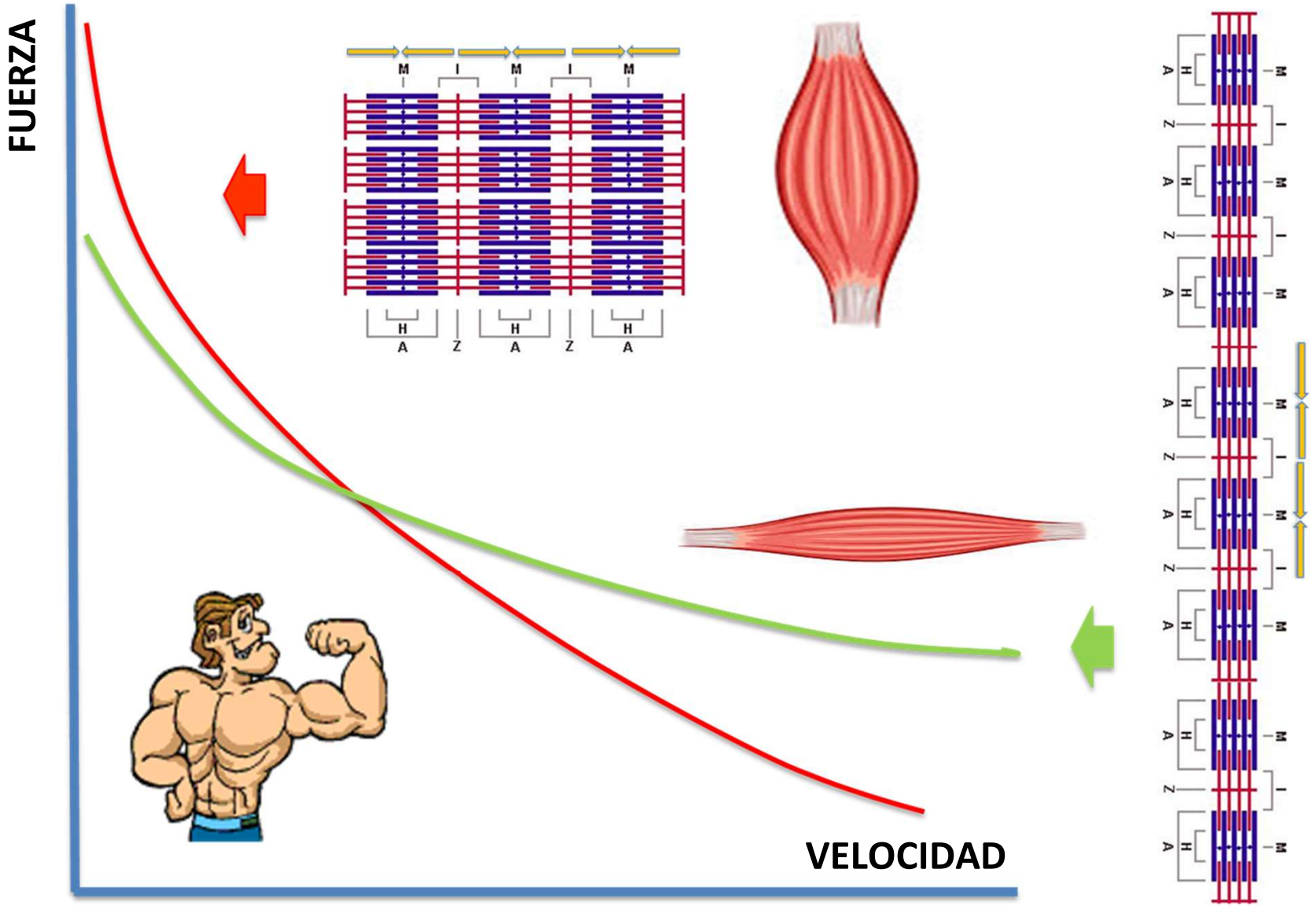
HIPERTROFIA LONGITUDINAL



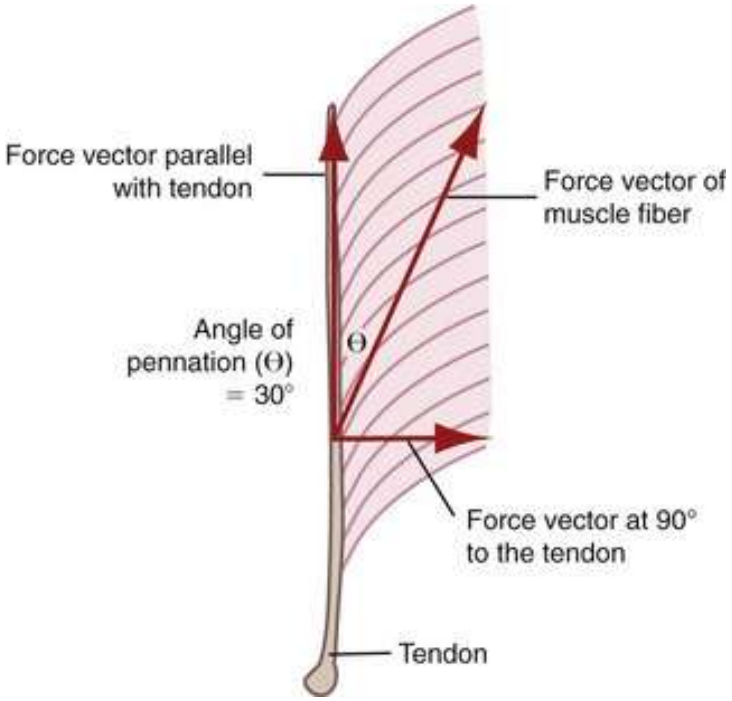
Δ Nº de Sarcómeros en Serie ⇒ Acortamiento Simultáneo ⇒ Δ VELOCIDAD

POTENCIA

TIPO DE HIPERTROFIA *vs*. CURVA FUERZA/VELOCIDAD



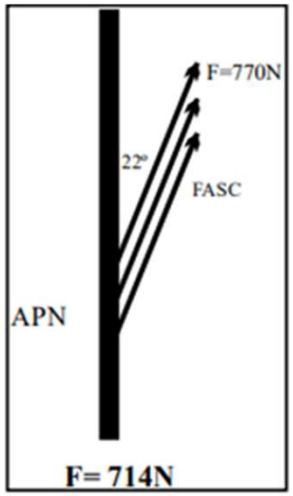
EFECTO DEL ÁNGULO DE PENNEACIÓN SOBRE LA FUERZA MUSCULAR

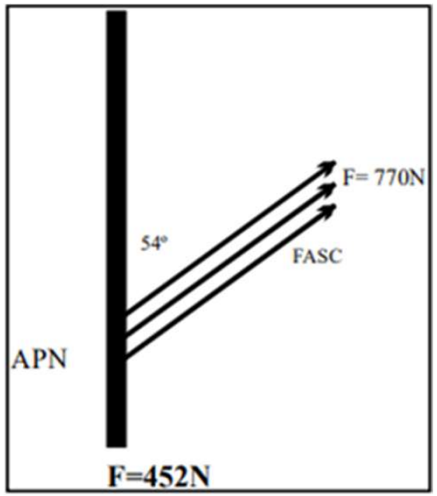


FUERZA TRASMITIDA AL TENDÓN

vs.

FUERZA EN EL MÚSCULO x COSENO DE α





La Fuerza Muscular por *CSA* está inversamente relacionada con el Ángulo de Peneación, especialmente en atletas entrenados en fuerza

Un Ángulo de Peneación más grande se asocia con menos Fuerza en relación con el *CSA* muscular en atletas entrenados en Fuerza (Sujetos muy Hipertrofiados: Culturistas)

University of Southern Denmark

A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture.
Aagaard P, Andersen JL, Dyhre P, Leffers AM, Wagner A, Magnusson SP. ... & Simonsen EB.
The journal of physiology, 534(2), 613-623. 2001.

Los cambios en "CSA Anatómica", por efecto del entrenamiento o la inactividad pueden NO REFLEJAR siempre cambios en la "CSA Fisiológica" y, por tanto NO REFLEJAR su capacidad de generar Fuerza, ya que se podría producir también un cambio simultáneo en el Ángulo de Pennación (*AP*) de la fibra

- CSA y Volumen aumentaron (77,5±3,0 a 85,0±2,7 cm^2 y 1676±63 a 1841±57 cm^3).
- AP (8,0º±0,4 a 10,7º±0,6) y CSA de la fibra (3754±271 a 4238±202 μm^2) también aumentaron.
- Fuerza Isométrica del cuádriceps aumentó (282,6±11,7 Nm a 327,0±12,4 Nm).
- Relación positiva entre AP y volumen del cuádriceps antes del entrenamiento (r=0,622).
  - Tras el entrenamiento esta relación aumentó (R = 0,728).
- Aumentos en la CSA de fibra se relacionó con el aumento del Volumen del cuádriceps (r=0,749).
- El PA de la fibra del VL aumenta en respuesta al entrenamiento de Fuerza.
- Esto permitió que la CSA de una sola fibra muscular y la fuerza contráctil máxima aumentaran más (+16 %) que la CSA y el Volumen del Músculo (+10 %).

Sugieren que existe una relación estrecha entre Morfología, Arquitectura & Capacidad Contráctil del músculo *vs*. Ángulo de Penneación



TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY

Muscle force per cross-sectional area is inversely related with pennation angle in strength trained athletes

Ikegawa S, Funato K, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. & Kawakami Y. The Journal of Strength & Conditioning Research, 22(1), 128-131. 2008.

Ángulo de Pennación mayor se asocia con Niveles de Fuerza/*CSA* más bajos en Atletas Entrenados en Fuerza

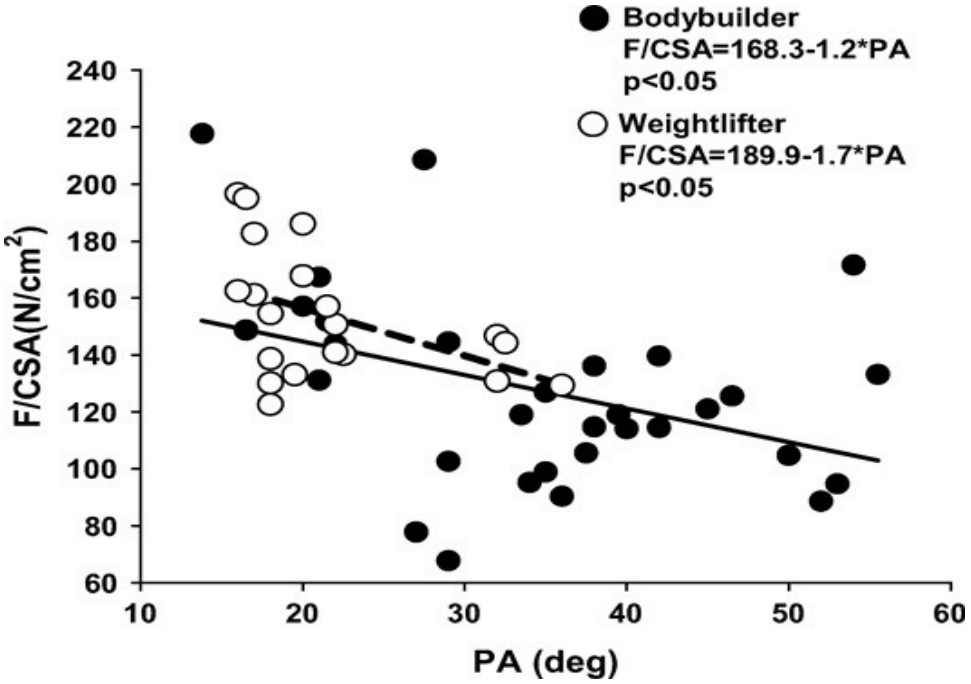
MUESTRA:

32 Culturistas ♂ (Edad: 29±9,2 años; Estatura, 170,1±6,1 cm; PC**:** 76,6±15,6 kg)

20 Halterófilos ♂ (Edad: 18,1±3,6 años; Estatura: 167,3±7,0 cm; PC: 70,2±19,7 kg)

*$P < 0.01$. †$P < 0.001$	Bodybuilders	Weightlifters
CSA (cm^2)	36.8 (10.3)	23.6 (5.86)†
F (N)	4499 (1157)	3554 (725)†
PA (deg)	34.4 (11.7)	21.7 (6.22)*
F/CSA (N/cm^2)	127.7 (34.0)	153.5 (22.4)*

Relación F/CSA correlacionó negativamente con el Ángulo de Penneación (PA) entre Culturistas y en Levantadores de Pesas





The contribution of muscle hypertrophy to strength changes following resistance training

Robert M. Erskine, Gareth Fletcher & Jonathan P. Folland

European Journal of Applied Physiology, 114(6), 1239-1249. 2014.

Univesity College London

EFECTO DEL ENTRENAMIENTO

Muscle variable	Pre	Post	Change (%)	Min (%)	Max (%)
Muscle volume (cm^3)					
Biceps brachii	178.1 ± 31.9	208.7 ± 37.9*	17.3 ± 6.5	+5.9	+33.7
Brachialis	153.3 ± 27.9	175.3 ± 33.2*	14.3 ± 6.3	+1.6	+33.1
Brachioradialis	68.5 ± 14.7	79.5 ± 16.5*	16.5 ± 7.5	+3.7	+34.4
Total elbow flexor	400.0 ± 66.7	463.6 ± 79.2*	15.9 ± 6.0	+5.0	+33.4
$ACSA_{max}$ (cm^2)					
Biceps brachii	11.5 ± 2.1	13.5 ± 2.5*	16.9 ± 6.4	+6.6	+34.2
Brachialis	12.0 ± 1.8	13.8 ± 2.1*	15.1 ± 6.6	+1.3	+32.5
Brachioradialis	4.1 ± 0.8	4.8 ± 0.8*	16.0 ± 8.5	0.0	+35.1
$\sum ACSA_{max}$	27.7 ± 4.1	32.1 ± 4.8*	15.9 ± 5.8	+6.0	+33.6
θ_p (°)					
Biceps brachii	14.4 ± 2.8	16.8 ± 3.4*	17.2 ± 8.3	+5.0	+35.6
Brachialis	10.8 ± 1.6	12.3 ± 1.6*	15.2 ± 9.0	+3.1	+35.6
Mean elbow flexor	12.6 ± 1.4	14.6 ± 1.7*	16.2 ± 7.5	+4.5	+35.1

♂

Nivel de Rendimiento



Variable

TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY

Variable	MM- 10.0-10.9 Mean ± SD	MM- 10.0-10.9 Range	MM – 11.0-11.8 Mean ± SD	MM – 11.0-11.8 Range
Grosor Músculo Aislado (cm.)				
Vasto lateral	2.75 ± 0.30	2.3-3.3	2.67 ± 0.32	2.2-3.2
Gastrocnemio medial	2.37 ± 0.37	1.9-3.1	2.25 ± 0.19	2.0-2.6
Gastrocnemio lateral	1.93 ± 0.23	1.6-2.6	1.71 ± 0.20	1.3-2.0
Ángulo Penneación (°)				
Vasto lateral	19.0 ± 3.2	12-26	21.1 ± 2.1	16-24
Gastrocnemio medial	21.4 ± 2.9	16-30	23.5 ± 2.6	19-28
Gastrocnemio lateral	14.0 ± 1.4	12-16	15.2 ± 2.1	12-19
Longitud del fascículo (cm.)				
Vasto lateral	8.63 ± 1.42	5.9-12.0	7.45 ± 1.04	5.8-9.8
Gastrocnemio medial	6.62 ± 1.35	4.6-10.4	5.70 ± 0.65	4.5-6.8
Gastrocnemio lateral	8.07 ± 1.49	6.2-12.8	6.55 ± 0.68	5.5-7.9
Longitud fascículo/Longitud miembro				
Vasto lateral	0.22 ± 0.04	0.15-0.32	0.19 ± 0.02	0.15-0.25
Gastrocnemio medial	0.17 ± 0.03	0.12-0.25	0.14 ± 0.02	0.12-0.18
Gastrocnemio lateral	0.21 ± 0.04	0.16-0.32	0.16 ± 0.02	0.13-0.20

Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters

K Kumagai, T Abe, WF. Brechue, T Ryushi, S Takano, M Mizuno

Journal of Applied PhysiologY; 88: 811-816. 2000

Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners

Abe T, Kumagai K & Brechue WF

Medicine Science in Sports and Exercise, 32(6), 1125-1129. 2000.

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

MUESTRA

♂



VELOCISTAS
100-m (SPR)
10.0–10.9



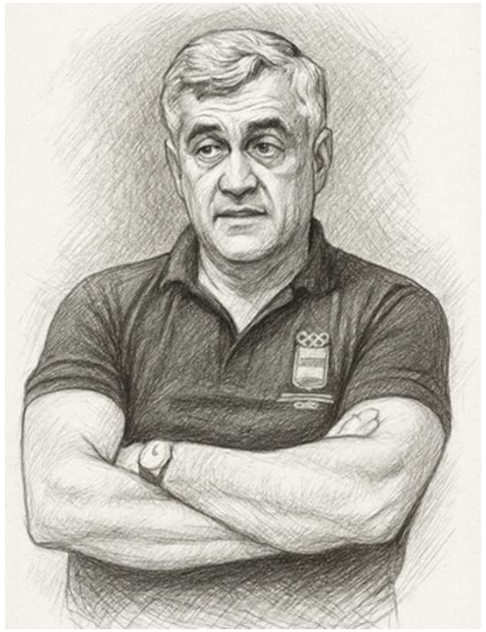
FONDISTAS
5000 m (DR)
5000: 13.50–14.50



Untrained (CON)

Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo

Dr. Juan Manuel García Manso



"ENTENDIENDO LA FUERZA"

RESPUESTA ADAPTATIVA

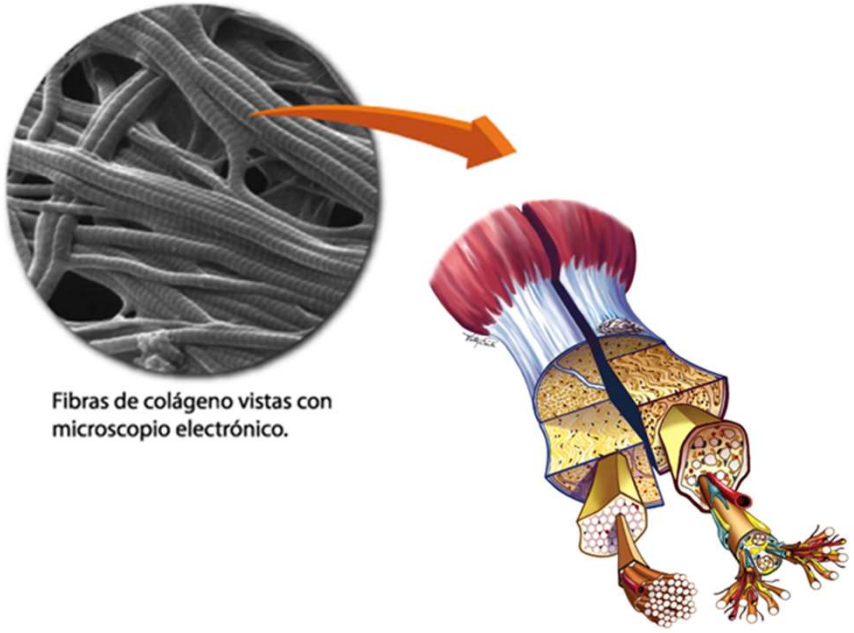
ADAPTACIONES ESTRUCTURALES (b)

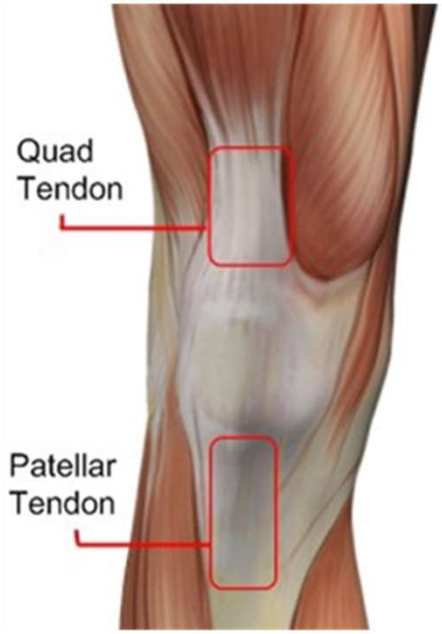
(Componentes: Tejidos Conjuntivo y Graso)

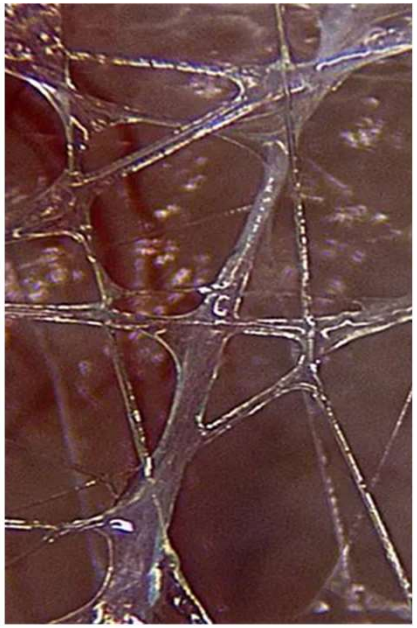
TEJIDO CONJUNTIVO

(TEJIDO CONECTIVO)

TEJIDO FUNDAMENTAL MÁS ABUNDANTE DEL ORGANISMO
Derivado del Mesodermo Embrionario
(MESODERMO DORSAL SOMÍTICO)


Fibras de colágeno vistas con microscopio electrónico.





Tejido que Sostiene, Protege y da Estructura a otros Tejidos y Órganos del Cuerpo

FUNCIONES DEL TEJIDO CONJUNTIVO (CONECTIVO)

- **CONDICIONANTE DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO**

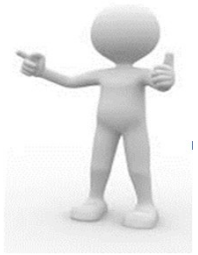
  STIFFNESS & COMPORTAMIENTO ELÁSTICO (*VISCOELÁSTICO*) MUSCULAR

  CONEXIÓN: Entre Huesos, Músculos, Ligamentos, Tendones, Fascias y/o Células.

  VÍA DE TRANSMISIÓN DE SEÑALES MECÁNICAS (MECANOTAXIS)

- **SOPORTE :** Ayuda al cuerpo a mantener la forma anatómica de células, órganos y de diferentes estructuras corporales.

  DAN SOSTÉN Y AYUDA EN LA FORMA (MORFOGÉNESIS)



- **PROTECCIÓN DE ÓRGANOS**: Protege y envuelve los órganos y los separa.
- **ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA METABÓLICA:** En tejido adiposo (TC especializado).
- **FUNCIONES METABÓLICAS:**
  - Los metabolitos que transporta la sangre pasan desde el lecho vascular a los tejidos y células a través de Tejido Conjuntivo
  - Los metabolitos sobrantes de las células y tejidos (*detritos*) hacen el camino inverso.
- **REGULACIÓN DE LA DIFUSIÓN DE SUSTANCIAS**.
- **FORMACIÓN DE TEJIDO CICATRICIAL**: Recuperación de tejidos dañados.



TEJIDO CONJUNTIVO (CONECTIVO)

(DESDE UN PUNTO DE VISTA BIOMECÁNICO)



Existen Cuatro Estructuras principales con Tejido Conectivo:

Huesos, Músculos, Tendones & Articulaciones

Cada uno de ellos con diferentes proporciones de distintos tipos de

COMPONENTES MOLECULARES

- **COLÁGENOS DE TIPO FIBRILAR**:
  Responsables de **RESISTENCIA A LA TRACCIÓN;**
- **ELASTINA**:
  Responsable de la **ELASTICIDAD** del tejido;
- **PROTEOGLICANOS**:
  Responsables de la **HIDRATACIÓN**, **LUBRICACIÓN** y **ALMOHADILLAMIENTO** del tejido;
- **FOSFATO CÁLCICO (HIDROXIAPATITA):**
  Responsable de la **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (**Sólo en Tejido Óseo**)**.

La cantidad varía en función del **TIPO DE TEJIDO**

Componentes Sintetizados y Excretados por:
Fibroblastos, Condrocitos & Osteocitos

TIPOS DE TEJIDO CONECTIVO

TEJIDO CONJUNTIVO ESPECIALIZADO

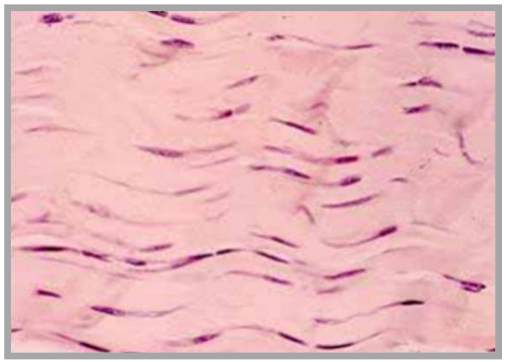
- Tejido Óseo
- Tejido Adiposo
- Tejido Cartilaginoso
- Tejido Hematopoyético
- Tejido Linfático

TEJIDO CONJUNTIVO NO ESPECIALIZADO

- Tejido Conjuntivo Laxo
- **TEJIDO CONJUNTIVO DENSO**



TIPOS DE TEJIDO CONECTIVO DENSO



TEJIDO CONECTIVO DENSO
(Tejido Fibroso Denso)

Tejido con elevada proporción de Fibras de Colágeno densamente empaquetadas

REGULAR
(Orientado)

ORGANIZACIÓN EN FIBRAS PARALELAS DE COLÁGENO

- **LIGAMENTOS**
- **TENDONES**

ORGANIZACIÓN MULTICAPA DE FIBRAS DE COLÁGENO

- **FASCIA APONEURÓTICA**
  - Fascia Toraco-Lumbar
  - Vaina del Recto Abdominal
  - Fascia Profunda de los Miembros (MS y MI)
  - Fascia Plantar
- **FASCIA EPIMISIAL**
  - Fascia Profunda del Tronco
  - Epimisio de los Músculos del MS y MI.

IRREGULAR
(No Orientado)

CAPSULAS DE HÍGADO, INTESTINO, DERMIS, ETC.

TENDONES

Los TENDONES son estructuras musculares que permiten el movimiento al transmitir las fuerzas musculares al esqueleto

Al estirarse, los tendones almacenan y liberan energía elástica permitiendo desarrolla fuerza elástica y reducir el coste energético del movimiento

Son estructuras mecanosensibles que, con episodios de carga (mantenidos o repetidos) elevan los niveles de síntesis de colágeno

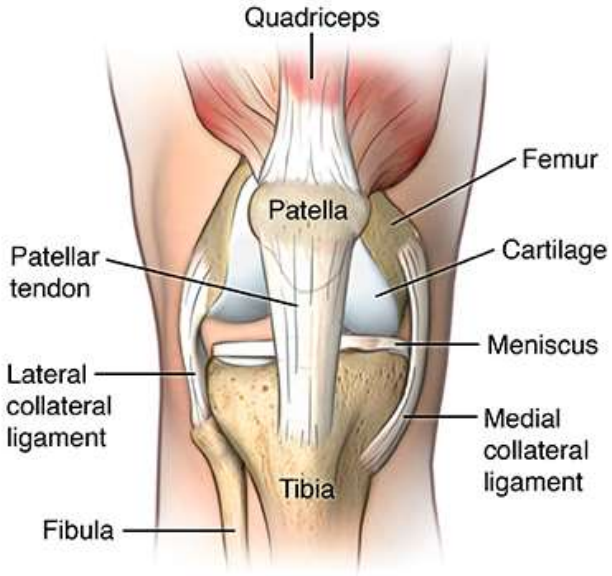




TENDONES

Generalmente, las Fibras Musculares se insertan a través de la Matriz Extracelular (M.E.C.) en *Aponeurosis Anastomatosas* que a su vez se fusionan para convertirse en tendones en forma de cuerdas de diferentes dimensiones

(i.e. Tendón Rotuliano (Cuádriceps & Patelar) & Tendón de Aquiles)





Durante su deformación (*Estiramiento*) activa su capacidad para almacenar y liberar energía mecánica (*Elástica*) con mínima disipación energética (*Histéresis*)

La deformación o rigidez del Tendón modula la producción o eficiencia de la Fuerza Contráctil durante los esfuerzos dinámicos al influir en la longitud operativa de los fascículos musculares involucrados

Achilles tendon material properties are greater in the jump leg of jumping athletes

Bayliss AJ, Weatherholt AM, Crandall TT, Farmer DL, McConnell JC, Crossley KM& Warden SJ.

The Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions
16(2), 105-12. 2016.

INDIANA UNIVERSITY
INDIANAPOLIS

	CONTROL	SALTADORES
- Age (yr)	22.4±3.3	20.9±2.1
- Age starting competitive jumping (yr)	-	14.2±1.9
- Year competing (yr)	-	6.7±3.2
- Jumping sport (long:high jump)	-	10:6[b]
- Jump training per week (min)	-	195±97
- Jumps per week (n)	-	70±39
- Personal best: long jump (m)	-	7.05±0.50
- Personal best: high jump (m)	-	1.97±0.18

Los datos demuestran que la exposición crónica del TA a cargas elevadas produce una adaptación de sus propiedades mecánicas y estructurales

El TA de la pierna de batida de atletas universitarios masculinos presentó un 17,8 % y 24,4 % más de rigidez y módulo de Young que la pierna de apoyo contralateral

	Controls		Jumpers		Two-way ANOVA results		
Tendon property	Lead leg	Jump leg	Lead leg	Jump leg	Activity	Leg	Interaction
Resting length (mm)	234±32	235±29	239±27	238±27	NS	NS	NS
CSA (mm^2)	61.0±12.0	60.9±10.8	59.3±8.6	61.1±10.9	NS	NS	NS
Force (N)	1650±728	1809±659	2366±922	2578±633	<0.05	0.03	NS
Elongation (mm)	13.7±4.2	14.2±3.5	16.2±3.2	15.3±3.8	NS	NS	NS
Stress (MPa)	27.1±10.9	29.9±9.6	39.6±12.8	43.5±8.6	0.01	0.04	NS
Strain (%)	5.93±1.85	6.23±1.87	6.85±1.52	6.37±1.99	NS	NS	NS

UNIVERSITÄT SALZBURG

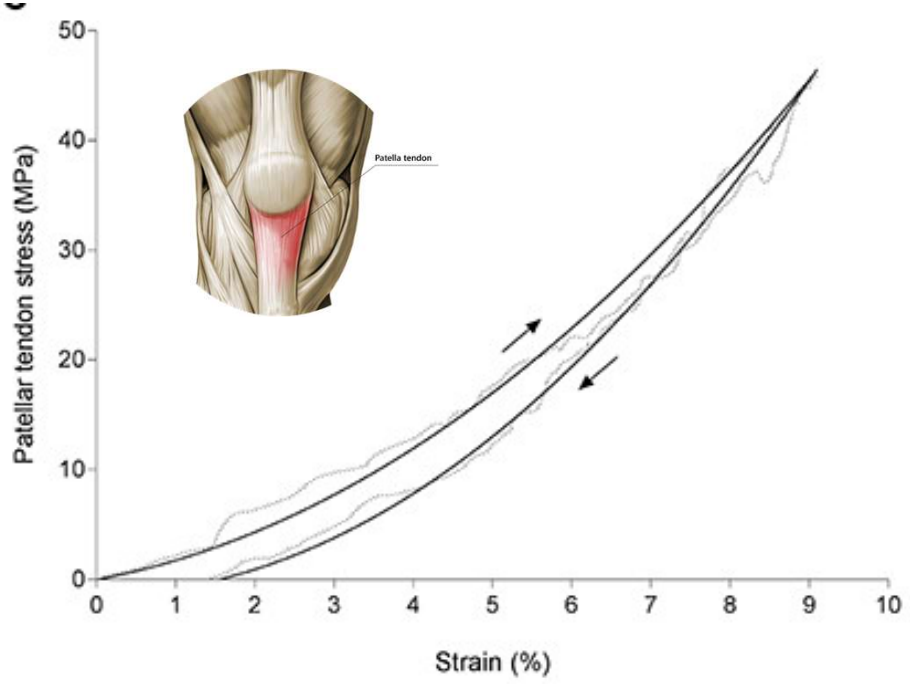
Sport-specific capacity to use elastic energy in the patellar and Achilles tendons of elite athletes

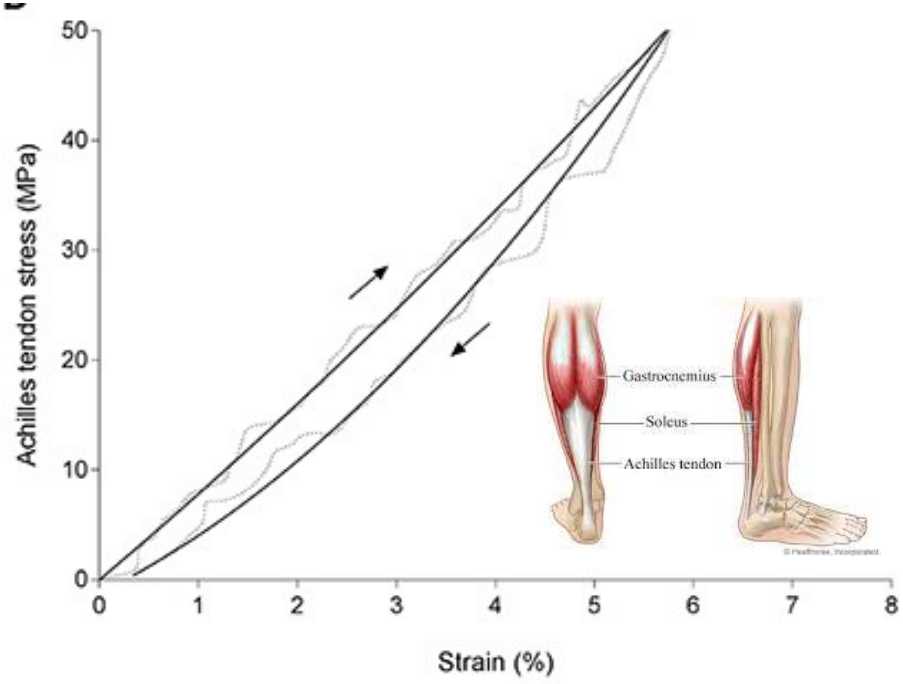
Wiesinger, H. P., Rieder, F., Kösters, A., Müller, E., & Seynnes, O. R.

Frontiers in Physiology, 8, 132. 2017.

La energía de retorno elástico del TA por unidad de masa es:
≈40 % mayor en saltadores de esquí y corredores que en GC
≈50 % mayor en la TP de saltadores de esquí que jugadores de waterpolo y GC

Comparación entre grupos de la eficiencia de los Tendones rotuliano y Aquiles



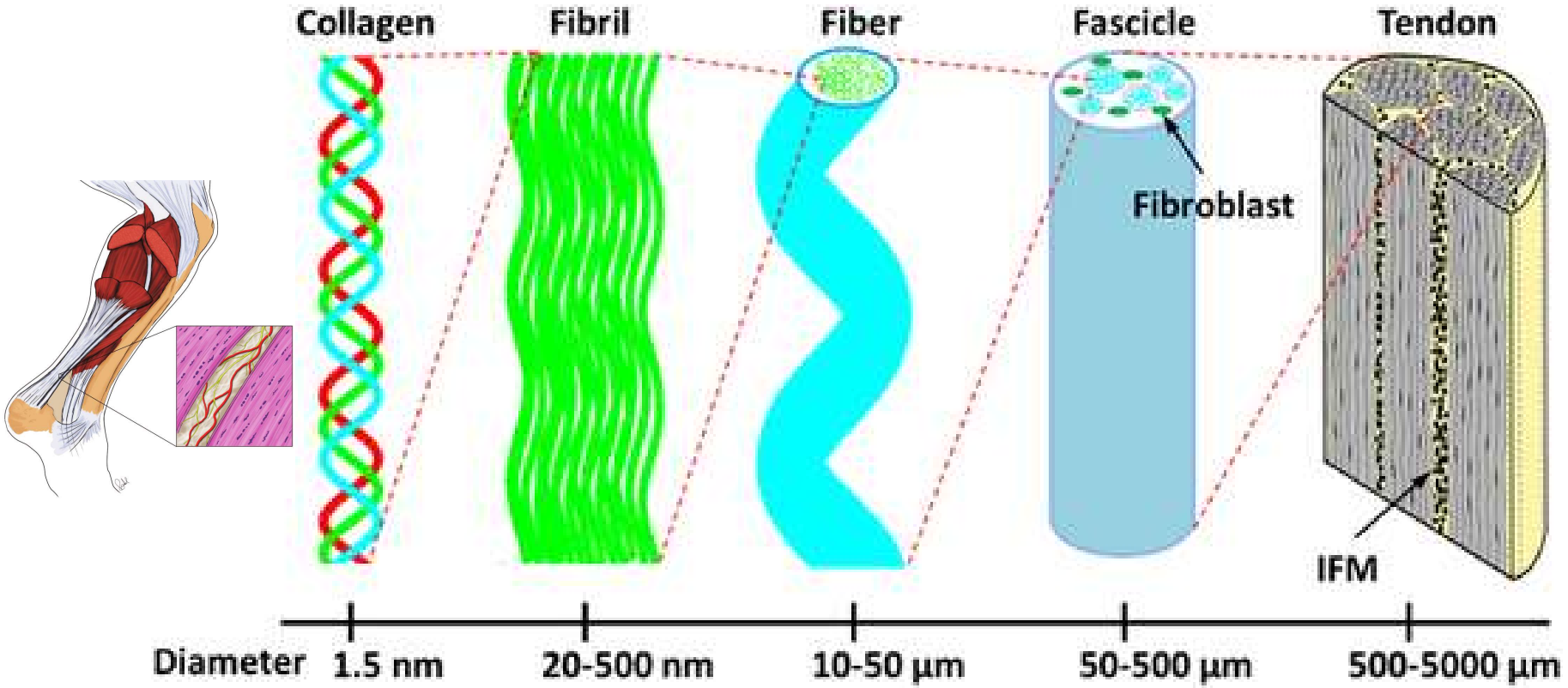


THE UNIVERSITY OF AUCKLAND
NEW ZEALAND

Nomenclature of the tendon hierarchy:
an overview of inconsistent terminology and a proposed size-based naming scheme with terminology for multi-muscle tendons

Geoofrey G. Handsfield, Laura C. Slane & Hazel R. Screen
The Journal of Biomechanics, 49, 3122–3124. 2016.

Esquema de estructura jerárquica multiescalar del tendón



Dado que el tendón tiene una estructura fibrilar multiescala altamente ordenada, que abarca desde la escala molecular hasta la escala tisular, la evaluación de la mecánica del tendón debe realizarse en cada escala, en los vínculos entre diferentes escalas de longitud y en escalas de longitud adyacentes

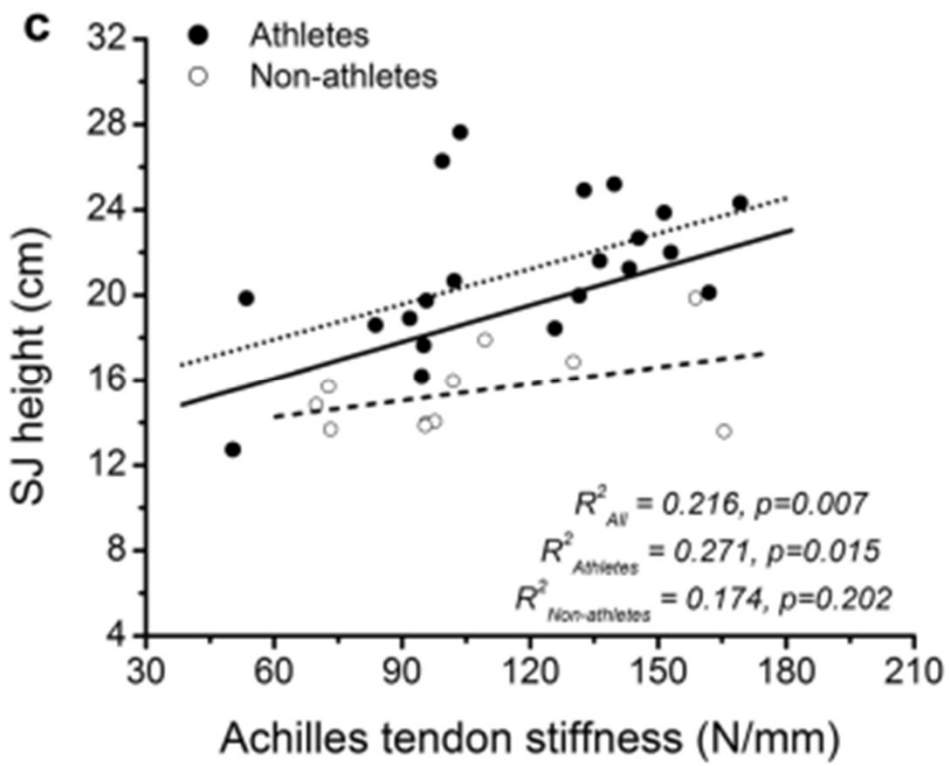
Effects of long-term athletic training on muscle morphology and tendon stiffness in preadolescence: association with jump performance

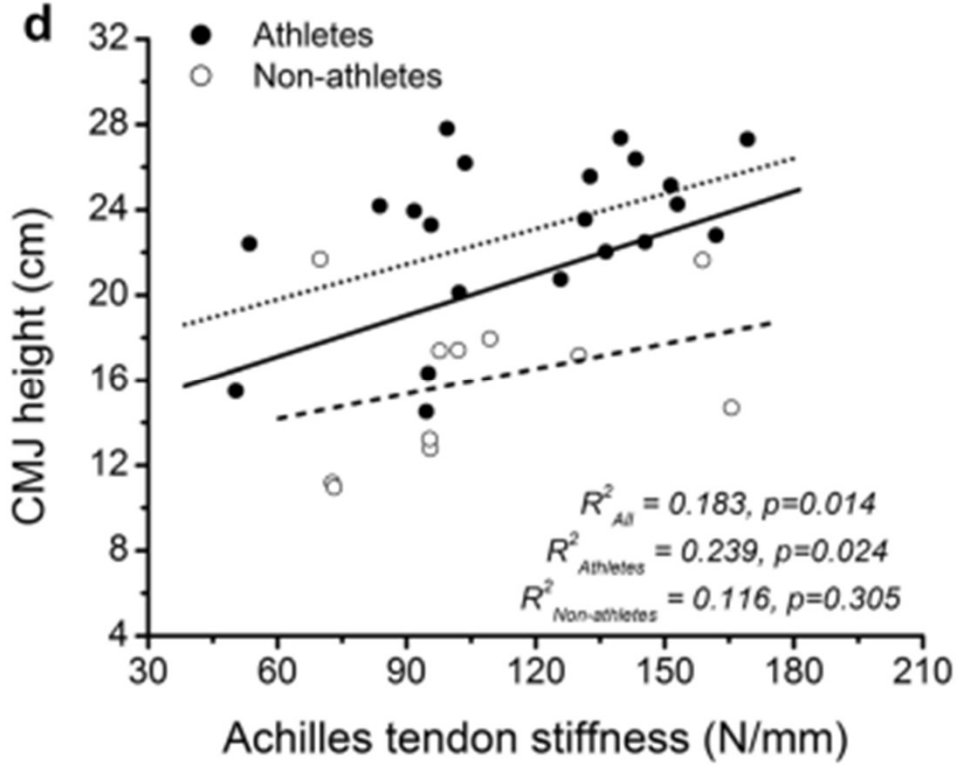
Pentidis, N., Mersmann, F., Bohm, S., Giannakou, E., Aggelousis, N., & Arampatzis, A.

European Journal of Applied Physiology, 120, 2715-2727. 2020.

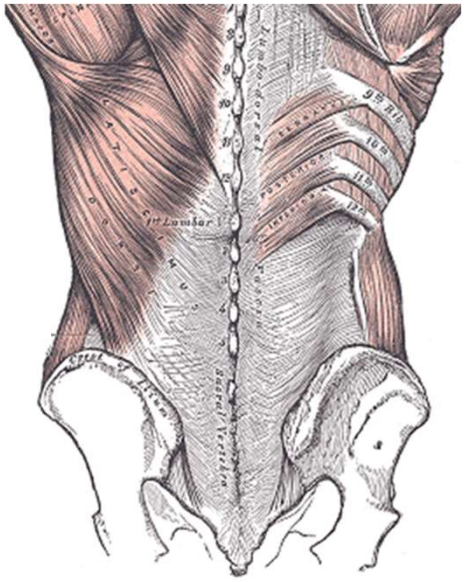
La interacción entre el Músculo y Tendón juega un papel importante en el rendimiento del salto

Los atletas se benefician más de la rigidez de los tendones y los no deportistas más de la fuerza muscular para un mayor rendimiento en el salto (SJ & CMJ)





FASCIA TORACOLUMBAR (FTL)

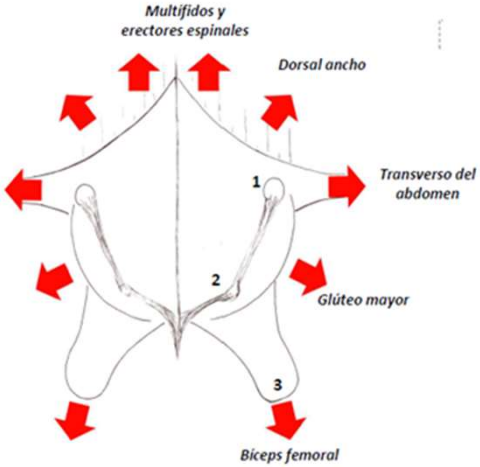


Entramado de **TC denso** que se extiende desde el sacro hasta la región superior de la espalda y cuello y desde la columna lumbar a las inserciones de la musculatura abdominal y dorsal.

La podemos organizar en 2 capas diferenciadas:

SUPERFICIAL & PROFUNDA

- **PROFUNDA**: la más próxima a la columna vertebral, su tejido proviene fundamentalmente de los músculos Transversos y Oblicuos Internos del abdomen.
- **SUPERFICIAL**: conformada por inserciones de los músculos: Glúteo Mayor, Bíceps Femoral, Dorsal Ancho, Trapecio y Oblicuo externo.



Estas estructuras se insertan en las apófisis transversas y espinosas lumbares, rodeando a los músculos paraespinales (Erectores vertebrales, Multífido y Cuadrado Lumbar) y en los músculos anteriormente descritos

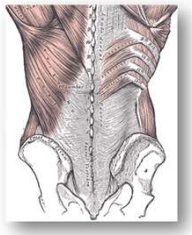
SU TENSIÓN AUMENTA REDUCIENDO LA LORDOSIS LUMBAR

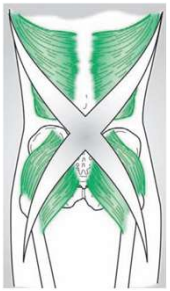
Este fenómeno aumenta en casos de hiperactivación abdominal ya que desde la línea alba se transmite la tensión en sentido axial por medio de las fascias del transverso y oblicuo interno del abdomen (Capa Profunda)



FASCIA TORACOLUMBAR
(FTL)

ESPECIALMENTE IMPORTANTE
AL LEVANTAR UN OBJETO





Levantar cargas requiere la activación sinérgica de los Músculos Abdominales y del Retrosoma para estabilizar la C.V. y minimizar la Tensión en Zona Lumbar

Los abdominales al contraerse aumentan la tensión del diafragma
En consecuencia, el deportista tiende a contener la respiración (*Maniobra de Valsalva*), mecanismo que permite disminuir la tensión en los segmentos L4 y L5 (≈40%)

Al contraer musculatura de abdomen y espalda, la estructura rígida creada por las capas superficial y profunda de la FTL provoca una compresión de vísceras y fluidos abdominales que ayuda a la extensión de la columna y contribuye a levantar la carga

La contracción abdominal estira la Fascia Toraco-Lumbar creando una estructura sólida que ayuda a los músculos del raquis a aumentar la solidez de la zona posterior (≈30%)

EFECTO AMPLIFICADOR HIDRÁULICO

ESTE MECANISMO SÓLO ES EFICAZ SI LA FTL ES RÍGIDA Y CONSISTENTE

¡Ojo!: Esta maniobra genera una presión intraabdominal muy elevada que podría obstruir la aorta y aumentar la Presión Arterial

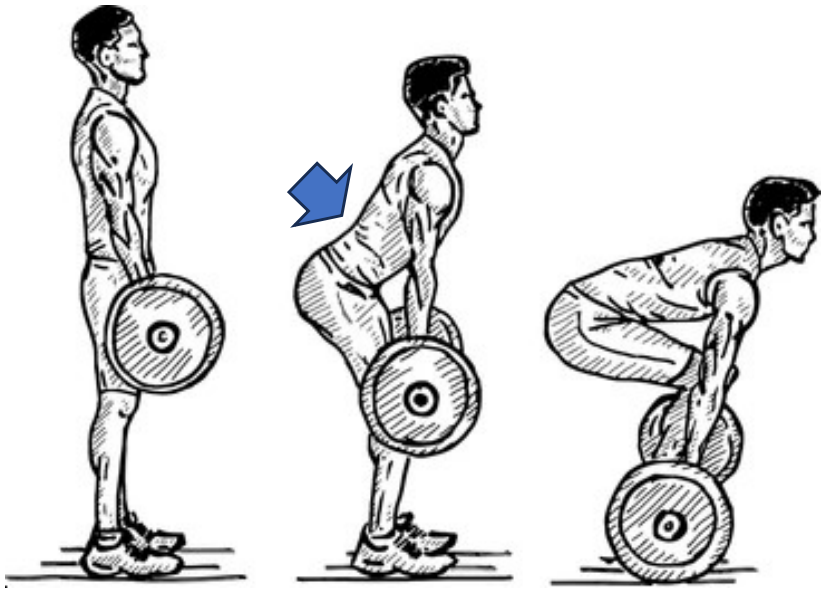
También incrementa la presión en el suelo pélvico (Riesgo de prolapsos)

Influence of Lumbopelvic Stability on Deadlift Performance in Competitive Powerlifters

Sakakibara, N., Shin, S., Watanabe, T., & Matsuoka, T.

Sportlogia, 10(2), 89-95. 2014.

El peso muerto expone la columna vertebral a cargas extremas provocando la necesidad de poseer una estabilidad lumbopélvica (core) adecuada



MUESTRA:

16 Levantadores de Pesas (♂)

GE: 8 Levantadores Nivel Nacional

GC: 8 Levantadores Nivel Regional

En comparación con el GC, los levantadores élite (GE) mostraron una mayor contracción del transverso abdominal cuando el peso estaba a la altura de la rodilla (2,16 vs. 1,74; p = 0,04)

No se observaron diferencias significativas entre ambos grupos cuando el peso se encontraba en el suelo y en la parte superior

TEJIDO CONECTIVO DENSO

FORMADO PRINCIPALMENTE POR FIBRAS DE COLÁGENO

(**Colágeno**: ≈ 6% de la Masa Corporal Total; ≈ 25% de las Proteínas Totales)

SUBTIPOS DE COLÁGENO (Tipos I a XXVIII)

(90% del COLÁGENO es de los Tipos I al V)

EN EL MÚSCULO PREDOMINAN:

- **Colágeno Tipo I:** Colágeno más abundante del cuerpo humano
  - **Colágenos Tipo XII, XIII y XXI que Interactúan con el Colágeno Tipo I**

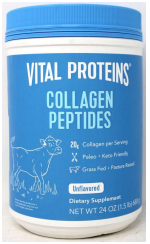
CANTIDAD & TIPO DE *AAs:* DIFERENTE EN CADA TIPO DE COLÁGENO

- **GLICINA (NH_2CH_2COOH):** ≈1/3 (≈30%) de los *AAs* del T.C. Denso

  De los 1,50 kg de Glicina Corporal Total: ≈1,35 kg (90%) está en el Colágeno

También contienen cantidades elevadas de:

- **PROLINA ($C_5H_9NO_2$)**
- **HIDROXIPROLINA ($C_5H_9NO_3$)** } ≈ 20%
- **HIDROXILISINA:** (1%) Es una de los pocos tejidos que lo contiene





AAs
No Esenciales

VIDA MEDIA DEL COLÁGENO: ≈ 80 DÍAS

(Cada día se renueva ≈ 1-2% del Colágeno Total)

Maastricht University

The impact of collagen protein ingestion on musculoskeletal connective tissue remodeling: a narrative review

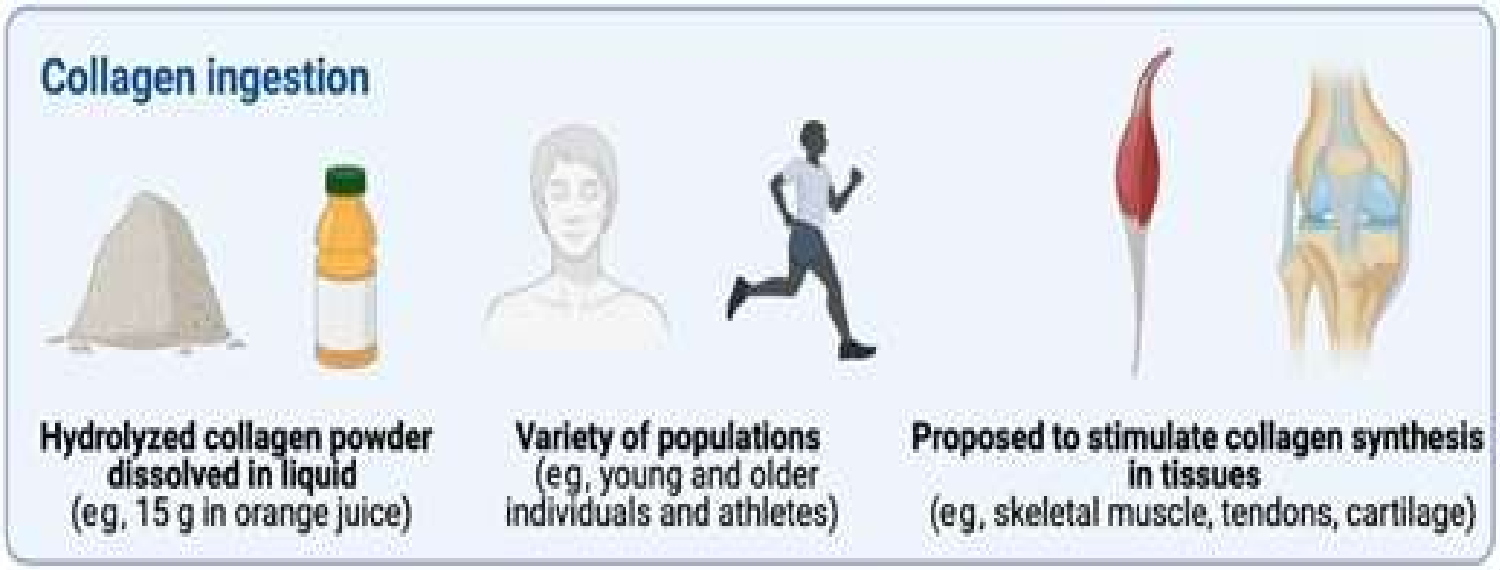
Andrew M Holwerda & Luc J. C. van Loon

Nutrition Reviews, 80(6) 1497–1514. 2022.



Algunas evidencias científicas hacen pensar que la suplementación con Proteínas no aumenta la Síntesis de Proteínas del Tejido Conectivo Muscular

La causa puede estar en dosis insuficiente de GLICINA y/o PROLINA





The effects of collagen peptide supplementation on body composition, collagen synthesis, and recovery from joint injury and exercise: a systematic review

Khatri, M., Naughton, R. J., Clifford, T., Harper, L. D., & Corr, L.

Amino Acids, 53(10), 1493-1506. 2021.

University of HUDDERSFIELD

REVISIÓN SISTEMÁTICA

15 estudios seleccionados de 856 artículos



VARIABLES EVALUADAS



(i) Dolor articular y recuperación de lesiones articulares,

(ii) Composición corporal,

(iii) Dolor muscular y recuperación del ejercicio,

(iv) Síntesis de Proteínas Musculares (SPM) & Síntesis de Colágeno

La suplementación con Péptidos de Colágeno (COL), junto a ejercicio, puede ser beneficiosa para el tratamiento y prevención de trastornos degenerativos de huesos y articulaciones, especialmente el dolor

Tasa de Síntesis de Colágeno se elevó con 15 g/día de COL, pero no tuvieron un impacto superior en la SPM que otras fuentes de **Proteínas Isonitrogenadas de Alta Calidad**

Contienen todos los AAs esenciales, son altamente digestibles y tienen alto valor biológico

ENTRENAMIENTO DEL TEJIDO CONJUNTIVO

(RENOVACIÓN, SÍNTESIS & HIPERTROFIA)

ESTÍMULOS MECÁNICOS INTENSOS

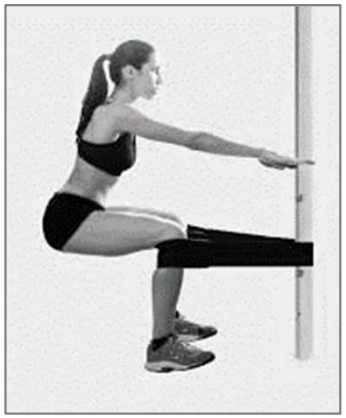


ELONGACIÓN FORZADA MANTENIDA



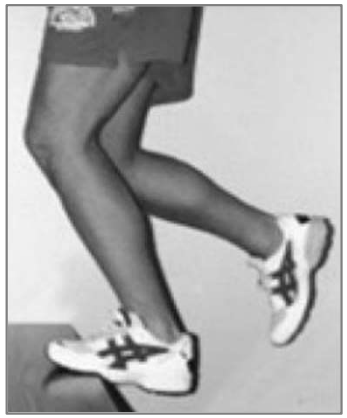
La Estimulación Mecánica juega un papel importante en muchos aspectos de la Ingeniería y la Biomecánica del Tejido Conjuntivo

El Estiramiento forzado de este tejido podría promover la formación y proliferación celular, la alineación de las fibras de colágeno y la activación de mecanorreceptores (Órganos Tendinosos de Golgi) que provocan la Activación de Fibroblastos con incremento de la Síntesis de Colágeno



TEJIDO CONECTIVO

RESPUESTA ADAPTATIVA Y EFECTO MECÁNICO



TEJIDO	RESPUESTA ADAPTATIVA	EFECTO MECÁNICO
EFECTO DEL EJERCICIO (ELONGACIÓN) EN EL TEJIDO CONECTIVO DENSO		
• Tendones • Ligamentos • Fascias • Cápsulas Articulares	• Estimula Fibroblastos *Factor de Crecimiento Transformante β_1 (TGF-β_1)* *Insulin-like Growth Factor 1 (IGF-I)* • Formación & Renovación • Aumenta Síntesis Proteica • Incrementa Procolágeno ⇒ Colágeno & Elastina	HIPERTROFIA TEJIDO CONJUNTIVO ⇓ • Aumenta el Stiffness • Mejora la Capacidad Elástica del Tejido

FIBROBLASTOS

HIPERTROFIA DEL TEJIDO CONJUNTIVO

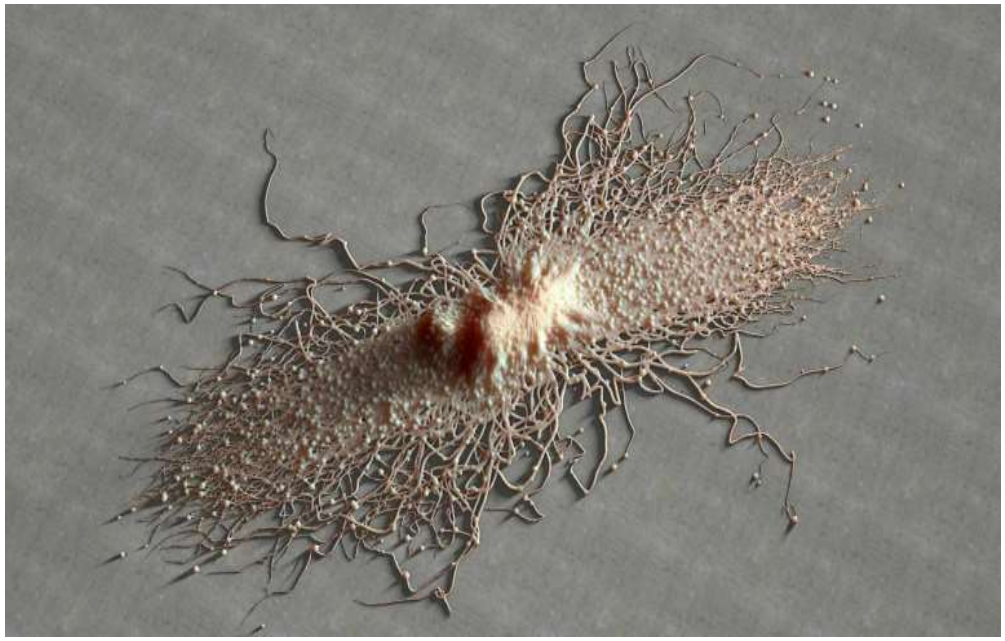


Imagen tridimensionalidad de un Fibroblasto obtenida mediante Micrografía Electrónica de Barrido

Fascial Nomenclature: An Update

Bordoni B, Walkowski, S, Morabito B & Varacallo MA.

Cureus 11(9), e5718. DOI 10.7759/. 2019.

PRINCIPALES CÉLULAS DEL TEJIDO CONJUNTIVO MUSCULAR

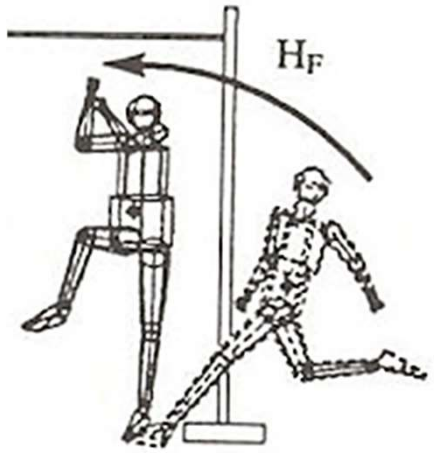
- **FUNCIÓN PRINCIPAL: mantener la integridad estructural del T.C. mediante la secreción continua de componentes como:**

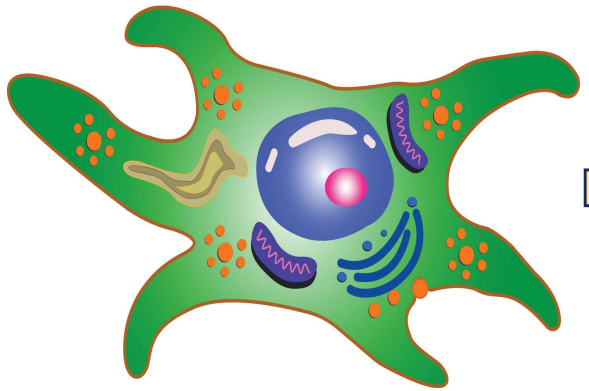
COLÁGENO & ELASTINA

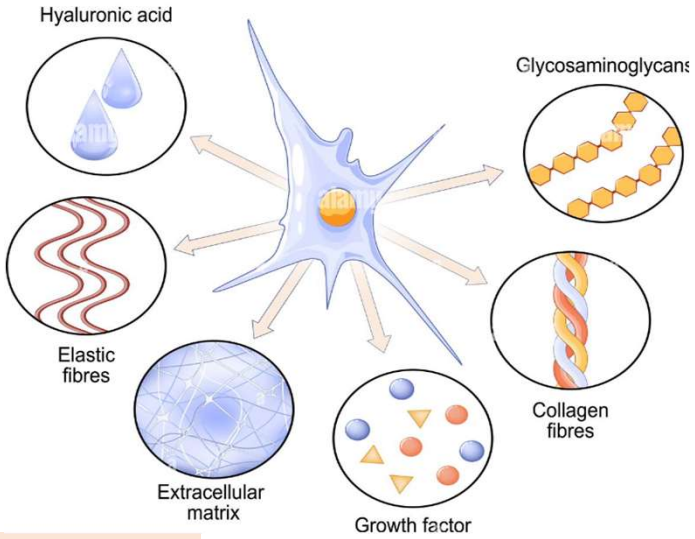
- **Contribuyendo a la organización de la estructura, y por tanto de su citoesqueleto, al influir en la disposición de la matriz que generan.**

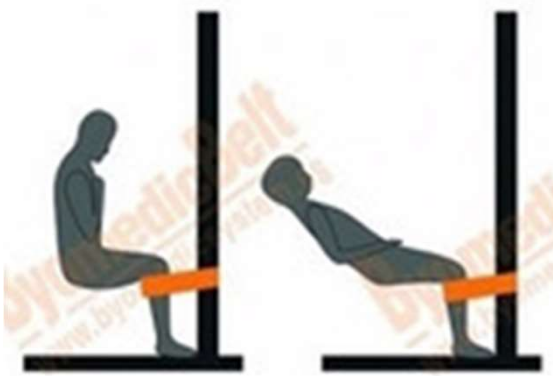
En músculo forman parte de estructuras:

- Citoesqueleto
- M.E.C.
- Endomisio
- Perimisio
- Epimisio
- Fascias
- Ligamentos
- Tendones









ACTIVACIÓN DE FIBROBLASTOS

Se activan en respuesta a:

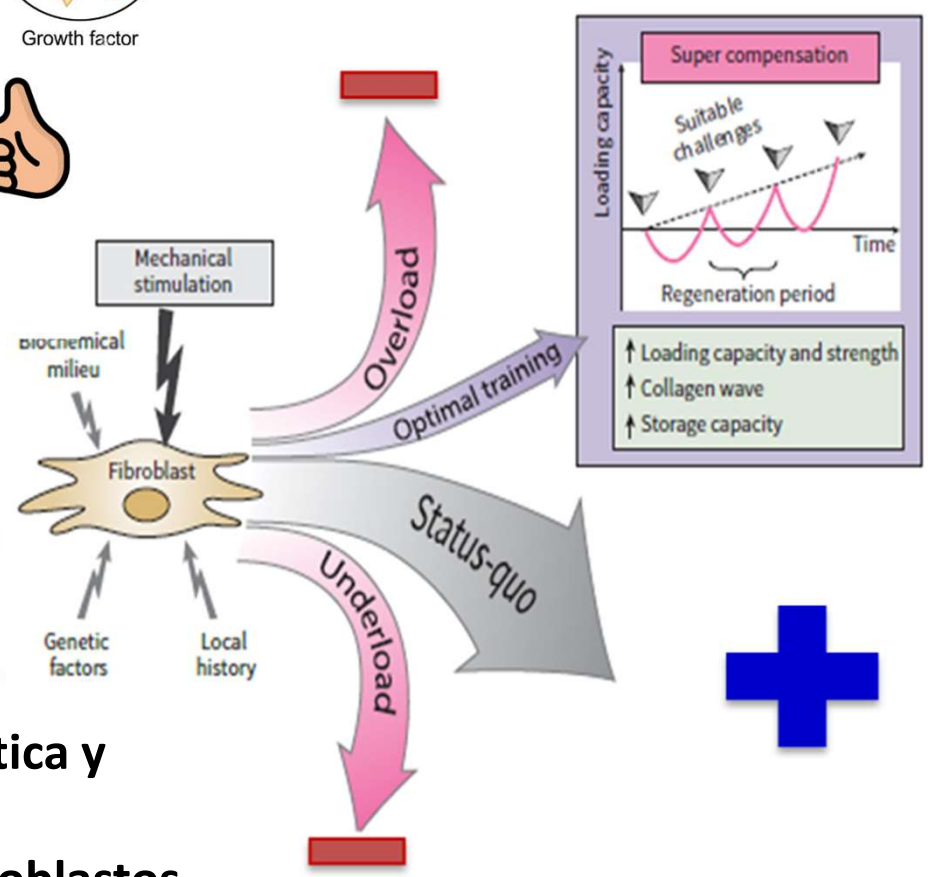
ESTIMULACIÓN MECÁNICA INTENSA

(Suficiente y Específica)



CARGAS BAJAS no son tan peligrosas como lo pueden llegar a ser las **CARGAS ELEVADAS**, pero pueden resultar **INEFICACES** a la hora de formar tejido (TC).





Experiencia Individual, Predisposición Genética y Composición Interna del Tejido juegan un papel importante para la activación de Fibroblastos

RESPUESTA ADAPTATIVA DEL TEJIDO CONJUNTIVO AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

EFECTO DEL TRABAJO EN ELONGACIÓN



ENTRENAMIENTO EXCÉNTRICO MANTENIDO

TIRANTE MUSCULADOR

Cinturón Ruso





En ocasiones, el Entrenamiento Excéntrico Mantenido puede mejorar la Fuerza Muscular en mayor medida y con mayor facilidad que las modalidades tradicionales de entrenamiento de Fuerza

Sentadilla Excéntrica con Tirante Musculador a 90º sin Carga = Squat de ≈50% 1RM

POTENTE ESTÍMULO QUE:

Modifica el Comportamiento Mecánico del músculo &
Provoca Adaptaciones Morfológicas & Arquitectónicas en Unidad Músculo-Tendinosa

Algunos estudios plantean que solo la carga excéntrica intensa (mantenida o no) es capaz de provocar cambios significativos en el Módulo de Young (*Respuesta Elástica*)

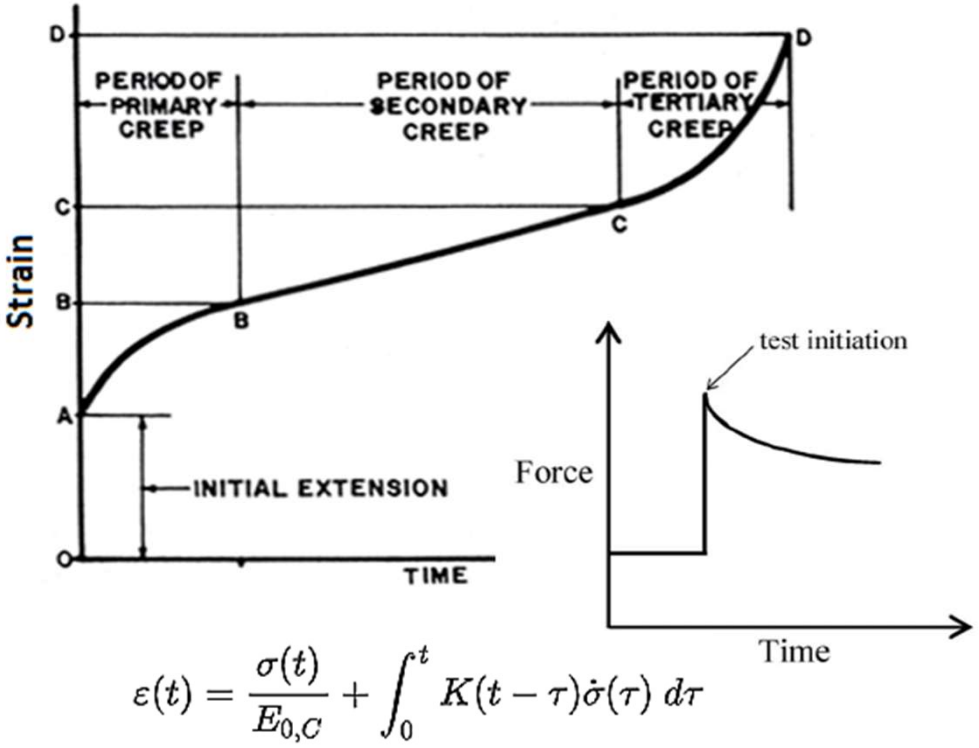
También modifica la Rigidez (*Stiffness*) del Tejido Conjuntivo muscular

Estos cambios en la rigidez pueden deberse a mayor densidad de empaquetamiento de colágeno, alteraciones en ángulo de inserción o contenido de agua

EXCÉNTRICOS MANTENIDOS & DINÁMICOS
DEFORMACIÓN DE ELONGACIÓN



IMPORTANCIA DEL MODO DE EJECUCIÓN



CREEP MECÁNICO

DEFORMACIÓN DE ELONGACIÓN
cuando un material es sometido a una
TENSIÓN DEFORMANTE

El tejido debe ir alterando su comportamiento mecánico de forma controlada & progresiva

- **Si la elongación es lenta y constante:**
  El tejido se estira sin dañarse

- **Si la elongación es brusca e intensa:**
  El tejido se puede dañar

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E_{0,C}} + \int_0^t K(t-\tau)\dot{\sigma}(\tau)\, d\tau$$

Tejido inicialmente se alarga, de forma secuencial, y con el tiempo se hace más denso

¡¡ Nunca!! o
Sólo Excepcionalmente





Response adaptative macroscopique du tendón rotulien a l'entrainement de forcé

García-Manso, JM; Sarmiento S, Ortega F, Ruíz-Caballero JA & Vazquez I.

Science Sport

ULPGC

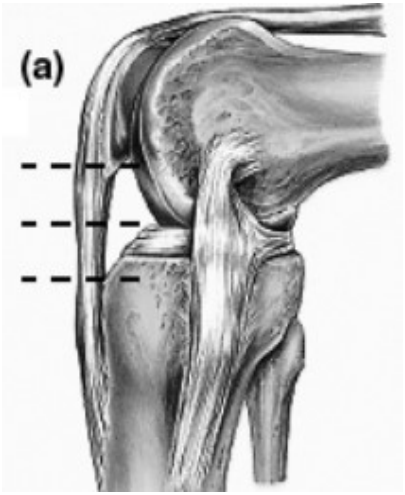
SECUENCIA ADAPTATIVA

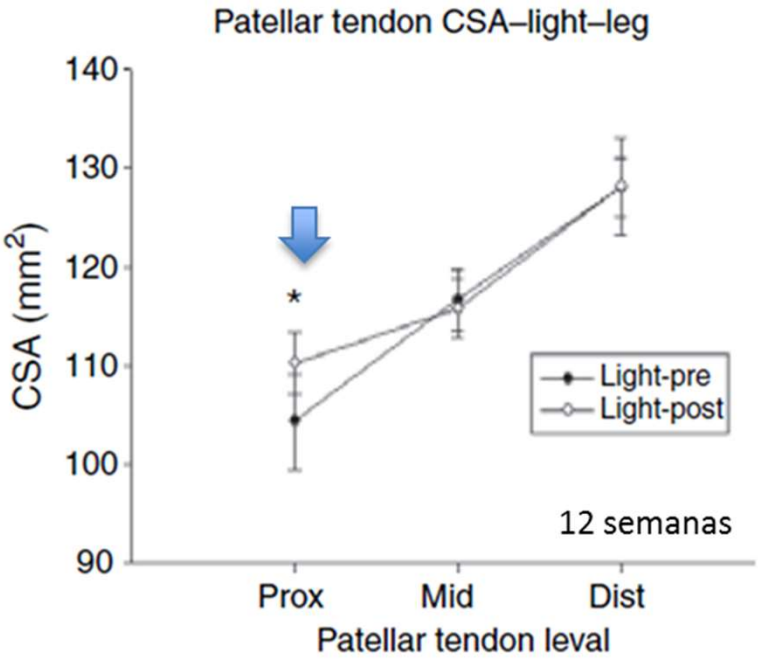


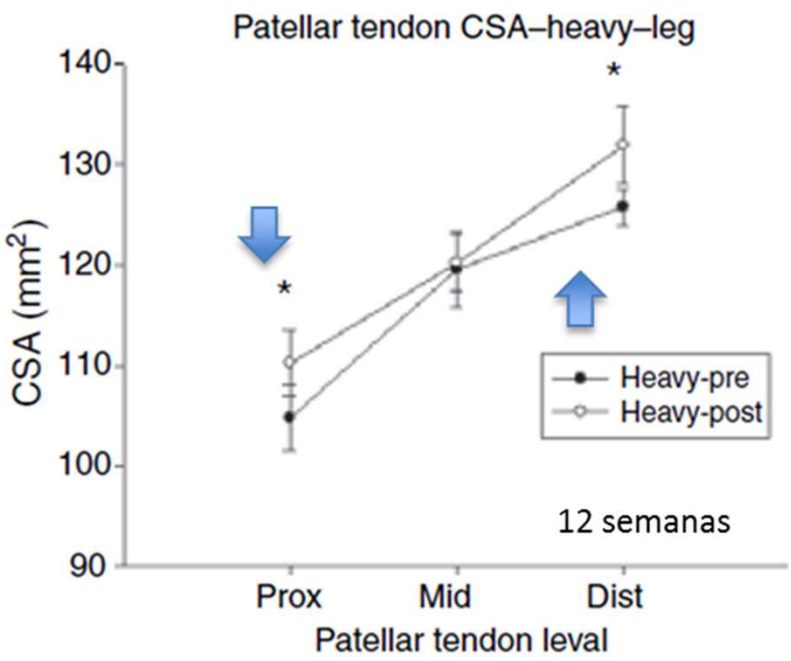
ENTRENAMIENTO CON TIRANTE MUSCULADOR						
Parámetro	**PIERNA DERECHA**			**PIERNA IZQUIERDA**		
Parámetro	PRE mm	POST mm	P-Value	PRE mm	POST mm	P-Value
Longitud del Tendón	38.51+/- 4.10	43.56+/- 2.79	0.034	39.48 +/- 8.43	44.71+/- 6.21	0.034
CSA Proximal	5.13+/- 3.88	4.29+/- 0.89	0.480	5.58+/- 3.67	4.66+/- 0.84	0.480
CSA Distal	4.99+/- 3.48	4.24+/- 1.39	0.705	6.29+/- 5.08	4.53+/-1.21	0.705

Region Specific patellar tendón hypertrophy in human following resistance training

Kongsgaard M, Reitelseder S, Pedersen TG, Holn L, Aagaard P, Kjaer M & Magnusson SP. Acta Physiologica, 191(2), 111-121. 2007.





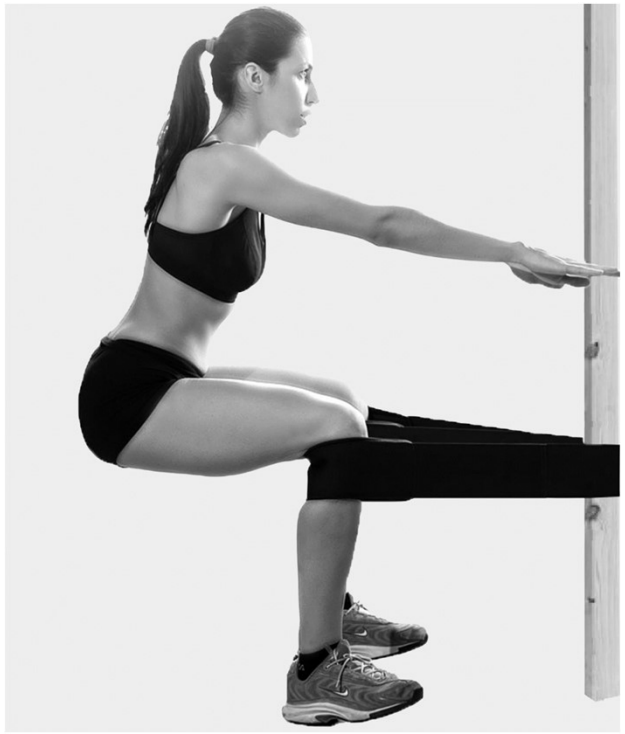




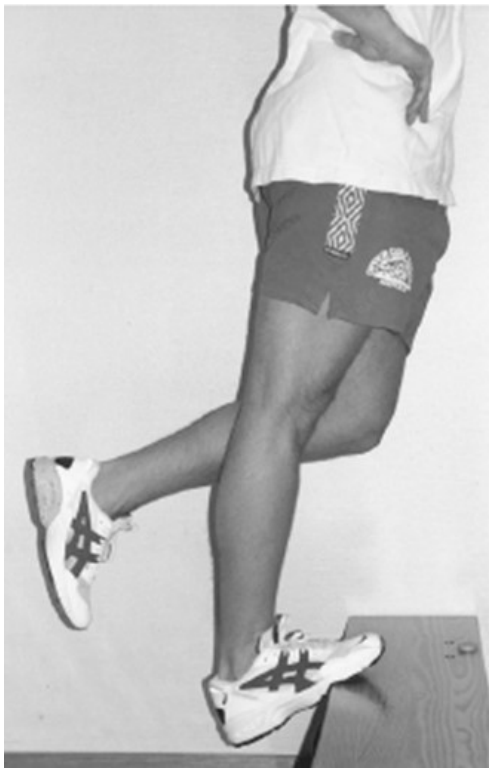
	Light-legs		Heavy-legs		
	Pre	Post	Pre	Post	
Strain (%)	6.3±0.4	6.5±0.4	6.3±0.6	5.8±0.6*	
Stiffness (N/mm)	3716±452	3375±361	3676±377	4213±405*	↑ 14.6%
Modulus (GPa)	1.42±0.21	1.36±0.19	1.47±0.17	1.65±0.16	

Módulo de compresibilidad (Gpa: gigapascales)

Riesgo de Comprensión Excesiva en la Regeneración del Tendón

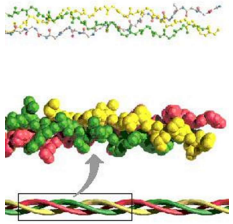


La composición y estructura del tendón que es adyacente a una prominencia ósea, cuando el tendón está siendo sometido a fuerzas de compresión sufre cambios significativos no siempre beneficiosos ni favorables para la reparación estructural o la hipertrofia del tejido conectivo (i.e. Aquiles o Rotulianos)



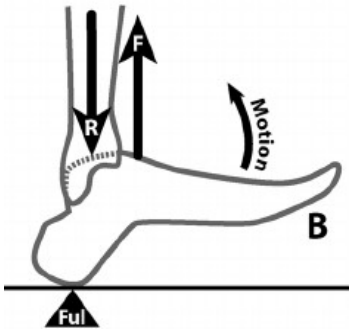








Excéntricos de Muy Alta Intensidad y/o los que provocan elevadas compresiones no son siempre eficientes y, ocasionalmente, deberían ser sustituidos por ejercicios Isométricos o Dinámicos que no provoquen compresiones



¡¡¡ Un riesgo potencial del uso de Excéntricos de Alta Intensidad !!!

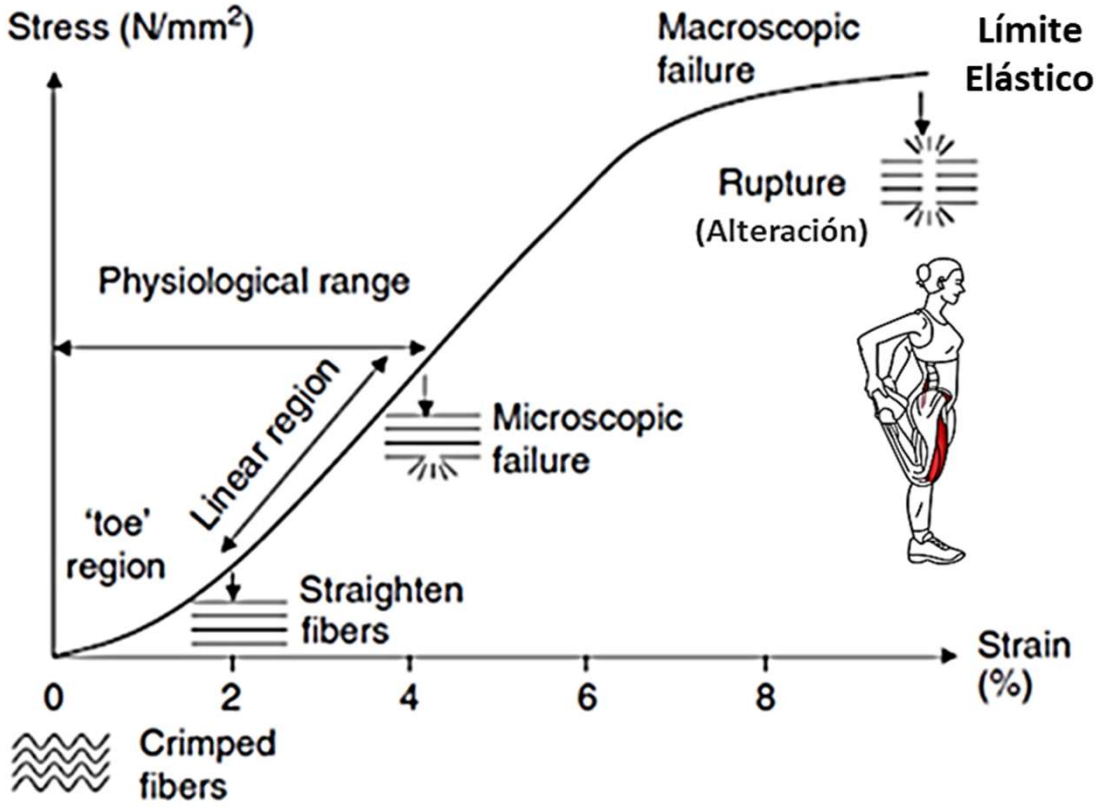
RESPUESTA ELÁSTICA MUSCULAR

MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL O MÓDULO DE YOUNG

(Thomas Young: 1773-1829)

DESCRIBE EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES ELÁSTICOS

RELACIÓN EXISTENTE entre los Cambios de Tensión (*Stress* - σ) registrados en un material *vs*. Deformación Longitudinal (*Strain* - ε)



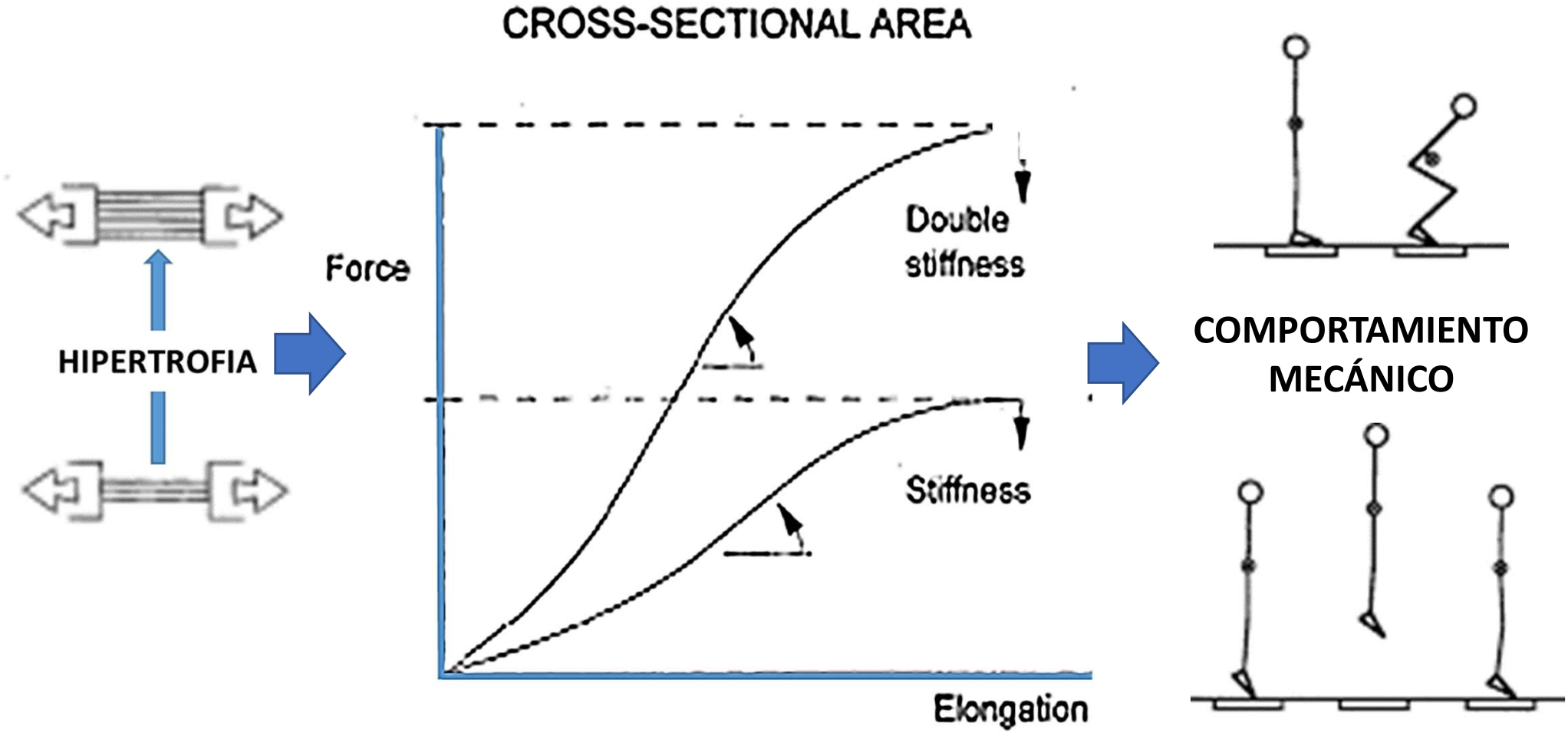
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/S}{\Delta L/L}$$

- ***E*: Módulo de Young** (pascales)
- **σ: Tensión** ejercida sobre el Área de la Sección Transversal del elemento (tensión = fuerza/área) (pascales)
- **ε: Deformación** (*strain*) relación entre el cambio de longitud con respecto a la longitud inicial

EFECTO DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL COMPONENTE ELÁSTICO MUSCULAR

Síntesis de Colágeno ⇒ Hipertrofia del Tejido Elástico

MODIFICACIÓN DEL MÓDULO DE YOUNG

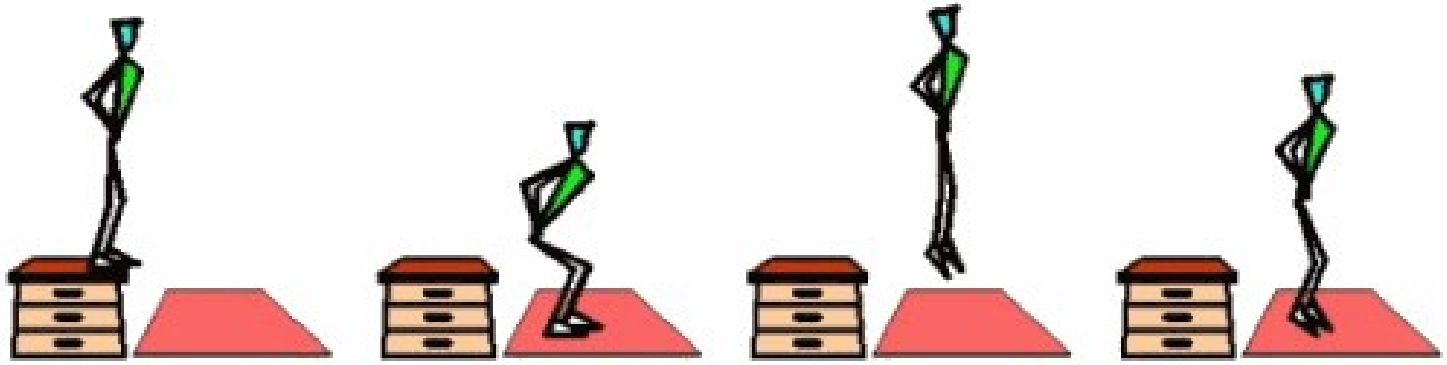


CAPACIDAD ELÁSTICO - REFLEJA

HISTÉRESIS & RESILIANCIA

En un *CEAs*, o durante la elongación forzada de una estructura, los músculos y tendones involucrados interactúan coordinadamente, formando un *Sistema de Retroceso Elástico* que favorece y multiplica la fuerza aplicada al gesto posterior (i.e. una batida)

La **eficiencia de este sistema** está determinada por la **RIGIDEZ**, las **PROPIEDADES VISCOELÁSTICAS DE ESTRUCTURAS INVOLUCRADAS**, los **MECANISMO REFLEJOS ACTIVADOS** y la **ESTRATEGIA SEGUIDA EN EL PROCESO DE DEFORMACIÓN/RECUPERACIÓN**



EFICIENCIA DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO MUSCULAR

INFLUENCIA DEL
COMPONENTE ELÁSTICO-REFLEJO & COORDINACIÓN

HISTÉRESIS (Pérdida de Energía Acumulada):

Cantidad de Energía que se disipa, en forma de calor, por Amortiguación Viscoelástica del Músculo, en cada Ciclo de Estiramiento-Acortamiento

(Pérdida de energía durante el proceso de carga y descarga en la deformación de materiales con propiedades de viscoelasticidad)

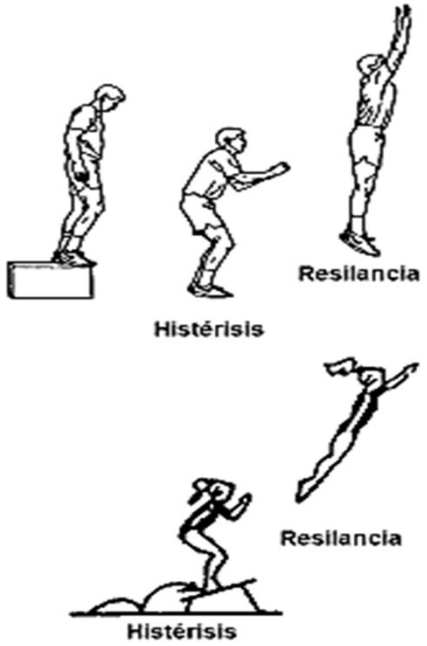
En eventos rápidos de deformación, los tendones amortiguan el trabajo realizado sobre el músculo, almacenando temporalmente energía elástica que es utilizada posteriormente para realizar trabajo

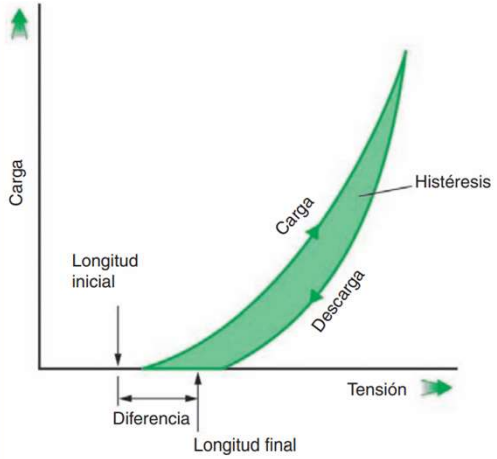
Mayor Histéresis se asocia con una mayor disipación de energía en forma de CALOR (Histéresis) provocando una recuperación menor de energía mecánica para impulsar nuestros movimientos

RESILIENCIA (Eficiencia de Aprovechamiento de Energía Elástica):

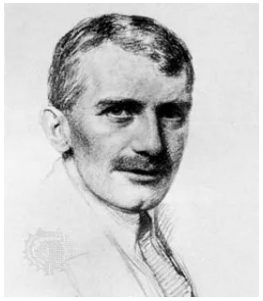
Límite Elástico & Efecto Cavagna

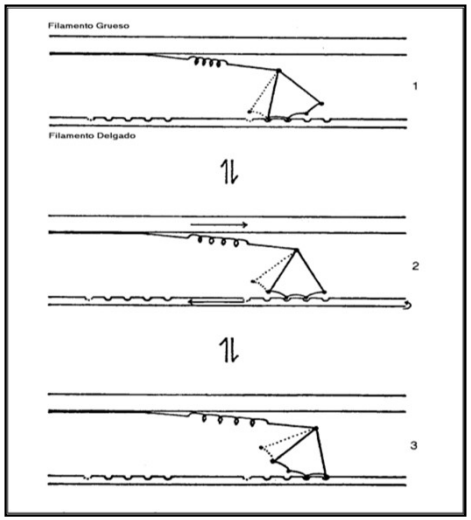
Cantidad de Energía que se aprovecha en cada Ciclo Estiramiento-Acortamiento (*CEAs*)





COMPORTAMIENTO ELÁSTICO DEL SARCÓMERO





SHORT RANGE ELASTIC STIFFNESS (S.R.E.S.)

Archibald Vivian Hill (1886-1977) – [1968] – Nobel 1922

(RIGIDEZ DE CORTO RECORRIDO)

Capacidad de incrementar la Longitud del Sarcómero sin romper los Puentes Cruzados incluso aumentando el número de U.M. activadas
Afecta principalmente a: Miosina, Actina & Titina

EFECTO CAVAGNA

Momento de aprovechamiento de la Energía Elástica acumulada en la última fase del Ciclo Acortamiento-Estiramiento

RELACIÓN S.R.E.S. vs. LÍMITE ELÁSTICO DE PUENTES CRUZADOS

La Fuerza de Deformación aumenta de forma proporcional al Cambio de Longitud

Si la elongación del músculo continúa, aumentará la resistencia de deformación hasta una determinada longitud vinculada a la capacidad de soporte de los puentes cruzados, que es denominada: **LÍMITE ELÁSTICO (LÍMITE DE ELASTICIDAD)**

Superado el **LÍMITE ELÁSTICO** la resistencia disminuye por:

ROTURA FORZADA DE PUENTES CRUZADOS

Tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes

Short range stiffness elastic limit depends on joint velocity

de Vlugt E., van Eesbeek S., Baines P., Hilte J., Meskers CGM. & de Groot JH.

Journal of Biomechanics, 44 (11), 2106-2112. 2011.

Delft University of Technology

RIGIDEZ DE CORTO RECORRIDO (*S.R.E.S.*)
SHORT RANGE ELASTIC STIFFNESS

Universiteit Leiden

SE RELACIONA CON:

- **Número & Comportamiento de "*Puentes Cruzados*" creados durante una contracción muscular (Concéntrica, Isométrica & Excéntrica).**
- **Elasticidad del Tejido Conjuntivo (Serie & Paralelo) del Sarcómero.**
- **Velocidad de deformación (*Elongación*) de la estructura.**

VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN DEL SARCÓMERO

La velocidad de deformación tiene un efecto directo sobre el

LÍMITE ELÁSTICO PUENTES CRUZADOS & EFECTO CAVAGNA (Aprovechamiento Elástico)

Es decir, sobre el Rango de Movimiento en el que se manifestaba el S.R.E.S., aunque no sobre el S.R.E.S. en sí mismo

Superado este límite se produce una Rotura Forzada de Puentes Cruzados

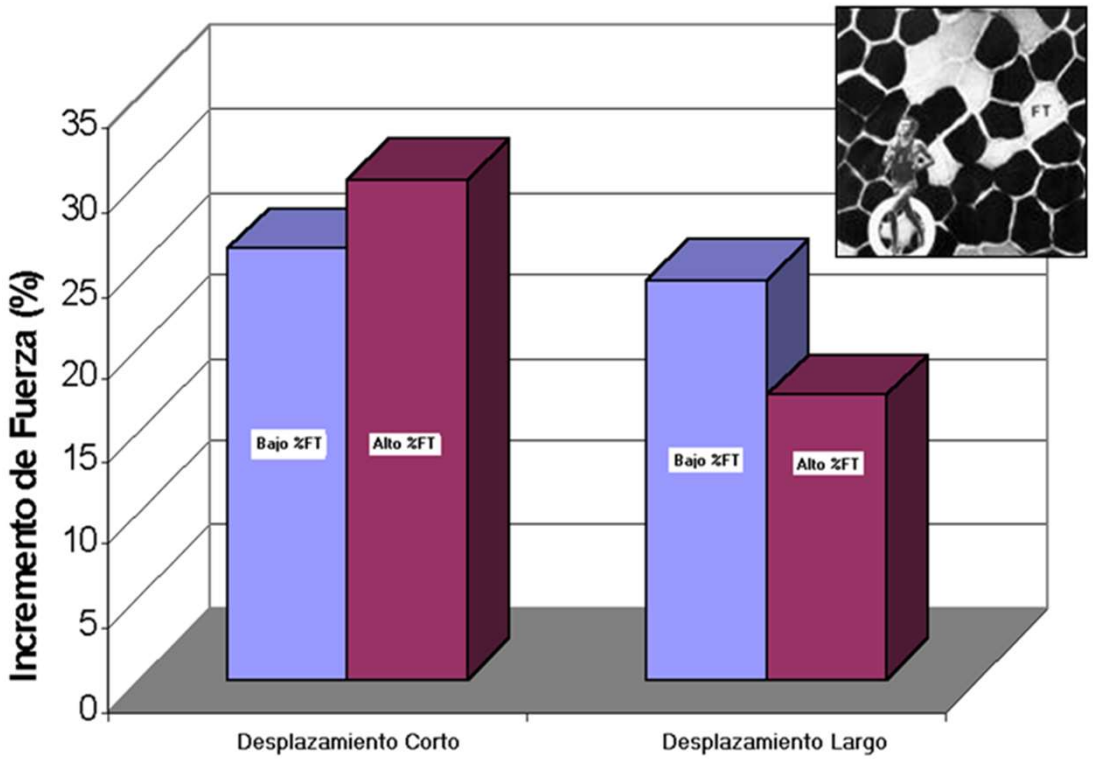
Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles

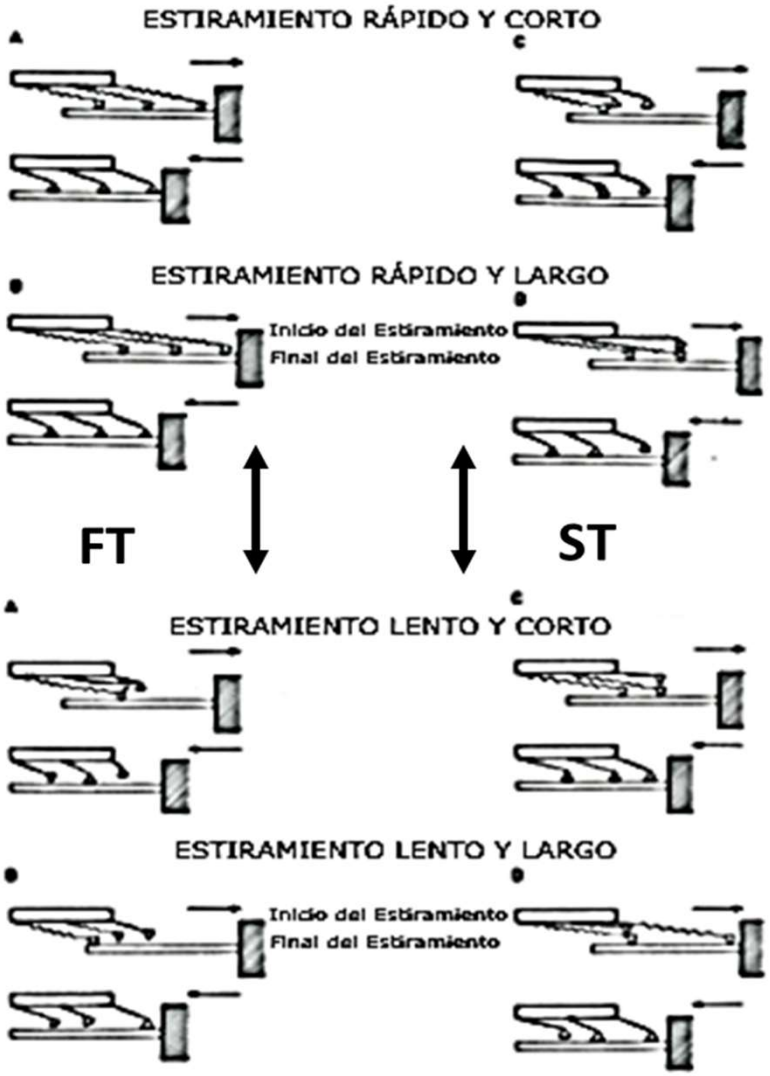
Bosco C, Tihani J, Komi PV, Fekete G. & Apor P.

Acta Physiologyca Scandinavica, 116, 343-349. 1982.

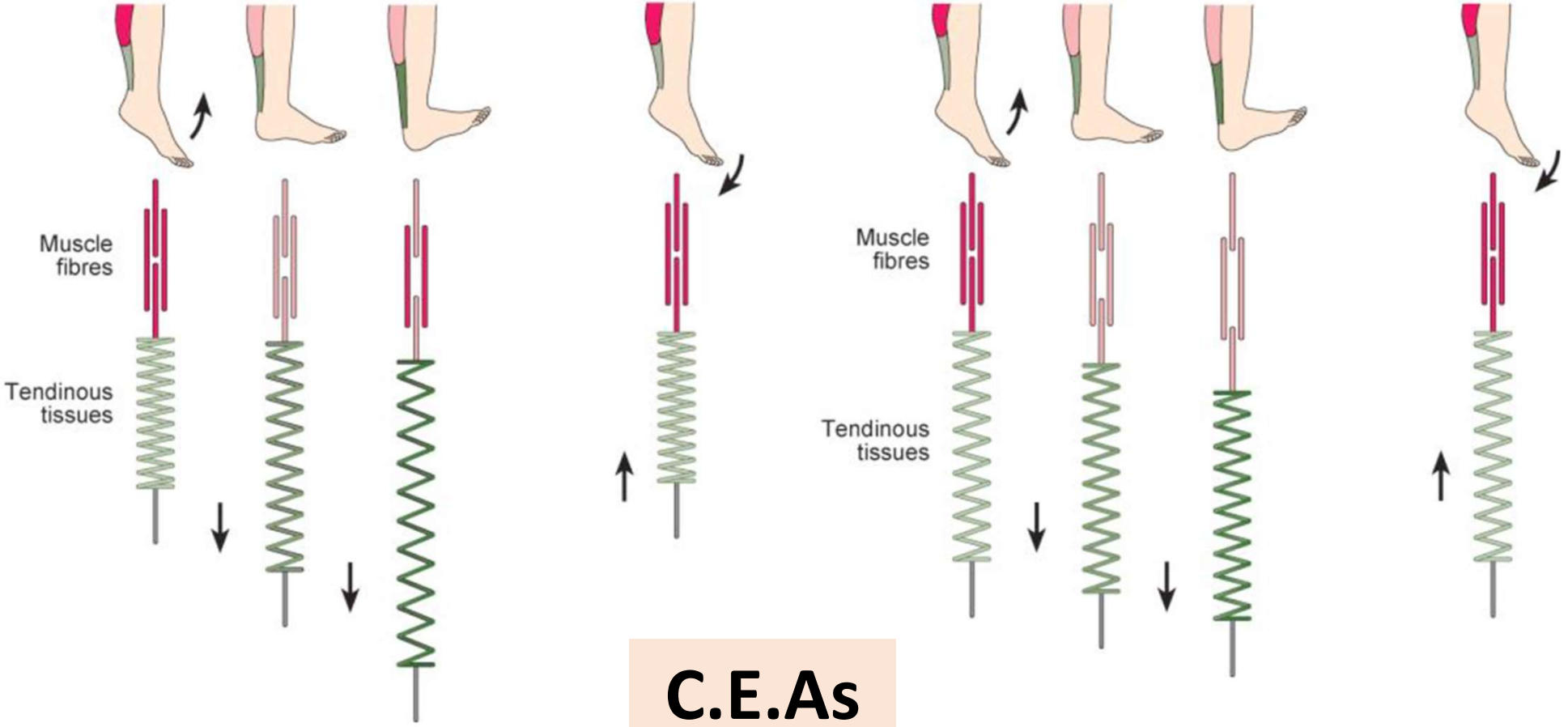
S.R.E.S., Aprovechamiento Elástico vs. Composición Muscular

Número de puentes cruzados en los sarcómeros de las fibras FT (izquierda) y ST (derecha), trabajando a diferentes velocidades y con diferentes niveles de deformación (estiramiento)



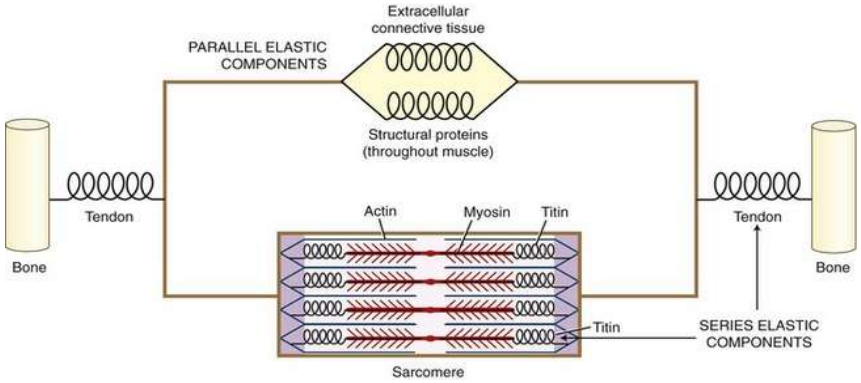


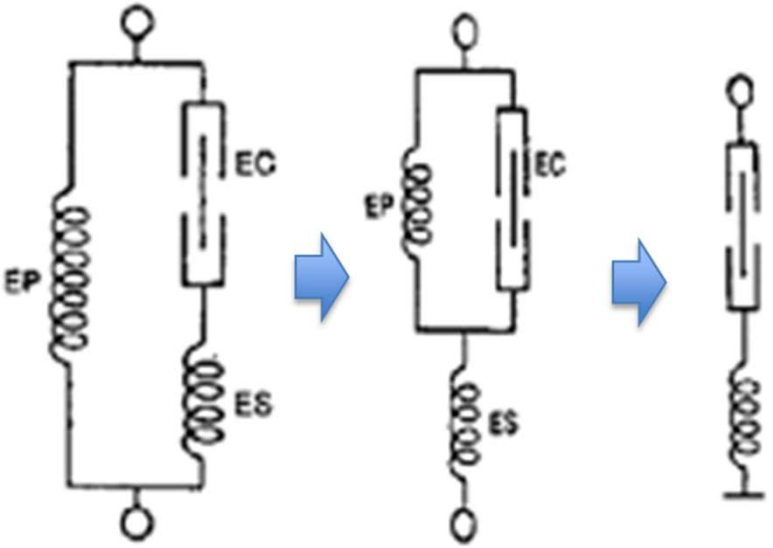
ORIGEN DE LA CAPACIDAD ELÁSTICA DE LAS ESTRUCTURAS MUSCULARES



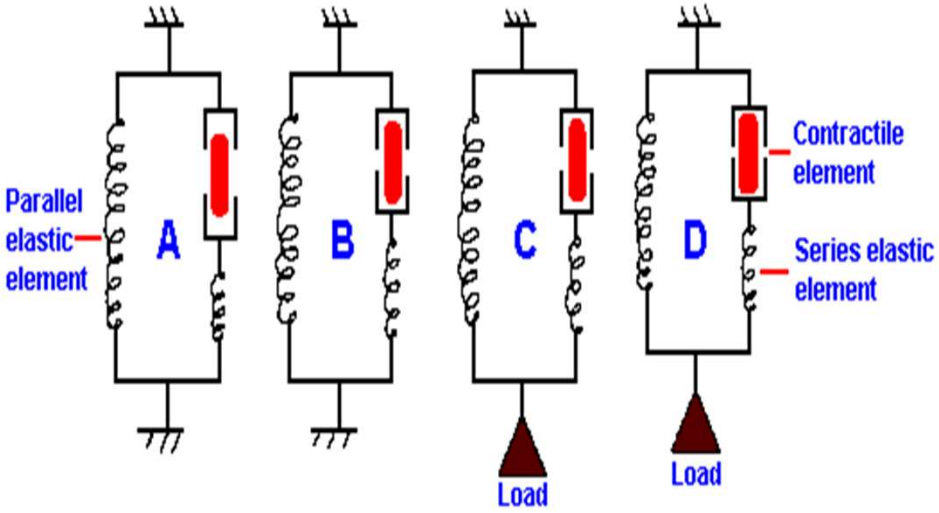
C.E.As

COMPONENTES ELÁSTICOS EN EL MUSCULO



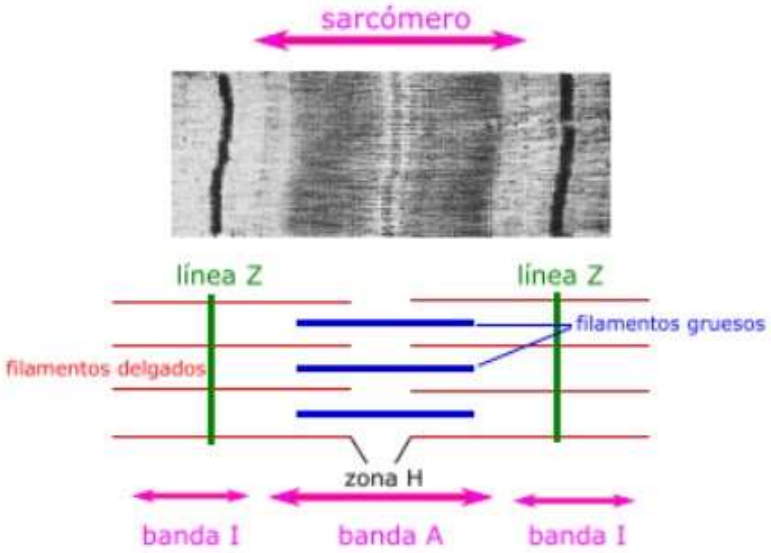


- **Componentes Elásticos en Serie (*C.E.S.*)**
  - **Inserciones Musculares (Tendones)**
    - **Unión Miotendinosa**
    - **Unión Osteotendinosa**
  - **Estructura de Sarcómeros**
    - **Titina**
- **Componentes Elásticos en Paralelo**
  - **M.E.C. (*Tercer Sistema*)**
    - **Endomisio, Perimisio y Epimisio**
    - **Integrinas: M.E.C. ⇒ Sarcómero**
- **Tejido Fascial**
  - **Fascias Musculares y Resto del Organismo**

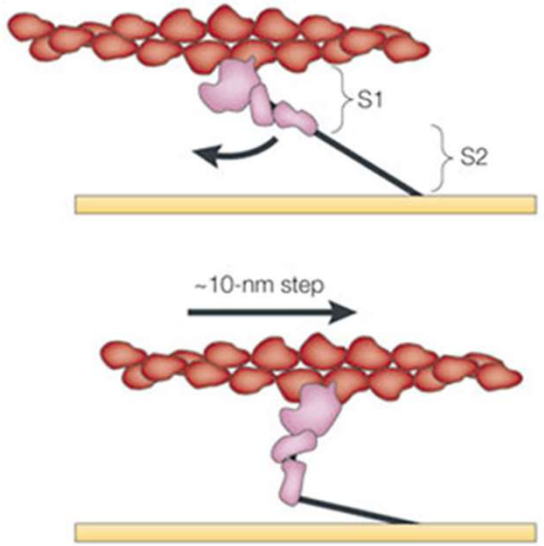


PROPIEDADES ELÁSTICAS DEL SARCÓMERO

ELEMENTOS ELÁSTICOS ESTRUCTURALES DEL SARCÓMERO



CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS PUENTES DE ACTINA Y MIOSINA



Un músculo desarrolla fuerzas mecánicas cuando se excita, neural o eléctricamente, y también cuando se deforma por acción de fuerzas externas (Fuerzas Elástico-Reflejas)

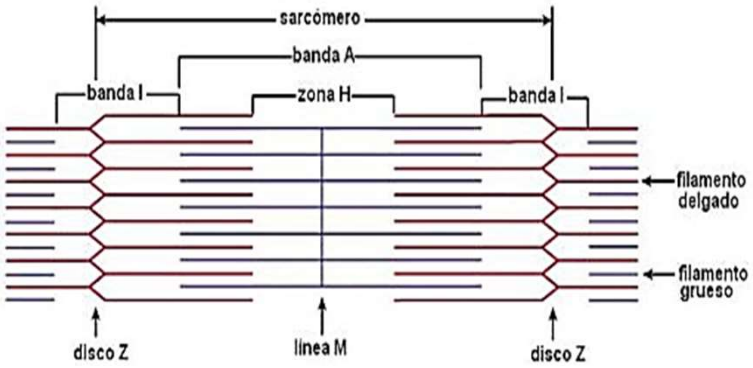
Parte de estas fuerzas proceden de estructuras pasivas del sarcómero

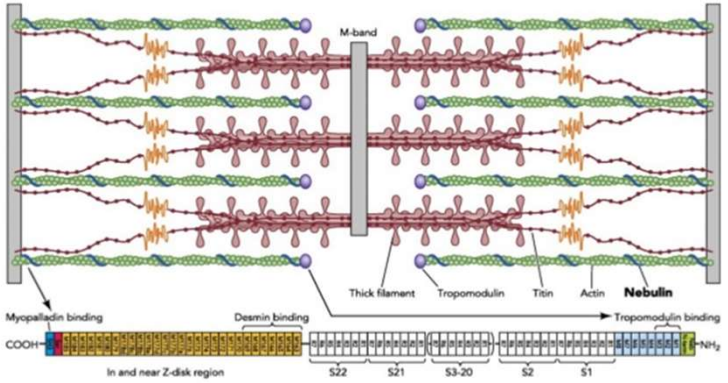
FILAMENTOS FINOS SARCÓMERO *VS.* COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

- **NEBULINA:** Proteína de baja capacidad elástica que orienta la polaridad de los filamentos de actina además de unirlos a la Línea Z y mantenerlos paralelos. **Nula Capacidad Elástica.**
- **DESMINA:** Se encuentra cerca de la Línea Z (α-activina 2 y 3) funcionando como un soporte estructural con **casi nula capacidad elástica**. Filamento más abundante del músculo (citoesqueleto) que conecta físicamente varios orgánulos como mitocondrias, núcleo y lisosomas. Junto a costámeras y sarcómero es generador de fuerza.
- **DISTROFINA: Moderado comportamiento elástico**. Componente de Integrinas (*Dystrophin-Associated Proteins complex*) que unen el Sarcómero con la M.E.C.:
  - **Lamininas**: Talina-Vinculina-Integrina-Laminina & Distrofina-Distroglicano-Laminina
  - **Proteínas FAK** (FAK - Talina – Vinculina – Paxilina)



- **TITINA (CONECTINA):** Dos funciones principales:
  - **Mantiene a la Miosina en su posición dentro del Sarcómero**
  - **Actúa como resorte recuperando la longitud del sarcómero con la contracción muscular**.





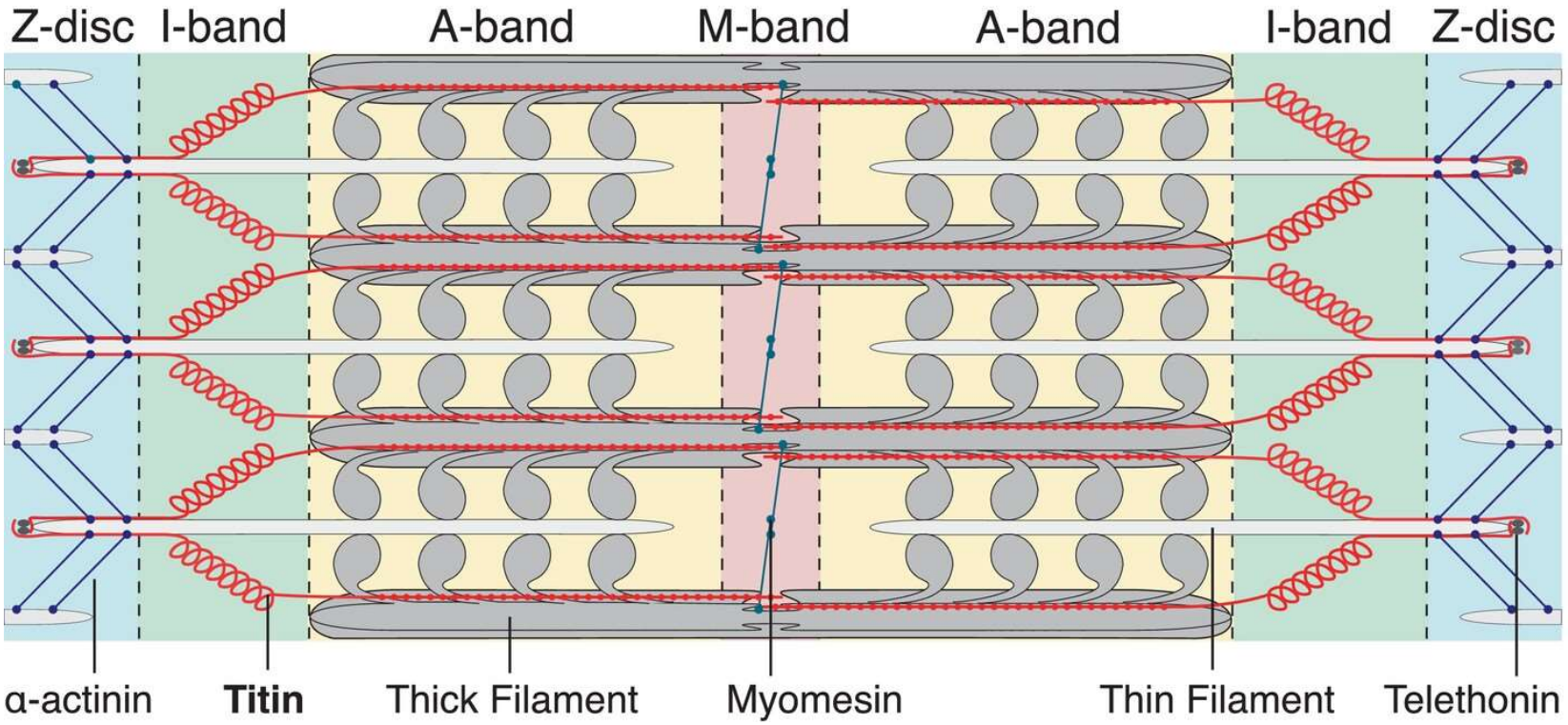
Role of titin in vertebrate striated muscle. Philosophical Transactions of the Royal Society of London

Bailey AJ, Macmillan J, Shrewry PR, Tatham AS, Tskhovrebova L. & Trinick J.

Series B: Biological Sciences, 357(1418), 199–206. 2002.

TITINA

Se ha descrito como la columna vertebral molecular que forma la base del sarcómero, la unidad contráctil del tejido muscular estriado



TITINA (CONECTINA)

The role of titin in eccentric muscle contraction
Walter Herzog
Journal of Experimental Biology, 217(16), 2825-2833. 2014.

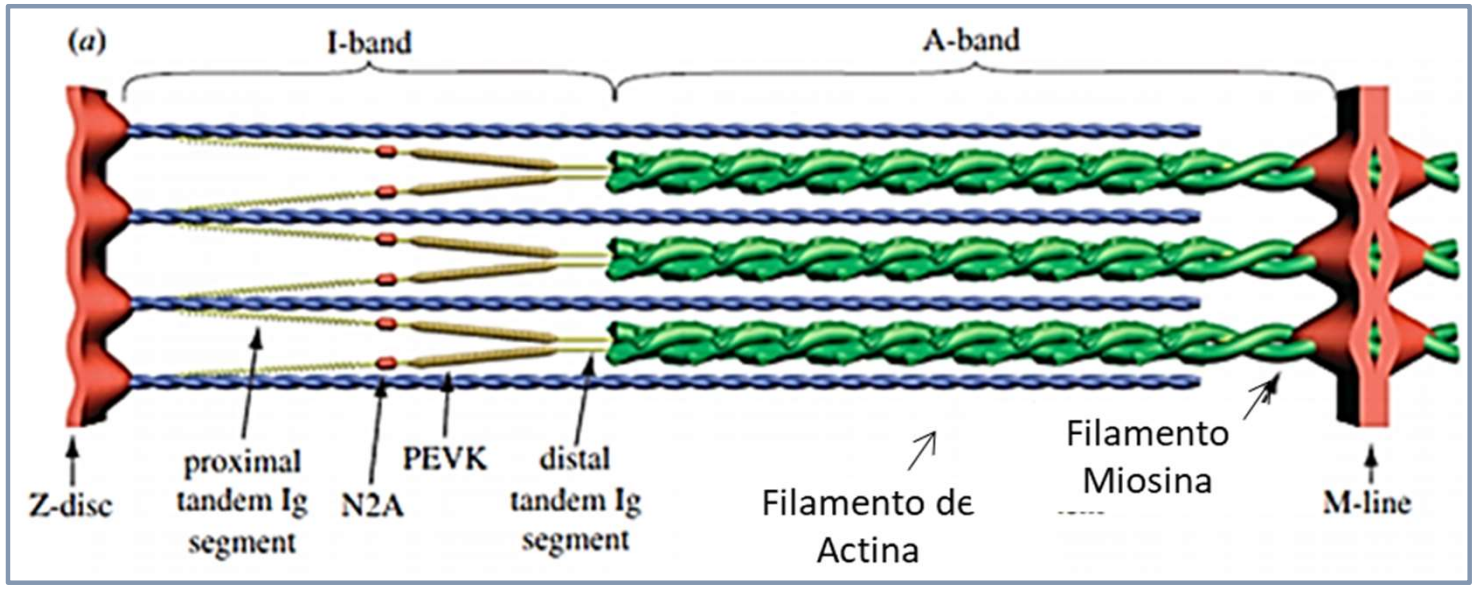
PRINCIPAL ELEMENTO ELÁSTICO DEL SARCÓMERO

- **Titina: Se extiende por la Banda-I. Va desde la Línea-Z hasta la Miosina.**
  - **Fija al Filamento Grueso (Miosina) con Línea Z y la Actina**

CONSTA DE DISTINTOS SEGMENTOS, ESTRUCTURAL Y FUNCIONALMENTE, DIFERENTES:

Segmentos *Ig* (Proximal & Distal), Región *PEVK* y Región *N2A*

(Todos contribuyen de manera diferente en la elasticidad de la Titina)



The Influence of Eccentric Muscle Actions on Concentric Muscle Strength: An Exception to the Principle of Specificity?

Kataoka R, Yamada Y, Hammert W, Song JS, Kassiano W, Kang A. & Loenneke J.
International Journal of Strength and Conditioning, 4(1), https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.328. 2024.

Mecanismos Moleculares que Condicionan la Fuerza Muscular

Históricamente, la **Teoría de los Puentes Cruzados** de la contracción muscular se ha centrado predominantemente en el complejo actina-miosina y sus proteínas reguladoras dentro de las unidades contráctiles (sarcómeros)

FUENTE PRIMARIA DE ENERGÍA MECÁNICA

Sin embargo, esta teoría por sí sola es insuficiente para explicar el incremento de fuerza en las acciones excéntricas

Como alternativa, se ha propuesto un **Modelo de Tres Filamentos** (**Actina, Miosina & TITINA**)

En ella, el tercer miofilamento, la Titina, puede participar activamente en la generación de fuerza muscular al cambiar su rigidez en el estado estirado y activado (es decir, alta concentración intracelular de calcio)

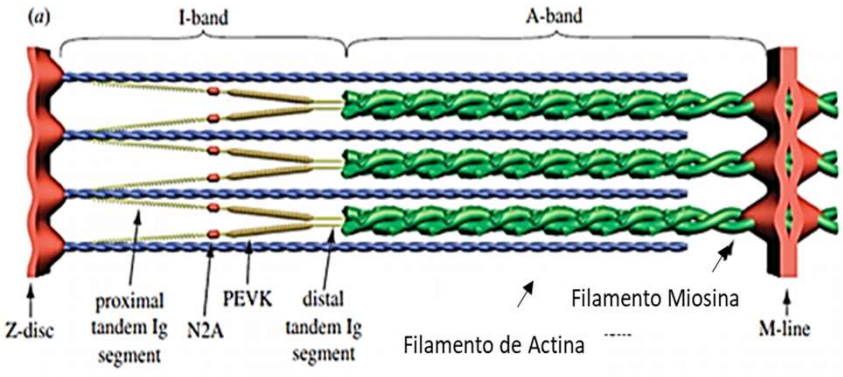
La Titina es la proteína más grande conocida, con capacidad para contribuir a:

- La Tensión Muscular Pasiva,
- La Integridad del Sarcómero,
- La Transmisión de la Fuerza del Puente Cruzado al Disco Z

TITINA (CONECTINA)

"MODELO DE TRES FILAMENTOS"

The role of titin in eccentric muscle contraction
Walter Herzog
Journal of Experimental Biology, 217(16), 2825-2833. 2014.



- **Titina contribuye en Procesos Mecánicos Musculares como:**
  - **Transmisión de Fuerza de la Miosina hacia la Línea-Z**
  - **Liberación de Tensión en Banda - I**

Proporciona a los Sarcómeros **Fuerza Pasiva (*Rigidez*)**,
que aumenta con: la **Elongación & Durante la Contracción**

A la vez que mantiene la Miosina alineada axialmente durante la contracción proporcionando uniformidad con los Sarcómeros adyacentes

- **Interactúa con la Actina afectando a:**
  - **Rigidez (*Stiffness* o *Жесткость*] del Sarcómero**
    - **Regulada por la unión del Ca^{2+} a la Región PEVK**
  - **Capacidad Elástica del Sarcómero**

UNIVERSITY OF CALGARY

IS TITIN A 'WINDING FILAMENT'?

A new twist on muscle contraction

Nishikawa KC., Monroy JA., Uyeno TE., Yeo SH., Pai DK. & Lindstedt SL.

Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences

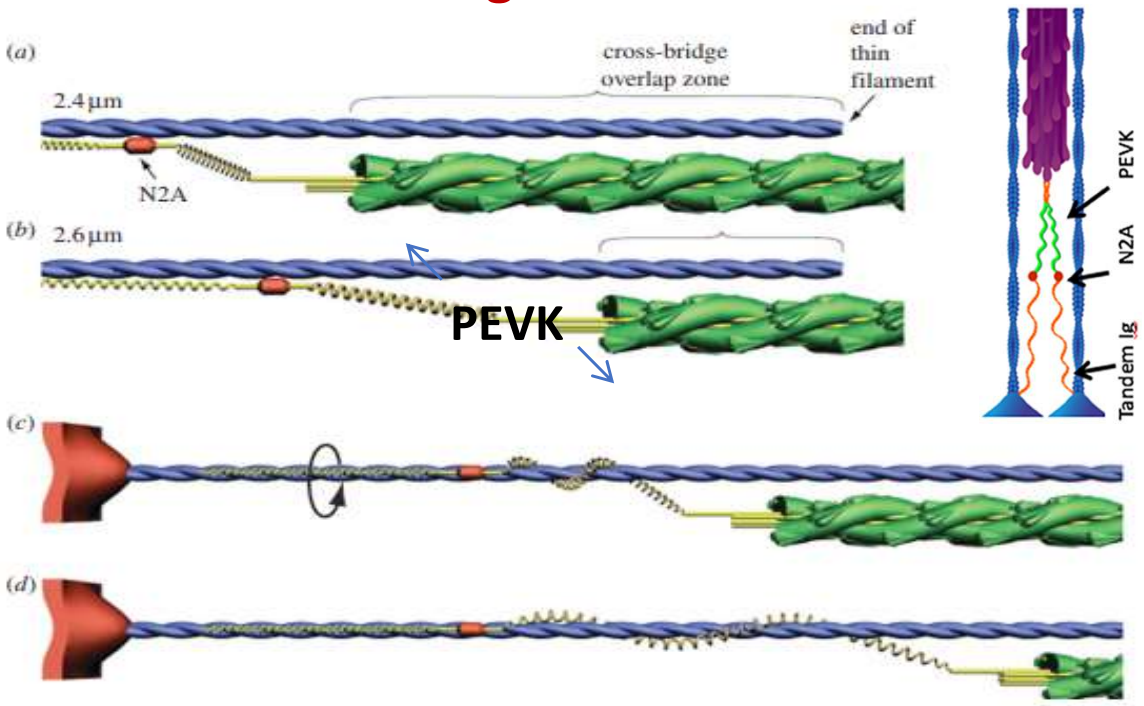
279 (1730), 981-990. 2012.

HIPÓTESIS DEL FILAMENTO ENROLLADO

"Winding Filament Hypotesis"

Unión *N2A* (dependiente del Ca^{2+}) y enrollamiento de *PEVK* a los filamentos de *Actina* contribuye a la

Relación Longitud-Tensión



DURANTE LA CONTRACCIÓN:

Los Puentes Cruzados generados, giran el filamento de Actina enrollando sobre ella la *Zona PEVK* de cada Filamento de Titina.

Aumenta la Rigidez & Almacena Fuerza de Deformación Elástica

Estas interacciones regulan la tasa de conversión de la Energía Elástica en Energía Cinética, dotando al músculo de una estabilización mecánica intrínseca a las perturbaciones de la carga

Durante el alargamiento, el trabajo realizado sobre *PEVK*:

Aumenta la Fuerza Muscular & Reduce el Costo Energético

Eccentric muscle contraction potentiates titin stiffness-related contractile properties in rat fast-twitch muscles

Jiayu Shi, Daiki Watanabe & Masanabu Wada

Journal of Applied Physiology, 133(3), 710-720. 2022.

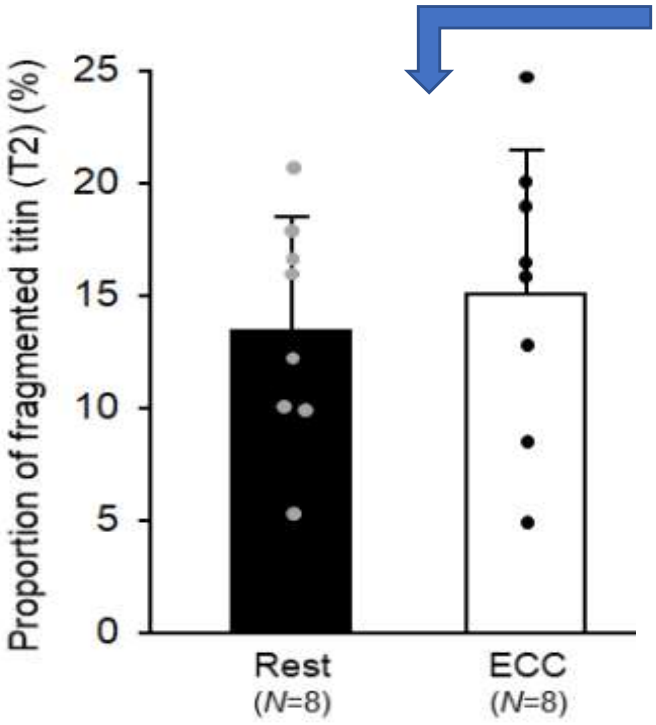
HIROSHIMA UNIVERSITY

Un trabajo que conlleve CONTRACCIONES EXCÉNTRICAS puede potenciar:

- **FUERZA PASIVA** basada en el comportamiento de la **Titina**:

Consecuencia del Trabajo Excéntrico ⇒ Inicial ↓↓ Titina y Posterior Producción ↑↑

(Respuesta dependiente de la Longitud del Sarcómero)



Efecto de Contracción Excéntrica sobre Titina

Degradación & Producción de Titina



Alteraciones (*degradación*), inducidas por acciones *ECCs,* incide en las propiedades contráctiles relacionadas con la Rigidez de la Titina de los Músculos Esqueléticos

La Potenciación observada puede ayudar a Reducir la Fatiga Muscular durante el ejercicio

Alterando la composición de las estructuras afectadas

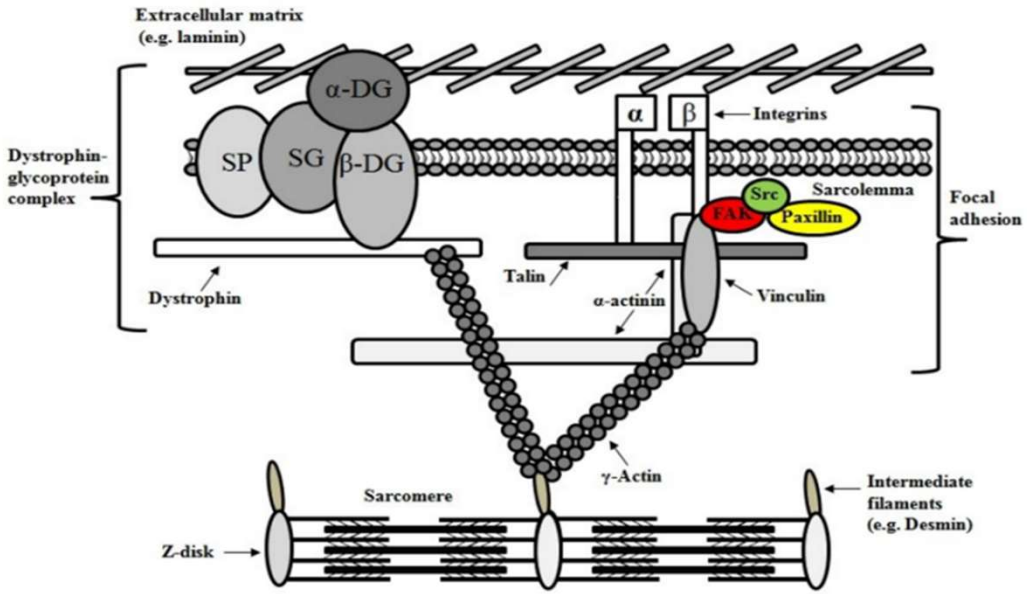
VINCULO CITOESQUELETO – MATRIZ EXTRACELULAR (M.E.C.)

Gran parte de la maquinaria de transmisión de señales que van desde la M.E.C. al Citoesqueleto de los Sarcómeros (Actina & Línea Z), o viceversa, se realiza a través de complejos de proteínas de enlace especializados:

INTEGRINAS (Dystrophin-Associated Proteins complex)

COMPLEJO
Laminina- Distrofina-Glucoproteína

COMPLEJO
FAK-Talina-Vinculina-Paxilina



Alteraciones en **TENSIÓN** & **ORGANIZACIÓN ESPACIAL** de estos elementos (p.ej. Trabajo de Fuerza), permiten:

TRANSMITIR IMPULSOS MECÁNICOS & CASCADAS DE SEÑALIZACIÓN $\Rightarrow$ i.e. **S.P.M.**

The skeletal muscle fiber: a mechanically sensitive cell

Luke A. Olsen, Justin X. Nicoll & Andrew C. Fry

European Journal of Applied Physiology, 119, 333-349. 2019.

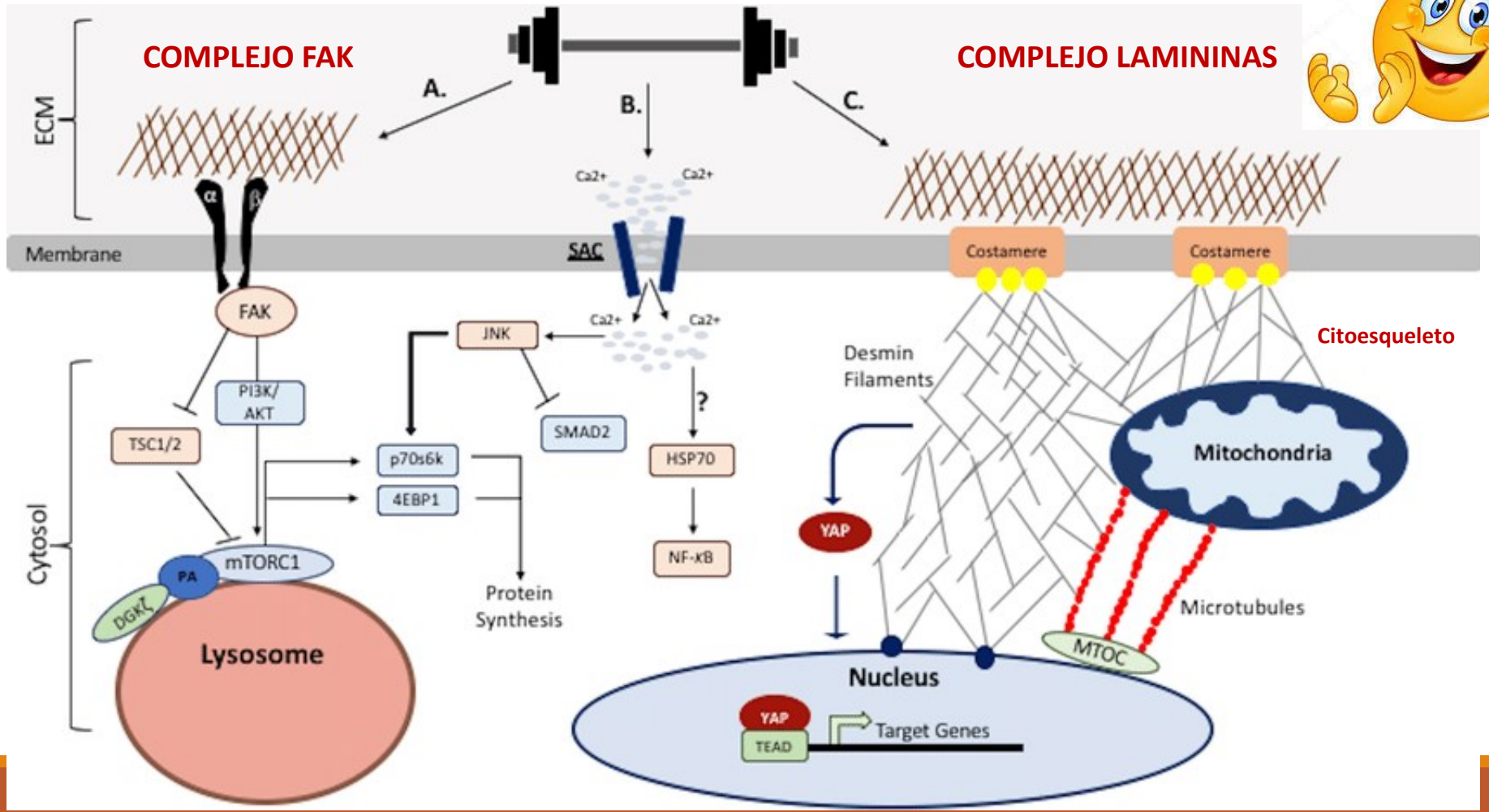
INTEGRINAS

Actúan como **Vías Mecanotransductoras** que se activan con los ejercicios de fuerza

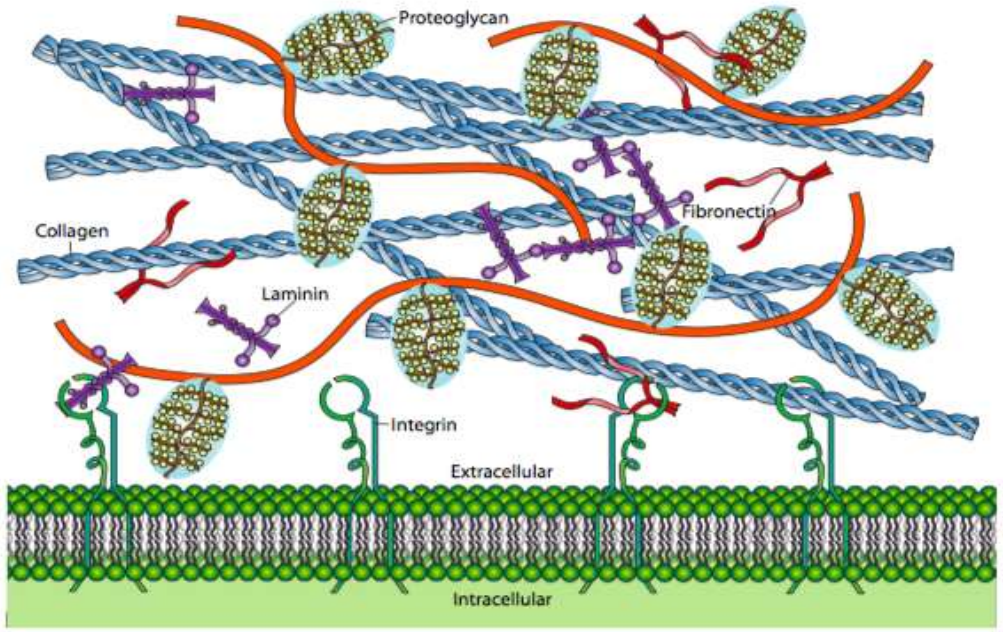
Impulsando diferentes **Vías de Síntesis de Proteínas Musculares**

mTOR, MAPK, NFAT & ¿PGC1α4?





MATRIZ EXTRACELULAR



Matriz Extracelular (*M.E.C.)*

Compuesta por tejido conectivo que actúan como material de conexión para mantener las células en un espacio determinado, y conectar de forma bidireccional con el interior de la célula, con las fascia profunda y con los tendones.

- ***M.E.C.*** **es un conglomerado de sustancias cuyas propiedades Bioquímicas y Biofísicas permiten conformar una red flexible que integra información de carga que derivan en capacidades mecánicas específicas y la activación de vías moleculares claves en la construcción de tejidos afectados.**
  - **Interacción entre la *M.E.C.* e Integrinas conduce a la activación de vías de señalización intracelular (*Mecanobiología*) y al reordenamiento del citoesqueleto.**
  - **Transmite tensión hacia los Tendones**
  - **Conecta e interactúa con las Fascias que y la rodean**

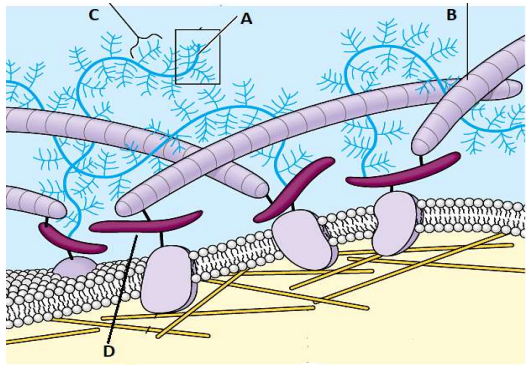
MATRIZ EXTRACELULAR (M.E.C.)

M.E.C. muscular (1-10% de *CSA* muscular) es una red compleja de Tejido Conectivo, compuesta (*Grosso Modo*) por:

Colágenos, Glucoproteínas, Proteoglicanos, Laminina, Fibronectina y Elastina

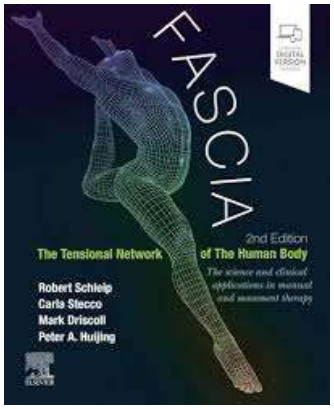
Está organizada en tres capas:

- **ENDOMISIO**: capa interna que encierra las fibras musculares individuales,
- **PERIMISIO**: agrupa grupos (haces) de fibras musculares,
- **EPIMISIO**: envuelve todo el músculo.



Se consideran a las 3 capas
parte de un complejo sistema de tejidos conectivos
INTERCONECTADOS CON EL SISTEMA FASCIAL Y EL INTERIOR DE LAS CÉLULAS

"Rodea, entreteje y penetra todos los órganos, músculos, huesos y nervios, dotando al cuerpo de una estructura funcional consistente y proporcionando un entorno que permite que todos los sistemas funcionen de manera integrada"



MATRIZ EXTRACELULAR (M.E.C.)

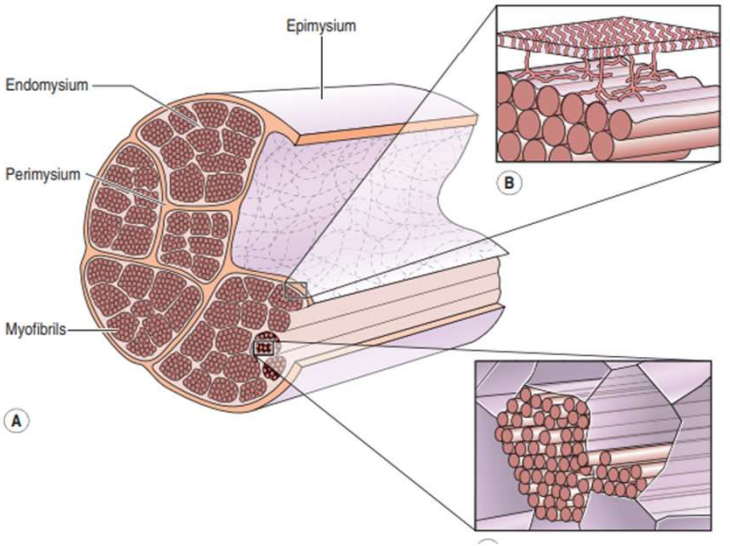
Comportamiento Mecánico Especializado e Interconectado

General anatomy of the muscle fasciae (Cap. 1.2.)
Peter P. Purslow & Jean-Paul Delage
En Schleip, Stecco, Driscoll & Huijing.
The Tensional Network of the Human Body
Editorial Elsevier (2022)

Cada músculo está rodeado por el **EPIMISIO**, una capa de tejido conectivo que se continua, con los **TENDONES** que unen el músculo a los huesos y con las **FASCIAS** que rodean al músculo. El perimisio se activa, principalmente, bajo grandes desplazamientos intramusculares o en contracciones excéntricas.

El **PERIMISIO** es una red continua de tejido conectivo que divide el músculo en fascículos o haces de fibras musculares.

La **RED PERIMISIAL** se fusiona con los **TENDONES** y el **EPIMISIO** en la superficie del músculo y está conectada mecánicamente a ellos.



Dentro de cada fascículo, o haz de fibras musculares, el **ENDOMISIO** es una red continua de tejido conectivo que separa a las fibras musculares y que se conecta con el **PERIMISIO**. compromete la producción de fuerza pasiva y activa de las fibras musculares.

Skeletal muscle extracellular matrix–what do we know about its composition, regulation, and physiological roles? A narrative review

Robert Csapo, Matthias Gumpenberger & Barbara Wessner

Frontiers in Physiology, 11, https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00253. 2020.

La M.E.C. de los músculos esqueléticos es un tejido maleable que puede sufrir procesos de cambio y remodelación como consecuencia de factores como:

Envejecimiento, enfermedades, desuso o

TENSIONES MECÁNICAS

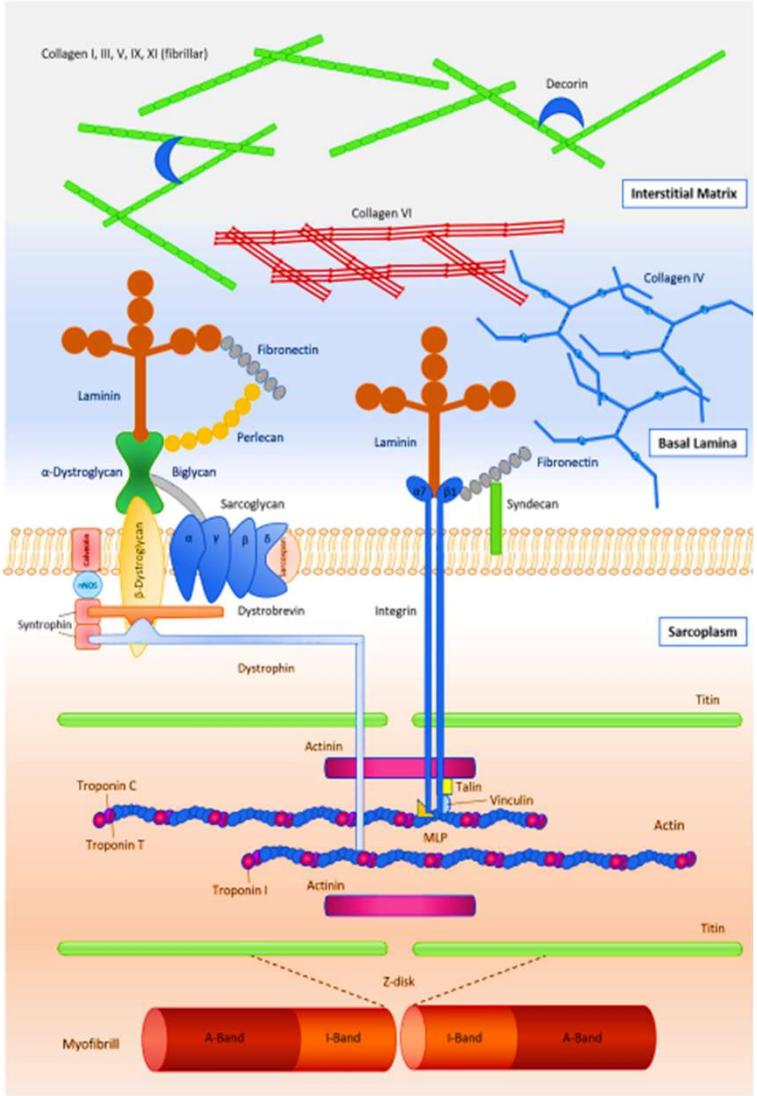
(Especialmente Entrenamiento de Fuerza Excéntrica)

Evidencias demuestran que el ejercicio puede promover la **Síntesis de Colágeno** (Colágenos I y III y TGF-β1) y la **Degradación de Colágeno**

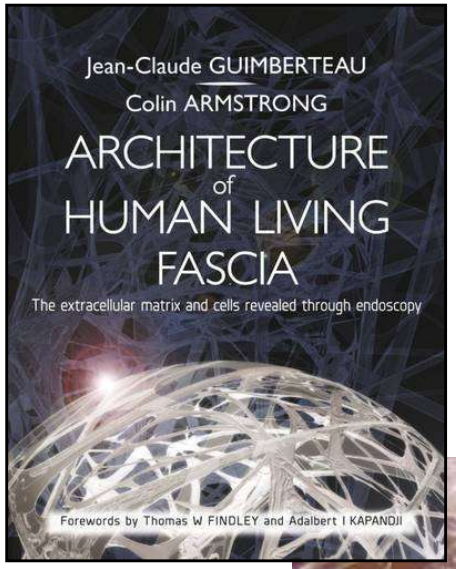
(Metaloproteinas de Matriz: MMP2 y MMP9)

PROVOCANDO LA REMODELACIÓN DE LA M.E.C.

Estudios (humanos y animales), sugieren que el aumento en el recambio de Colágeno de la MEC permite generar estructuras reforzadas, como ocurre en sujetos entrenados, y prevenir una degradación excesiva de colágeno tal y como sucede en los músculos débiles o en la musculatura de los sujetos de edad avanzada

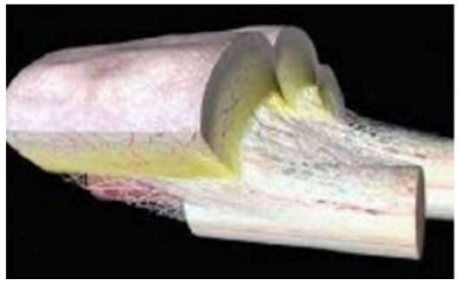


SISTEMA FASCIAL



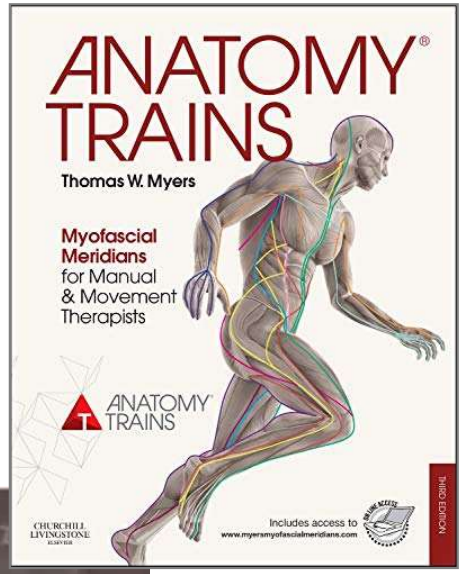


Jean-Claude Guimberteau





Thomas W. Myers



TEJIDO VIVO





CADAVER FRESCO

FASCIA RESEARCH SOCIETY (FRS)

Fascia Nomenclature Committee (FNC)

FASCIA

Vaina, lámina o cualquier agregado diseccionable de Tejido Conectivo que se forma debajo de la piel para unir, encerrar y separar músculos y otros órganos internos

SISTEMA FASCIAL

***CONTINUO TRIDIMENSIONAL* de tejidos conectivos fibrosos blandos, que contienen colágeno, laxos y densos, que se extienden por todo el cuerpo**

- Incorpora elementos como tejido adiposo, adventicias y vainas neurovasculares, aponeurosis, fascias profundas y superficiales, epineuro, cápsulas articulares, ligamentos, membranas, meninges, expansiones miofasciales, periostios, retináculos, septos, tendones, fascias viscerales y todos los órganos intramusculares y Tejidos conectivos intermusculares, incluido el endo/peri/epimisio
- Rodea, entreteje e interpenetra todos los órganos, músculos, huesos y fibras nerviosas, dotando al cuerpo de una estructura funcional y proporcionando un entorno que permite que todos los sistemas del cuerpo funcionen de manera integrada

FASCIAS (BANDA)

TODOS LOS TEJIDOS & ESTRUCTURAS SE CONECTAN ENTRE SÍ A TRAVES DEL TEJIDO FASCIAL GENERANDO UNA COMPLEJA RED DE INTERCONEXIÓN GLOBAL

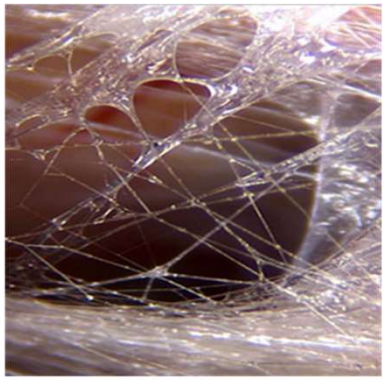
CONTINUO FASCIAL TRIDIMENSIONAL

Resultado de la evolución de la sinergia existente entre los diferentes tejidos, líquidos y sólidos, es capaz de sostener, dividir, penetrar, alimentar y conectar todas las zonas del cuerpo (desde epidermis hasta el hueso), incidiendo en el comportamiento de todas las funciones y estructuras del organismo

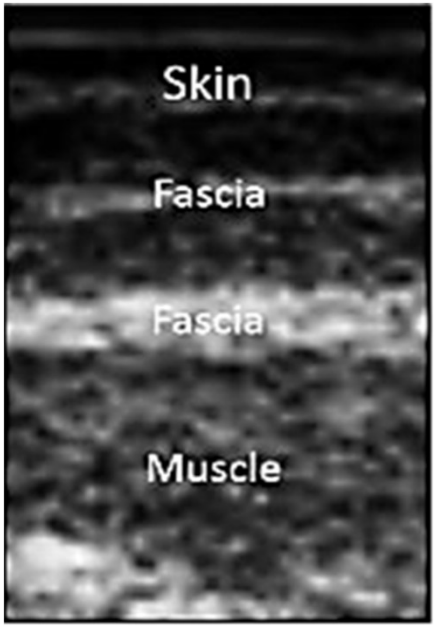
Transmite y recibe, constantemente, información mecano-metabólica, que puede influir en la forma y función de distintas zonas sobre las que actúa

¿650 MÚSCULOS O SÓLO UNO?









THE FASCIA:
the forgotten structure

Stecco C., Macchi V., Porzionato A., Duparc F. & De Caro R.

The Fascia: the Forgotten Structure, 127-138. 2011.



Desde la piel hasta el plano más profundo, encontramos:

- **FASCIA SUPERFICIAL (Subcutánea, Hipodermis o Tejido Subcutáneo):** conecta piel, tejido celular subcutáneo y músculo.

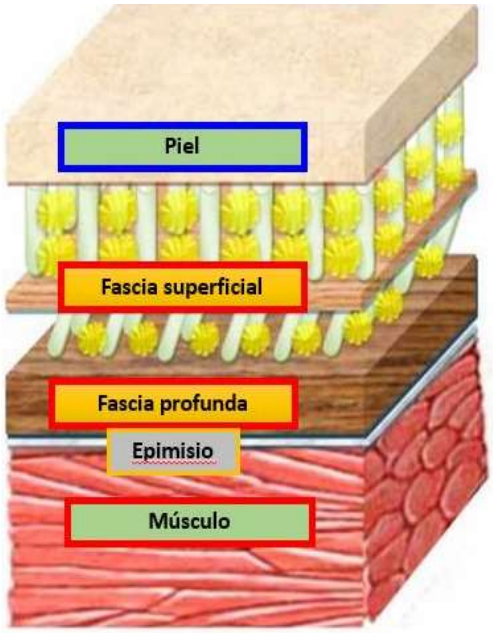
FUNCIÓN: Interconexión de Estructuras

- **FASCIA PROFUNDA (Muscular):** envuelve todos los músculos, mostrando características diferentes según la región.

  La parte más superficial envuelve el músculo separándolo de los músculos vecinos y favoreciendo su movilidad.

  La más profunda envuelve los diferentes músculos de cada uno de los distintos grupos musculares constituyendo los diferentes compartimentos (*septos*) de un segmento.

FUNCIÓN: Transmisión de Señales



Debajo de la **Fascia Profunda** se encuentra el **EPIMISIO** en las extremidades y en algunas regiones del tronco

COMPOSICIÓN DE LAS FASCIAS

- **MATRIZ EXTRACELULAR (≈ 80-85%):** Sustancia Gelatinosa (Viscosa)
  - **Agua** (≈ 60-70%)
  - **Fibras**
    - **Colágeno** (12 Tipos: 60-70% de las Fibras), **Elastina** & **Reticulina**
  - **Tejido de Cohesión**
    - **Glucosaminoglicanos** o **Mucopolisacáridos** (Ácido Hialurónico) (≈15-20%)
    - **Proteoglicanos** (≈ 15-20%)
    - **Glucoproteínas** (≈ 10-15%)
- **CÉLULAS (≈15-20%)**
  - **Fibroblastos**
    - Responsable de Formación de Colágeno, Elastina y Reticulina
  - **Mastocitos**
    - Control de Cicatrización y Nocicepción
  - **Adipocitos**
    - Amortiguadores, Reservorios Energéticos y Termorreguladores
  - **Macrófagos**
    - Eliminación y Preparación de la Cicatrización



Fascia is able to actively contract and may thereby influence musculoskeletal dynamics: a histochemical and mechanographic investigation

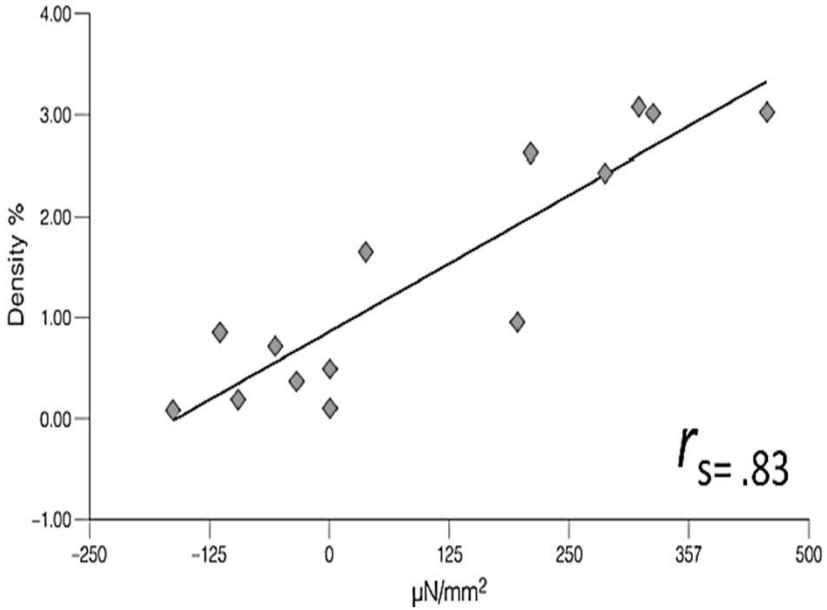
Schleip R, Gabbiani G, Wilke J, Naylor I, Hinz B, Zorn A, ... & Klingler W.
Frontiers in Physiology, 10, 336, https://doi.org/10.3389. 2019.

En contraste a la suposición generalizada de que la Fascia es un tejido inerte, existen indicios sólidos de que este tejido podría cumplir un papel más activo con

CAPACIDAD PARA CONTRAERSE ACTIVAMENTE

Estas **contracciones del tejido fascial** se producen a largo plazo (horas o días) y **generan** importantes **alteraciones del tejido** (i.e. aumento del *stiffness*)

La Densidad local de Fibroblastos parece ser un factor determinante detrás de las contracciones tisulares de las Fascias



Característica de las Fascias vinculada a:

Propiedades

Intrínsecas & Relación

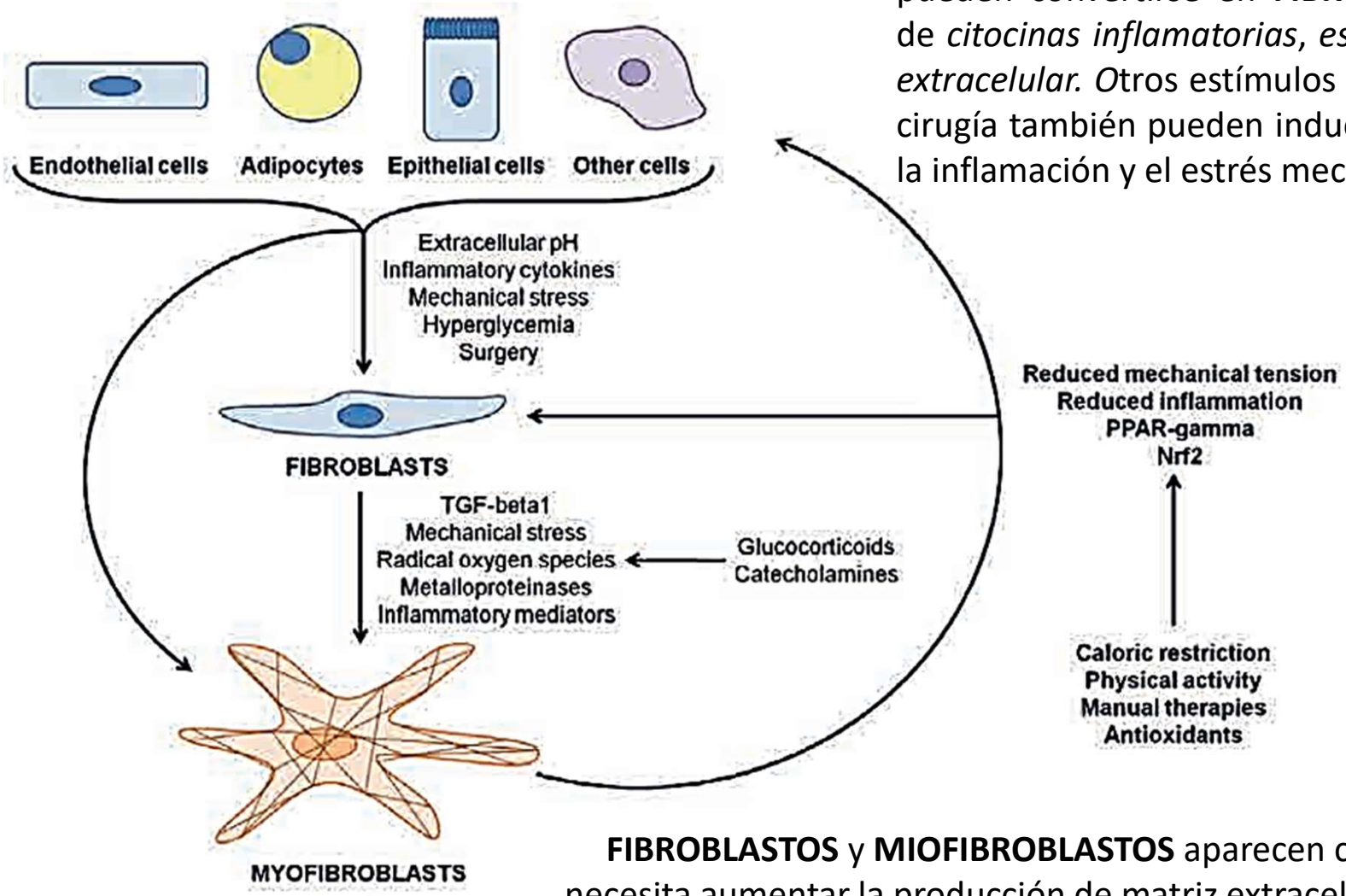
Se observa una fuerte correlación positiva entre las Fuerzas Mecánicas *vs*. Densidad Fibroblastos (MFB), donde una mayor densidad de MFB se asoció con una respuesta contráctil más potente y un cambio funcional de fibroblastos

Impact of stress, immunity, and signals from endocrine and nervoussystem on fascia

Barsotti N, Chiera M, Lanaro D & Fioranelli M
The Official Journal of European Weightlifting Federation
16, 6-34. 2020.

Algunas células pueden cambiar sus fenotipos cuando son adecuada e intensamente estimuladas

Células endoteliales, epiteliales y mesenquimales pueden convertirse en **FIBROBLASTOS** por acción de *citocinas inflamatorias*, *estrés mecánico* y el *pH extracelular. O*tros estímulos como hiperglucemia o cirugía también pueden inducirlo ya que aumentan la inflamación y el estrés mecánico.



Estos mismos estímulos, en particular el *TGFβ1*, *estrés mecánico* y *ROS*, pueden hacer que los **FIBROBLASTOS** y otras células se conviertan en **MIOFIBROBLASTOS**

FIBROBLASTOS y **MIOFIBROBLASTOS** aparecen cuando el organismo necesita aumentar la producción de matriz extracelular y curar una herida

TEJIDO FASCIAL (PROPIEDADES)

PROPIEDADES INTRÍNSECAS

TIXOTRÓPICAS

Cambio de ***Viscosidad*** con la presión

Modifica la alineación y proliferación de fibroblastos

PIEZOELÉCTRICAS

Cambio de ***Polarización*** por estrés mecánico o activación neural

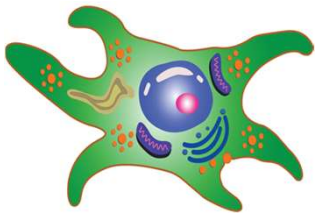
Provoca que fibroblastos cambien su actividad metabólica en los puntos de alteración mecánica

TENSEGRITIVAS

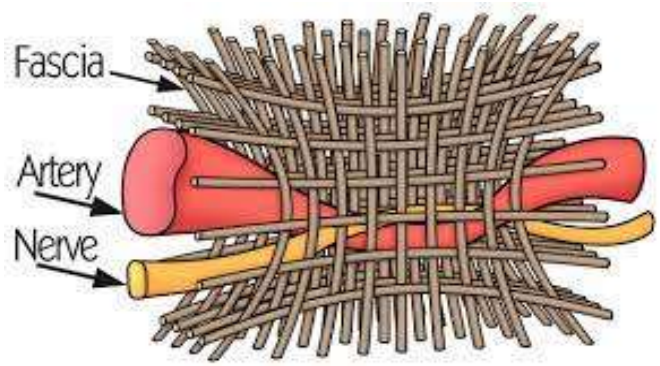
Combinación de las fuerzas generando una red de elementos de compresión y elementos rígidos, que están interconectados a través de elementos tensiles o elásticos que le dan a la estructura su integridad

PROPIEDADES DE RELACIÓN

TRANSMISIÓN DE TENSIONES (Mecanotransducción)



TRANSMISIÓN DE SENSACIONES (Sensomotricidad)



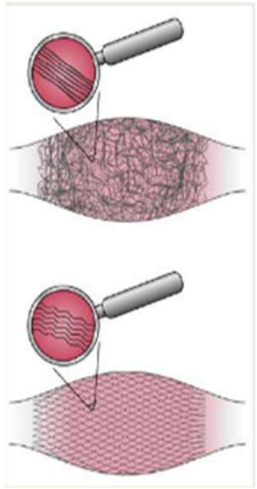
Role of the pH on hyaluronan behavior in aqueous solution
Gatej I., Popa M., & Rinaudo M.
Biomacromolecules, 6(1), 61-67. 2005.

TIXOTROPÍA FASCIAL

Las eventuales variaciones del contenido en las células con disminuciones de agua, iones u otras sustancias provocadas por el estrés mecánico pueden modificar las

PROPIEDADES BIOMECÁNICAS

del Tejido Conjuntivo, provocando alteraciones en el deslizamiento de las diferentes capas de la Fascia las cuales pueden provocar algunas



PATOLOGÍAS MIOFASCIALES

ACIDOSIS

pH del músculo puede disminuir hasta un valor de 6.6
(PUNTO DE AGOTAMIENTO)

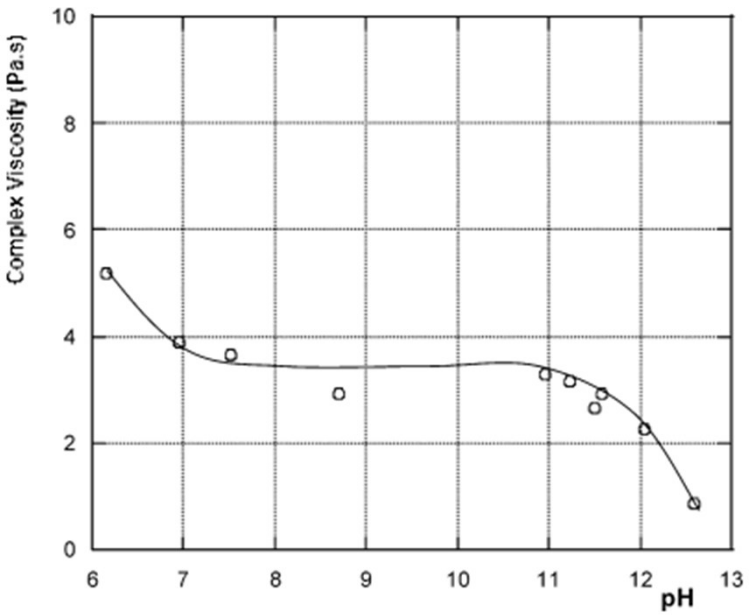
Momento en que aumenta la Viscosidad (*Tixotropía*) por

Pérdida de Agua & Alteración Ácido Hialurónico

El aumento de la Viscosidad puede explicar la

"SENSACIÓN DE RIGIDEZ"

asociada a la FATIGA MUSCULAR



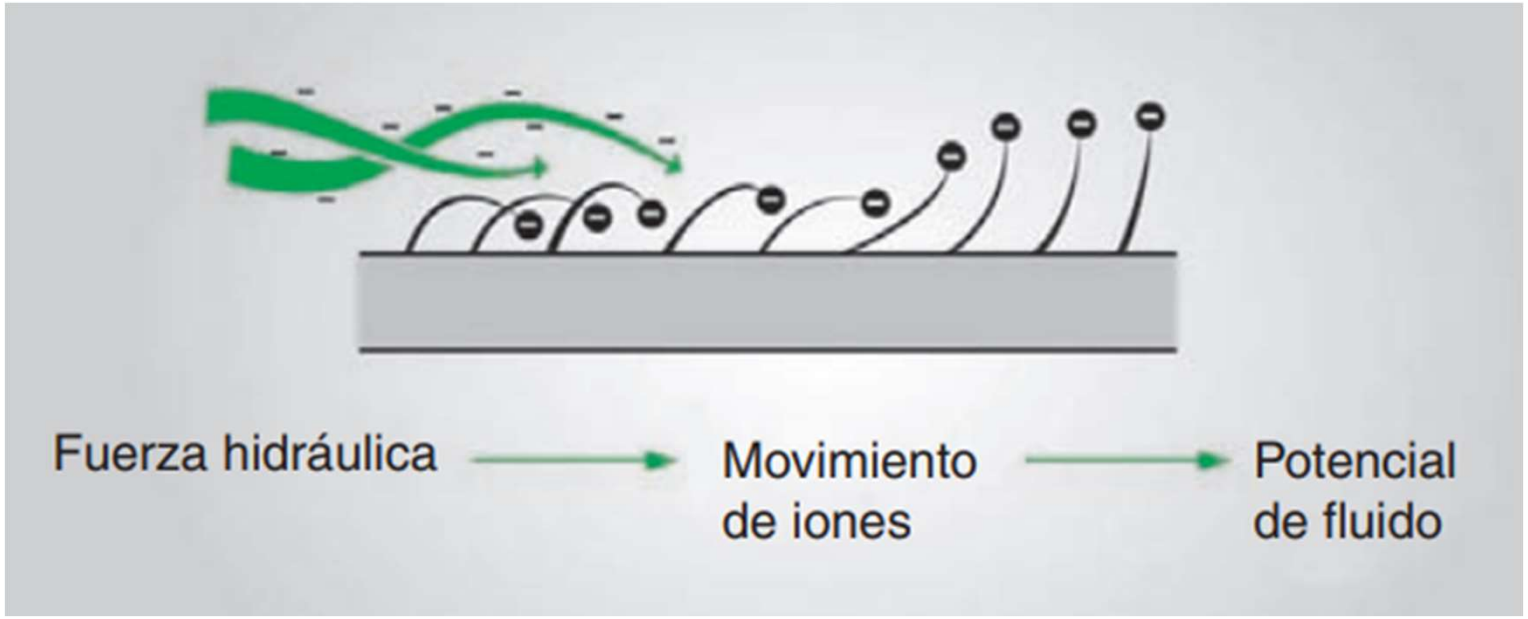
pH	G′ (Pa)	G″ (Pa)	ω_0 (rad/s)	$\lvert\eta^*\rvert^a$ (Pa·s)
6.15[b]	1.68	4.94	16.27	6.42
6.96	1.14	3.74	21.03	4.54
7.52	1.05	3.51	22.17	4.26
8.70	0.77	2.83	26.33	3.31
10.95	0.83	3.19	29.90	3.72
11.23	0.77	3.07	29.74	3.52
11.58	0.69	2.85	31.17	3.23
12.33	0.47	2.22	73.03	2.40
12.6	0.10	0.87		0.89
11.5[c]	0.61	2.58	33.64	2.90
3.82[a]	0.50	2.18	39.25	2.48

PIEZOELECTRICIDAD

Structure and properties of ground substances
James L. Oschman
American Zoologist, 24, 199–215. 1984.

Mecanismo de generación de corriente eléctrica a través del fenómeno de la piezoelectricidad utilizando el impulso hidráulico

Este efecto se observa cuando el líquido extracelular, cargado de iones, se desplaza sobre una superficie eléctricamente cargada dentro de la matriz extracelular (MEC)



Fascia is able to contract in a smooth muscle-like manner and thereby influence musculoskeletal mechanics

Robert Schleip, Frank Lehmann-Horn & Werner Klingler

En D. Liepsch (Ed.), Proceedings of the 5th World Congress of Biomechanics. Munich, Alemania (pp. 51-54). 2006.

PIEZOELECTRICIDAD FASCIAL

Rigidez de la Fascia aumenta también por incremento de Actividad Neural

CAPACIDAD SOMATOSENSITIVA & NEURAL (SISTEMA SIMPÁTICO)

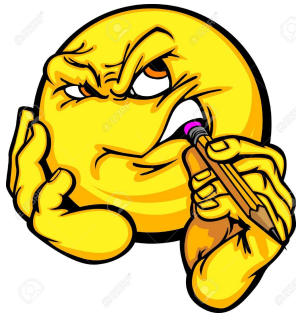
(Elevada Densidad de Mecarreceptores & Nociceptores del Tejido Fascial)

El aumento en la ACTIVACIÓN SIMPÁTICA, puede ser uno de los mecanismos que puede desembocar en un aumento en la RIGIDEZ en el tejido fascial

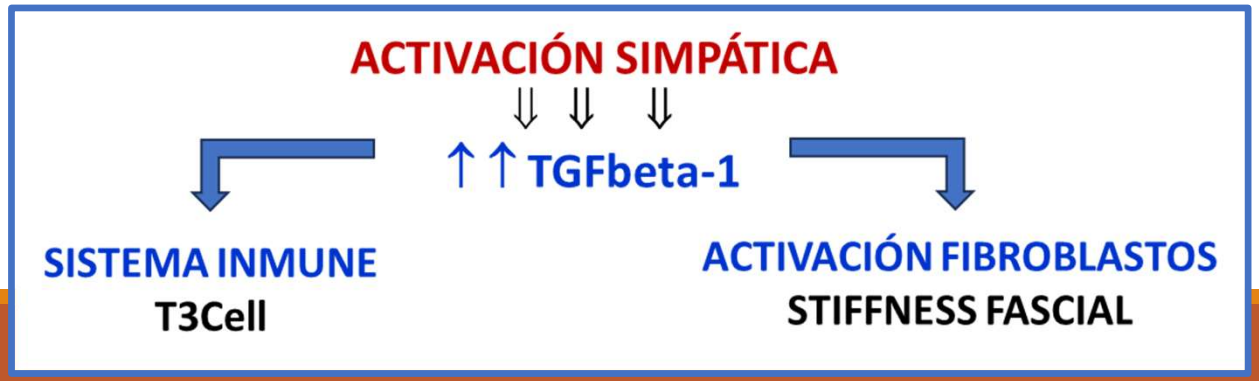
La activación SIMPÁTICA lleva a alteraciones en Sistema Inmune (Células T3 & Receptores de Células T)

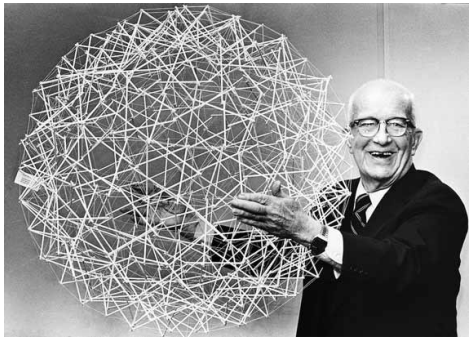
Se ha comprobado que una citoquina, el factor de crecimiento (TGFβ-1), actúa como elemento desencadenante de este comportamiento

También se sabe que el TGFβ-1 aumenta la rigidez del tejido por activación de Fibroblastos (PEIZOELECTRICIDAD), alterando el comportamiento mecánico del tejido

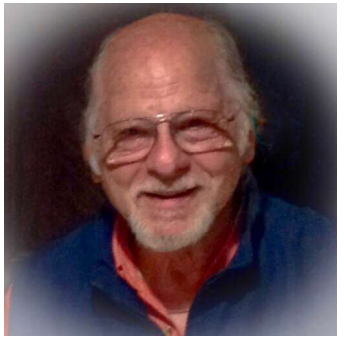








CONSTRUCTOS TENSEGRIDAD & BIOTENSEGRIDAD



Richard Buckminster "*Bucky*" Fuller

(1895-1983)

En la primera mitad del siglo XX, acuñó el término **TENSEGRIDAD** alejándose del concepto clásico de continuidad compresional (compresiva)

"…la tensegridad es un sistema estructural constituido por elementos de compresión discontinuos conectados por elementos de tensión continuos. Debido a la forma en que se distribuyen las fuerzas tensionales y de compresión en su interior, constituye una estructura estable que es capaz de reaccionar e interactuar de manera dinámica"

Más tarde (1933), se trasladó el concepto **TENSEGRIDAD** a un nuevo modelo de interpretación organizativa de las células de los seres vivos

Es en este momento cuando surge el término BIOTENSEGRIDAD
Stephen M. Levin (1941-2012) aplica el MODELO DE ORGANIZACIÓN TENSEGRETIVA de la célula a todo el cuerpo humano
EL CUERPO HUMANO COMO ESTRUCTURA TENSEGRÍTICA
Los huesos son los componentes comprimidos y
la fascia conforma la red de componentes traccionados



BIOTENSEGRITY OR FASCINTEGRITY?

Bruno Bordoni, Matthew A. Varacallo, Bruno Morabito & Marta Simonelli

Cureus, 11(6), e4819. DOI 10.7759/cureus.4819. 2019.

CONTINUO FASCIAL TRIDIMENSIONAL

Va más allá en el concepto BIOTENSEGRIDAD, diferenciando entre:



BIOTENSEGRIDAD FASCIAL

Modelo mecánico que sólo tiene en cuenta la:

FASCIA SÓLIDA

Clave en la manifestación de la Fuerza



FASCINTEGRIDAD

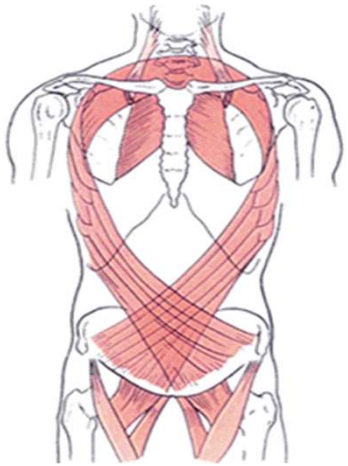
Modelo mecánico que considera la:

FASCIA SÓLIDA & FASCIA LÍQUIDA

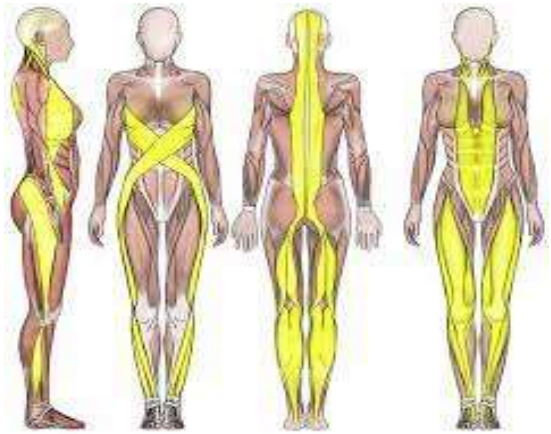
Forma y Función de las Fascias Sólidas dependen de la Fascia Líquida

Fascia Líquida condiciona la adaptación del cuerpo en presencia de estrés mecánico

La presencia de fluidos es fundamental para el crecimiento y supervivencia de las células, así como para el mantenimiento de la forma y la función de tejidos y órganos



TEJIDO MIOFASCIAL





FORMA CADENAS MIOFASCIALES

RED COMPLEJA DE FASCIAS

"CONTINUO FASCIAL"

Inciden sobre el movimiento y la transmisión de fuerzas entre músculos

Aplicación Práctica: "EFECTO SERAPE" (1970)

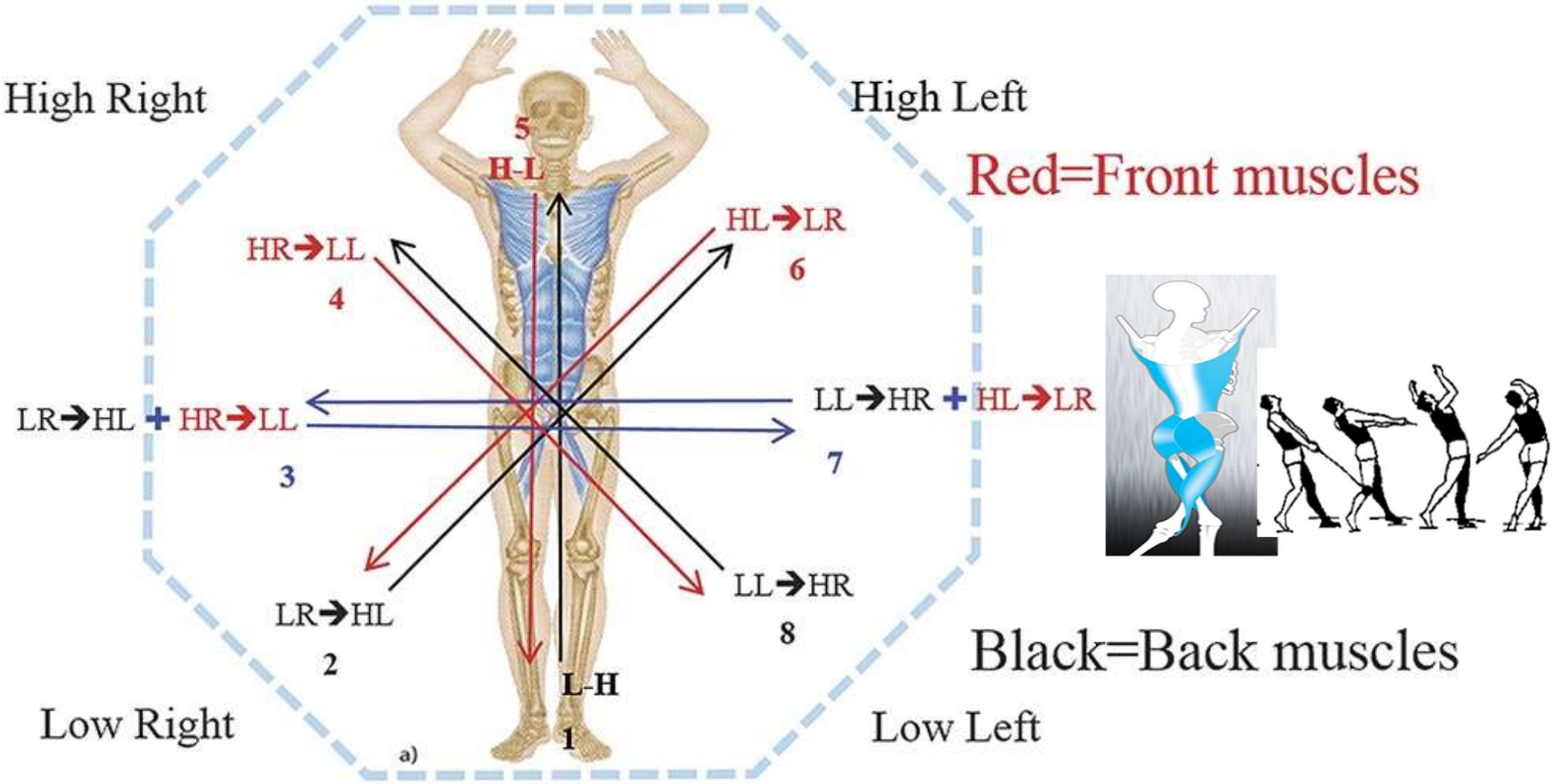
Gene Adams Logan (1922-1999) & Wayne Clark McKinney (1950-2020)

Estudio y entrenamiento de movimientos globales y no de músculos aislados

Todos los movimientos nacen y mueren en la zona central, de modo que una sección media fuerte nos hará más eficientes en todo tipo de movimientos, especialmente si implican una torsión del tronco

EFECTO SERAPE

ENTRENAMIENTO FUNCIONAL & CADENAS MIOFASCIALES





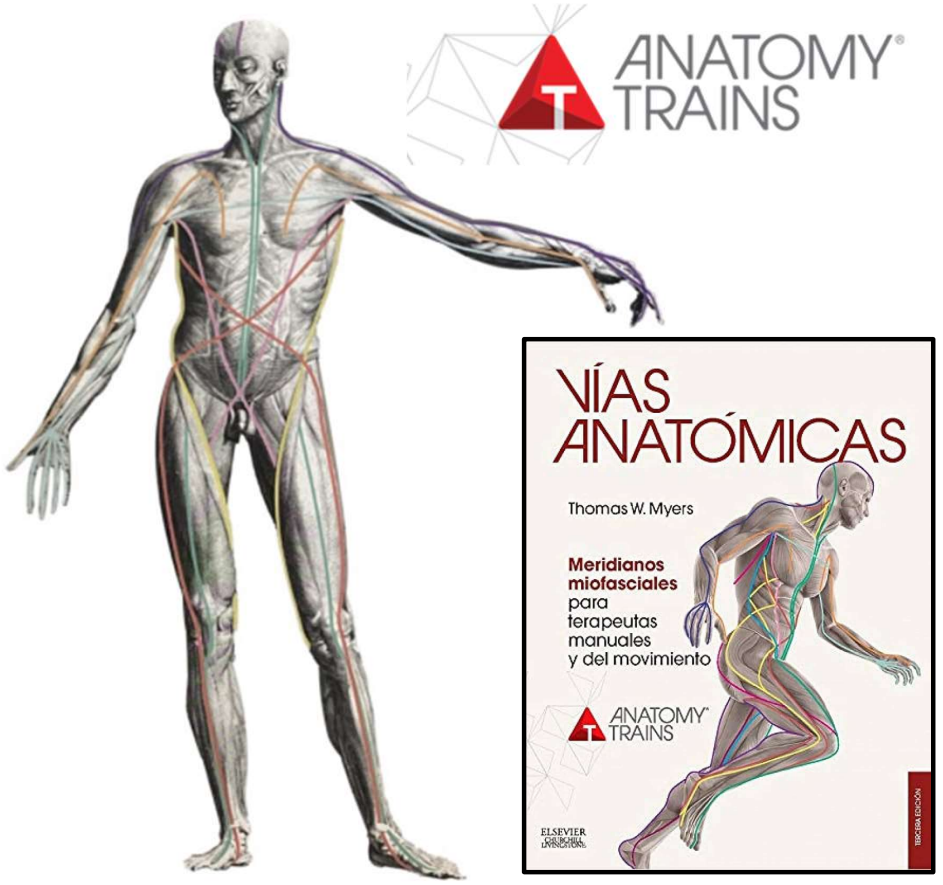
MERIDIANOS MIOFASCIALES:
caminos anatómicos para terapeutas corporales y del movimiento
Thomas W. Myers
Editorial Elsevier (2014)

MERIDIANOS MIOFASCIALES
(*ANATOMY TRAINS*)

Componentes de la Macroestructura Fascial

Representan un conjunto de conexiones miofasciales extendidas longitudinalmente a lo largo de todo el cuerpo las cuales están coordinadas sinérgicamente entre sí

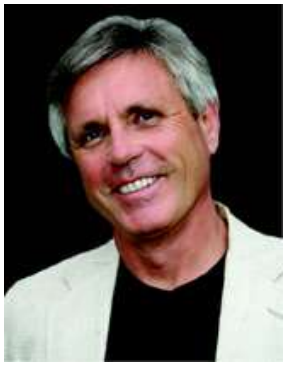
Contribuyen funcionalmente en todos los movimientos principales y al mantenimiento de la postura



Mapa de Meridianos Miofasciales
(Vista frontal)

MERIDIANOS MIOFASCIALES

Thomas W. Myers



Cadenas Miofasciales

Representan Circuitos Continuos Bidireccionales de Músculos a través de los cuales se propagan las FUERZAS QUE ORIGINAN LOS MOVIMIENTOS

Reflejan las vías que siguen las Tensiones Musculares y Fasciales cuando realizamos un movimiento

CADENAS MIOFASCIALES ANTERIORES:

- Cadena Anterior Medial (AM)
- Cadena Anterior Lateral (AL) o Espiral
- Cadena Anterior Posterior (AP)

CADENAS MIOFASCIALES POSTERIORES:

- Cadena Posterior Medial (PM)
- Cadena Posterior Lateral (PL) o Espiral
- Cadena Posterior Anterior (PA)



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Training principles for fascial connective tissues: scientific foundation and suggested practical applications

Robert Schleip & Divo Gitta Müller

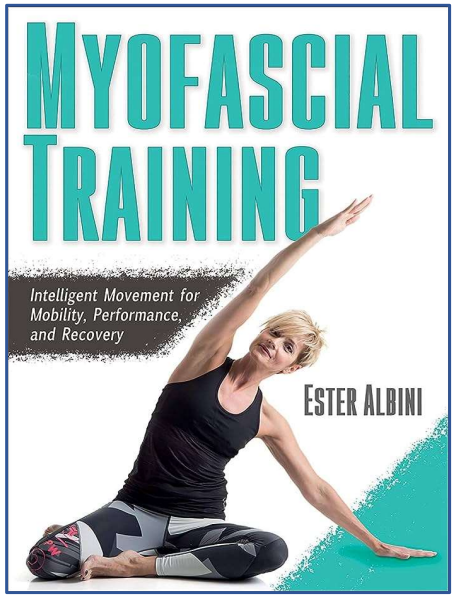
Journal of Bodywork and Movement Therapies, 17(1), 103-115. 2013.

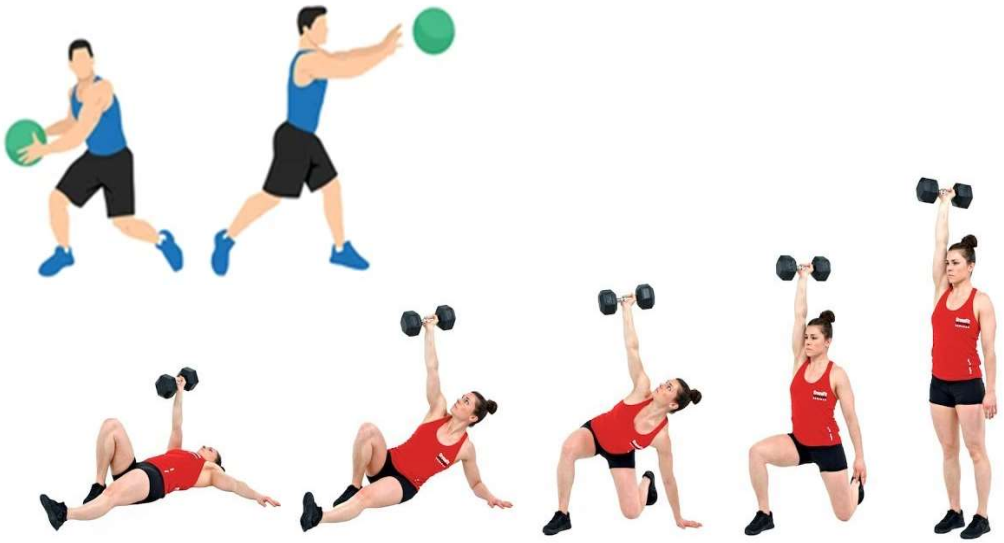
Las estructuras fasciales se adaptan, poco a poco, a las tensiones a que son sometidas a través del entrenamiento o la actividad diaria

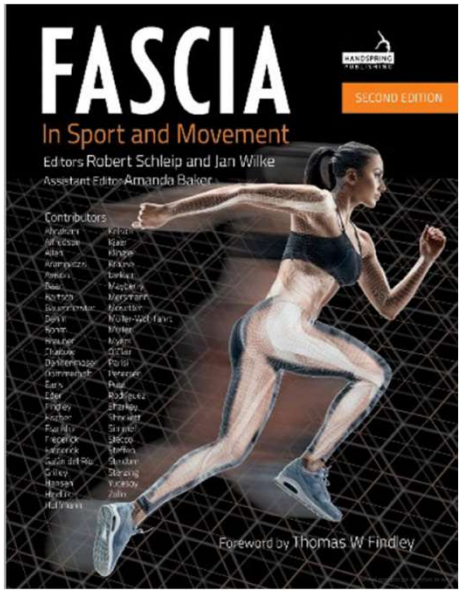
Con pocos entrenamientos (1 a 2 veces/semana) es posible conseguir:

REMODELACIÓN & OPTIMIZACIÓN DEL TEJIDO CONJUNTIVO

El proceso de adaptación del nuevo tejido se producirá tras varios meses (6 a 24 meses) de entrenamiento, conformando un tejido conjuntivo con una matriz rica en colágeno más flexible y elástica







ENTRENAMIENTO MIOFASCIAL





Liberación Miofascial (MFR): Presión aplicada sobre el músculo

- Automasaje
- Foam Rollers

Elongación (Teensión) Miofascial (EMF):

Estiramientos de Cadenas Miofasciales

EJERCICIOS CON EFECTO SERAPE

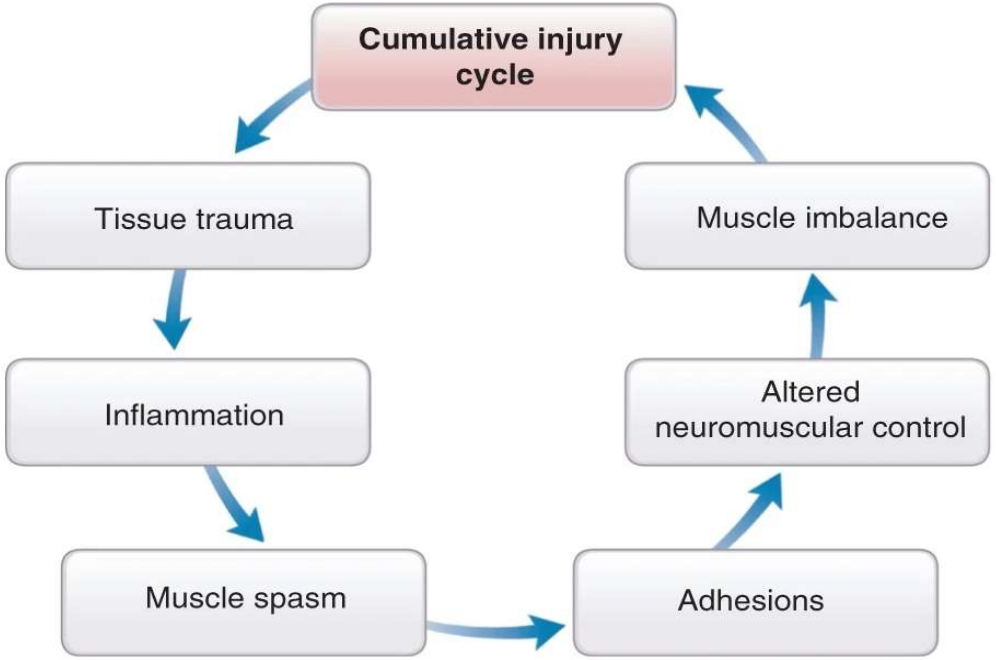
- Cadenas Miofasciales Anteriores:
  - Cadena Anterior Mediana (AM)
  - Cadena Anterior Lateral (AL) o Espiral
  - Cadena Anterior Posterior (AP)
- Cadenas Miofasciales Posteriores:
  - Cadena Posterior Mediana (PM)
  - Cadena Posterior Lateral (PL) o Espiral
  - Cadena Posterior Anterior (PA)



SELF-MYOFASCIAL RELEASE (SMR)
CON RODILLOS DE ESPUMA (FOAM ROLLER)



Incide sobre los sistemas neural y fascial del cuerpo que puedan estar afectados negativamente (viscosidad elevada o rigidez) por una mala postura, la ejecución de movimientos repetitivos excesivos o numerosos movimientos disfuncionales (*cumulative injury cycle*)



ENTRENAMIENTO (LIBERACIÓN) MIOFASCIAL *vs*. FUERZA MUSCULAR

An acute bout of selfmyofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or forcé

MacDonald GZ, Penney MDH, Mullaley ME, Cuconato AL, Drake CDJ, Behm DG & Button DC. Journal Strength Conditinioning Research, 27(3), 812-821. 2013.

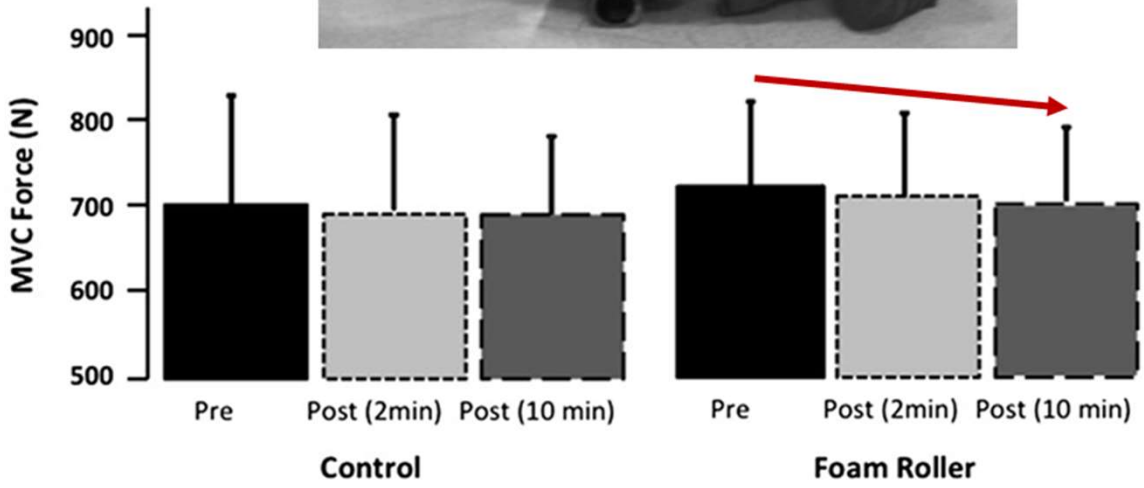
Un episodio aislado de SMR del cuádriceps (2') resulto ser una estrategia eficaz para mejorar, de forma aguda, el ROM de la articulación de la rodilla, pero con una ligera disminución en el rendimiento muscular (FIM).

FUERZA (N)

Pre: 727.50 ± 101.30; **Post 2':** 692.80 ± 98.48; **Post-10':** 683.90 ± 86.97









MEMORIAL UNIVERSITY

The effects of myofascial release with foam rolling on performance

Healey, K. C., Hatfield, D. L., Blanpied, P., Dorfman, L. R., & Riebe, D.

The Journal of Strength & Conditioning Research, 28(1), 61-68. 2014.

Los participantes realizaron ejercicios (30”) con rodillo de espuma sobre las extremidades inferiores y la espalda, que incluyen los cuádriceps, los isquiotibiales, la banda IT, las pantorrillas, el dorsal ancho y romboides





El uso de rodillos de espuma antes de un entrenamiento

NO MEJORA EL RENDIMIENTO DEPORTIVO

No obstante, el uso de *Foam Rolling* puede ofrecer una sensación de relajación que puede tener beneficios psicológicos para algunas personas

Effects of Self-Myofascial Release on Athletes' Physical Performance: A Systematic Review

Martínez-Aranda L.M., Sanz M, García-Mantilla E.D. & González-Fernández F.T.

Journal of Functional Morphology and Kinesiology,
9(1), 20, https://doi.org/10.3390/jfmk9010020. 2024.

MUESTRA: 17 artículos

7 de ellos muestran resultados positivos con programas de Liberación Miofascial vs. Fuerza Muscular

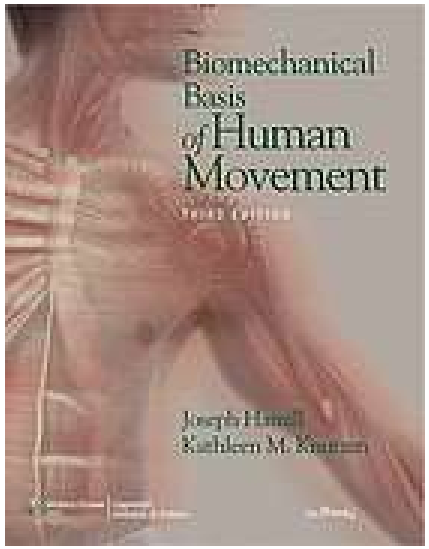
Todos ellos vinculados a acciones de:

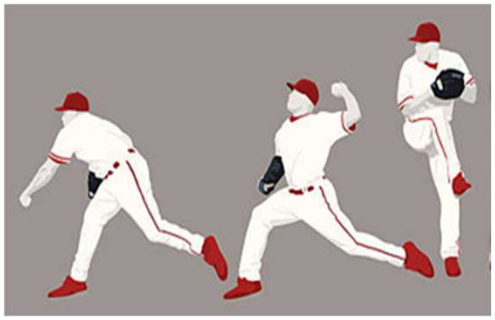
Salto (CMJ y Sargent) y 1 al RM de ejercicios del Miembro Superior (Bench Press)











*

Baja Activación

**

Moderada Activación

***

Elevada Activación

BIOMECHANICAL BASIS OF HUMAN MOVEMENT

Josheph Hamill, J. & Kathleen M. Knutzen

Editor Peter J. Darcy. Lippincott Williams & Wilkins. 2006

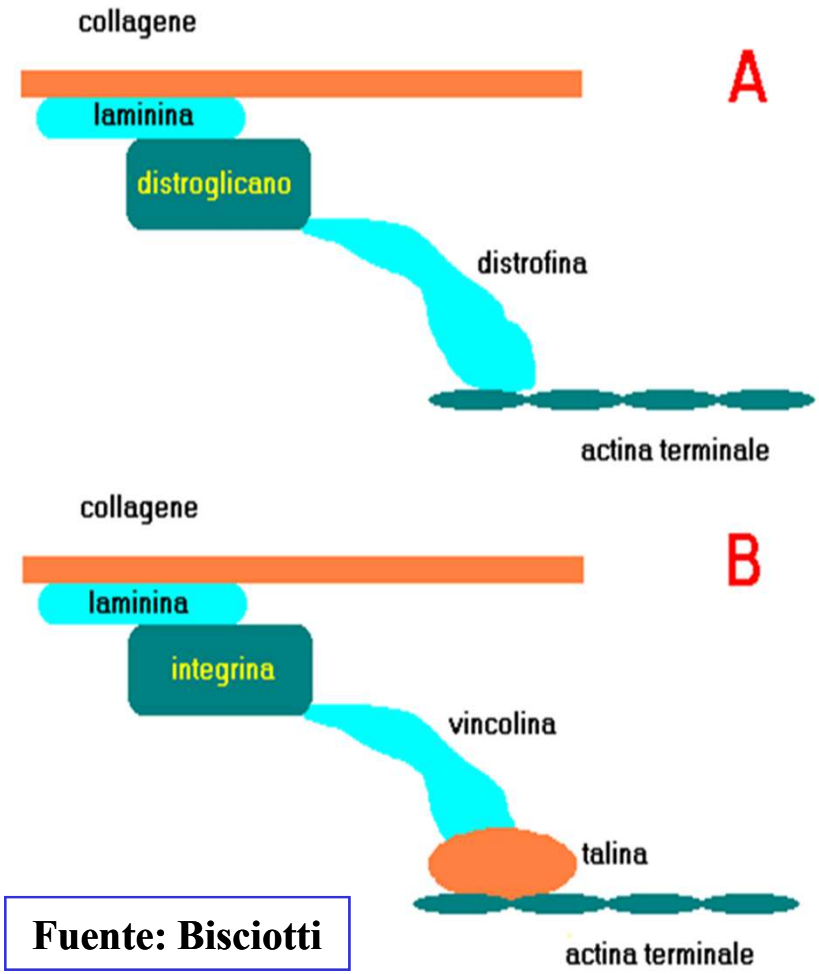
MÚSCULO	BLOQUEO	ACELERACIÓN	DESACELERACIÓN
Bíceps Braquial	**	*	***
Braquial	**	*	***
Deltoides	***	**	***
Infraespinoso	***	**	**
Latissimus Dorsi	**	***	*
Pectoral Mayor	**	***	-
Romboides	*	*	***
Serrato	**	***	-
Subescapular	***	**	-
Supraespinoso	***	**	***
Redondo Menor	***	**	**
Trapecios	*	*	***
Tríceps Braquial	*	***	-

TRANSMISIÓN DE LA TENSIÓN MUSCULAR DE LA MIOFIBRILLA AL TENDÓN

Es directa a través de la Unión Miotendinosa por acción de las:
Integrinas **y principalmente a través de 2 grupos proteicos especializados:**

A: Complejo **Distrofina-Glicoproteína**

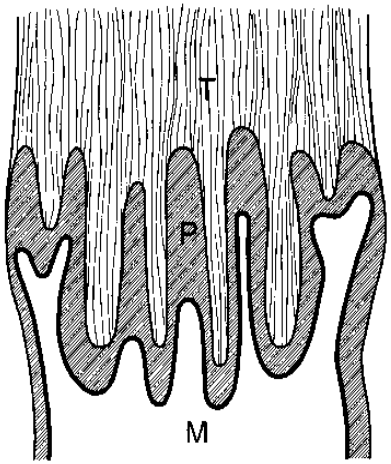
B: Complejo **Talina-Vinculina-Integrina**



Fuente: Bisciotti

UMT es la región a través de la cual se transmite la fuerza contráctil del músculo al tendón. La extremidad del tendón cerca de la región contráctil muestra extensiones en forma de dedos que penetran en el vientre del músculo y, a la inversa, el sarcolema forma pliegues para aumentar la superficie de interacción.

UMT



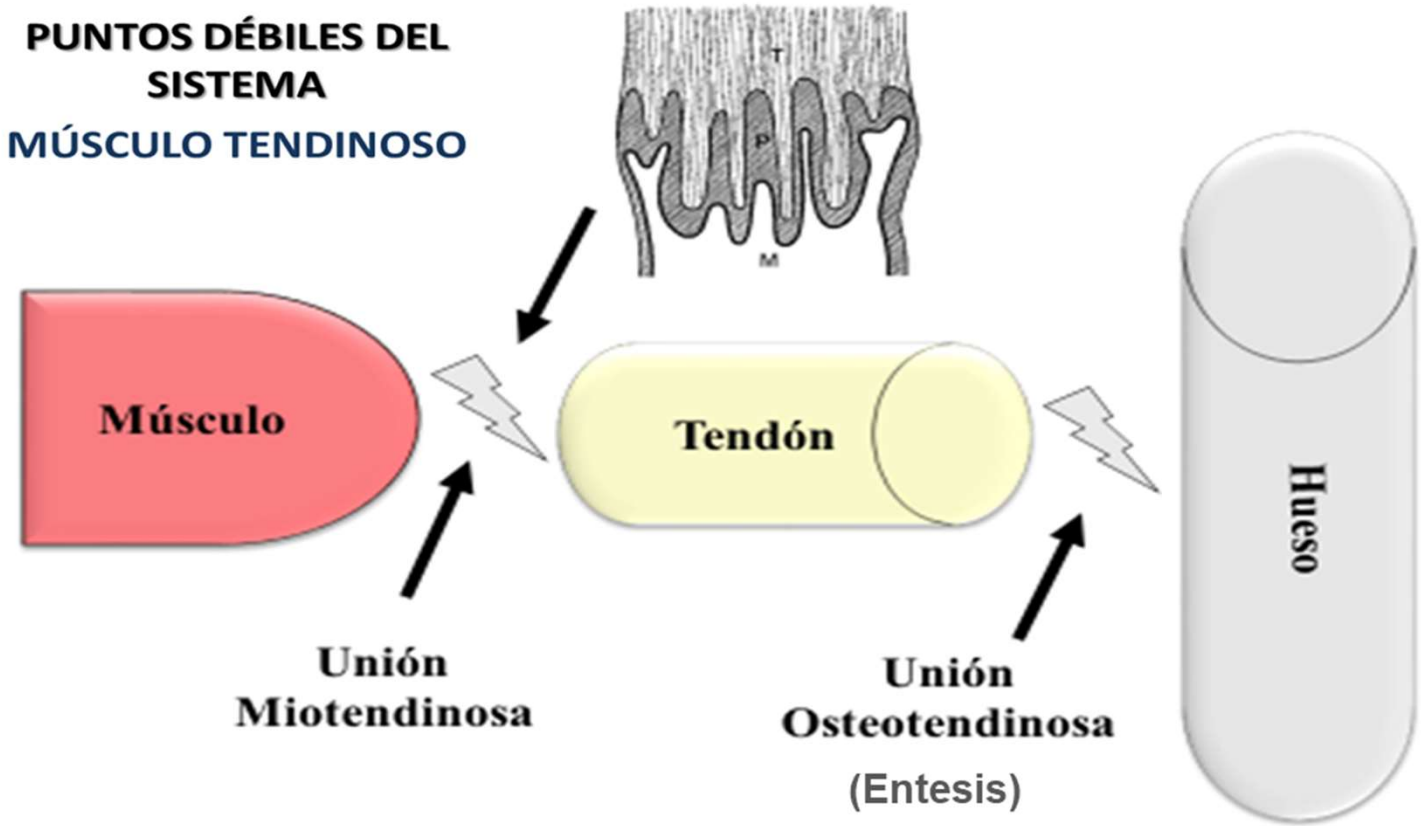
100 a 200 µm

La matriz extracelular del Tendón se une a las Actinas Sarcoméricas terminales a través de estructuras especializadas de enlace proteico:

- **Complejo Distrofina-Glicoproteína**
- **Sistema Vinculina-Talina-Integrina**

INSERCIONES DE TENDONES Y LIGAMENTOS AL HUESO

Uniones Osteotendinosas y Osteoligamentosas





Las Fibras de Colágeno del Tendón que se irradian al interior del Hueso fusionándose con las Fibras de Colágeno del Periostio y, a través de las Fibras de Sharpey, con planos más profundos de la Corteza Ósea

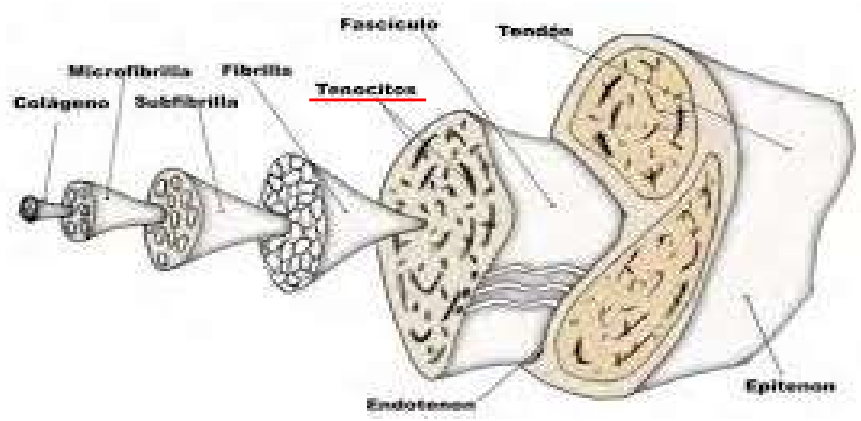
Universidad
British Columbia

Overuse tendinosis, not tendinitis
Part 1: a new paradigm for a difficult clinical problem
Khan K. M., Cook J. L., Taunton J. E. & Bonar F.
The Physician and Sports Medicine, 28(5), 38-48. 2000.



Estimulación de Mecanorreceptores Tendinosos
(Mecanorreceptores de Tipo III de Golgi)
Mecanismo clave para producir COLÁGENO
convirtiéndose en el factor fundamental para el
Crecimiento y la Remodelación del Tejido Elástico Muscular





Trabajo Excéntrico: principal mecanismo activador de la
SÍNTESIS DE COLÁGENO EN EL TENDÓN

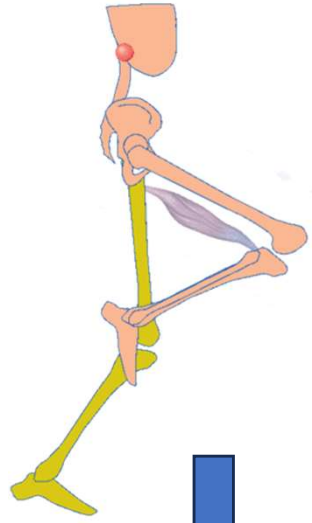
No debe ignorarse cualquier otra actividad (Isométrica o Concéntrica)
que también son capaces de estimular este tejido

Chronic adaptations to eccentric training: a systematic review

Simon Pearso, Angus Ross & Mike McGuigan

Sports Medicine, 47(5), 917-941. 2017.

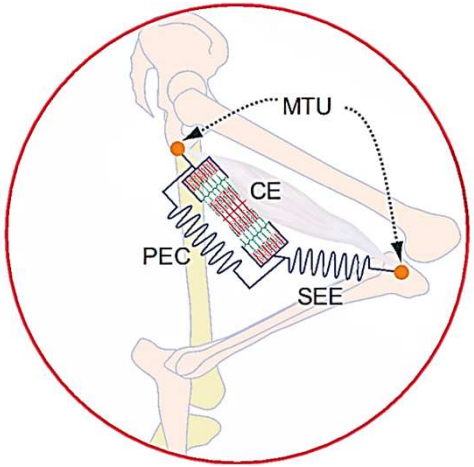




ENTRENAMIENTO EXCÉNTRICO

Estímulo potente y eficaz para mejorar Músculo & Tendones

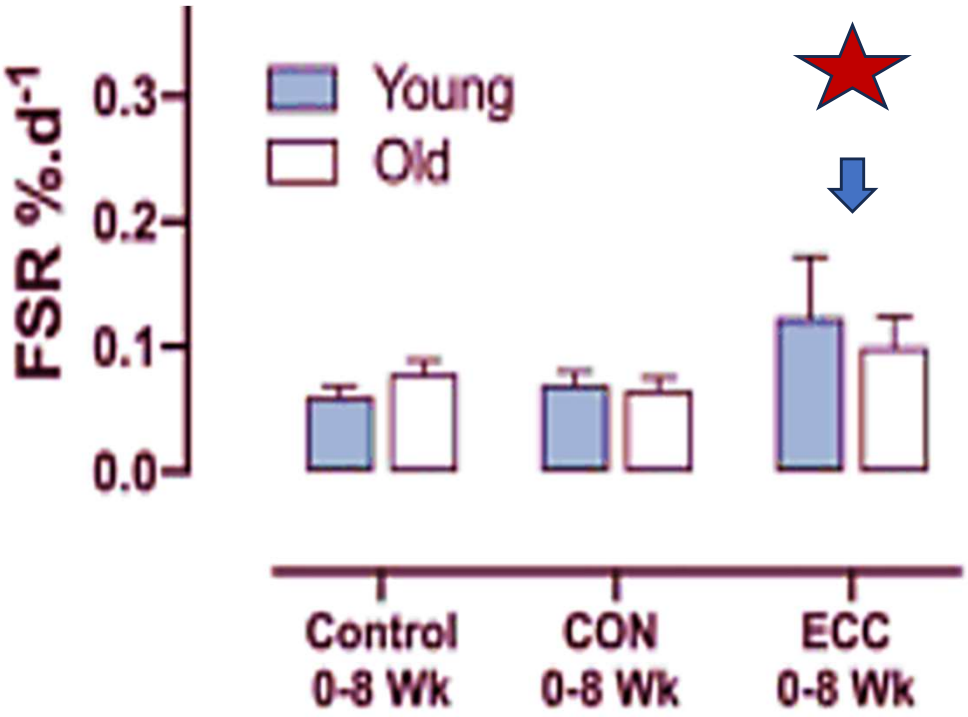
- **Rigidez (*stiffness*) de los Tendones**
- **Función Mecánica de los Tendones**
  - **Capacidad Elástica**
- **Adaptaciones Morfológicas & Arquitectónicas**
  - **Aumento Sección Transversal (*CSA*)**
  - **Fortalecimiento Unidad Miotendinosa (*UMIT*)**



Metabolic and molecular responses of human patellar tendon to concentric- and eccentric-type exercise in youth and older age

Crossland H, Brook MS, Quinlan JI, Franchi MV, Phillips BE, Wilkinson DJ, ... & Atherton PJ. GeroScience, 45(1), 331-344. 2023.

Tasa de Síntesis de Proteínas (FSR) en TENDÓN con Entrenamiento Excéntrico o Concéntrico de 4 y 8 semanas



MUESTRA

Jóvenes (N: 27): 23.5 ± 6.1 años

Mayore (N: 27): 68.5 ± 1.9

Aumentos en la S.P. del tendón después de 8 semanas de entrenamiento CON y ECC

A nivel transcripcional, el ECC en jóvenes provocó mayores respuestas de genes relacionados con el colágeno y la matriz extracelular, que en mayores. Los diferentes tipos de entrenamiento no parecen inducir respuestas diferentes de los tendones en términos de síntesis de proteínas, aunque los tendones de los adultos mayores mostraron diferentes respuestas transcripcionales a las de los individuos más jóvenes

Los cambios en el recambio de proteínas con el entrenamiento fueron similares para ambos grupos de edad

Patellar tendon adaptation in relation to load-intensity and contraction type

Malliaras P, Kamal B, Nowell A, Farley T, Dhamu H, Simpson V, Morrissey D, Langberg H, Maffulli N. & Reeves, N.D. Journal of Biomechanics, 46, 1893–1899. 2013.

- **Rigidez y Módulo del Tendón Rotuliano aumentaron en todos los grupos de entrenamiento (*CC* & *ECC*), pero especialmente en *CC* cuando se trabajo con intensidades del 50-75% - 1RM.**
- **Con intensidades del 75-100% 1RM, sólo el Trabajo Excéntrico mostró un aumento en la respuesta adaptativa.**



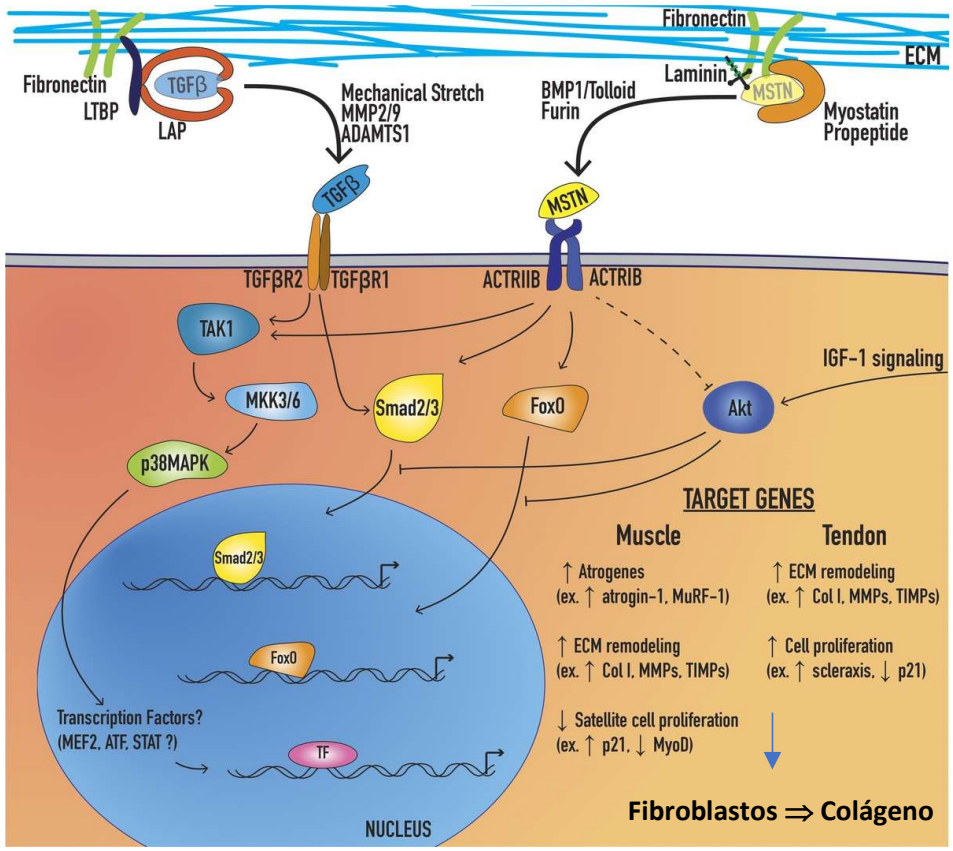
	Concentric			Eccentric standard			Eccentric high		
	Pre	Post	% change	Pre	Post	% change	Pre	Post	% change
Stiffness (Nm) 50–75%	1328.9 (548.5)	2160 (686)	80.7 (82.3)	1501.9 (598.3)	2155.9 (713)	59.4 (80.5)	1152.9 (303.2)	2138.1 (882.1)	87.3 (67.7)
Stiffness (Nm) 75–100%	1560 (792.6)	2338 (637.8)	70.6 (81.8)	1822.1 (898.3)	2536.5 (849.8)	59.4 (79.7)	1386.9 (360.2)	2508.3 (1066.4)	84.3 (72)
Modulus (MPa) 50–75%	520.1 (163.7)	867.2 (279.1)	80.8 (82.3)	608 (274.5)	870.7 (287.2)	59.4 (80.5)	474.4 (165.6)	853 (318.6)	87.3 (67.7)
Modulus (MPa) 75–100%	619.9 (223.4)	942.4 (278.8)	70.6 (81.8)	737.4 (390.2)	1021.8 (338.6)	59.4 (79.7)	570.4 (191.2)	1011.2 (435.8)	84.2 (72)

TGF-β superfamily signaling in muscle and tendon adaptation to resistance exercise

Gumucio, J. P., Sugg, K. B. & Mendias, C. L.

Exercise and Sport Sciences Reviews, 43(2), 93-99. 2015.

El **Factor de Crecimiento Transformante β** (**TGF-β**) parece desempeñar un papel clave en la respuesta del músculo y el tendón a los estímulos mecánico
(≈ 30 miembros identificadas en humanos)
TGF-β1 & Miostatina actúan de manera coordinada para regular el crecimiento sinérgico y la adaptación del músculo (MEC) y el tendón al entrenamiento de fuerza



- **TRABAJO EXCÉNTRICO ⇒ proliferación de FIBROBLASTOS que sintetiza COLÁGENO.**
- La activación de **TGF-β1 & Miostatina** parece ser un factor clave en la reorganización y readaptación de la M.E.C. y los Tendones
- Se unen a sus receptores y promueven la degradación de proteínas en las fibras musculares alteradas por inducción de **Ubiquitina E3**, **Atrogina-1** y **MuRF-1**.
- También estimulan la proliferación de **MIOBLASTOS**, **FIBROBLASTOS** aumentando la **Síntesis de Colágeno Tipo I** y la **remodelación de M.E.C.** y **Tendones**.

FUERZA MUSCULAR *VS.* TEJIDO ADIPOSO



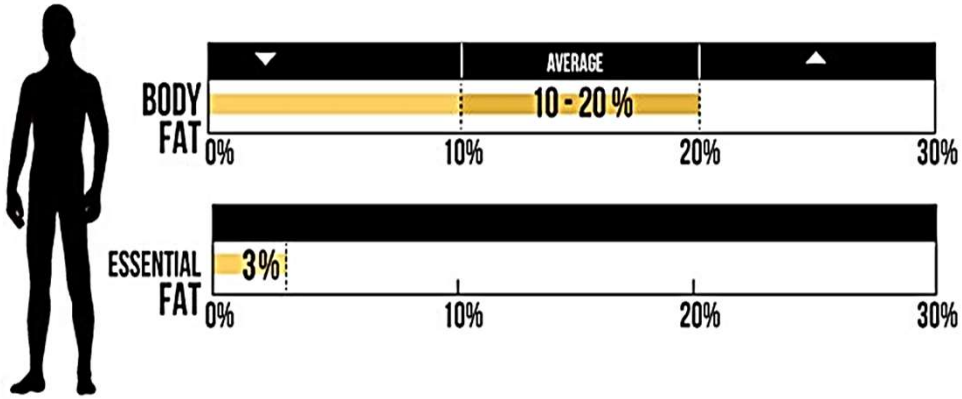


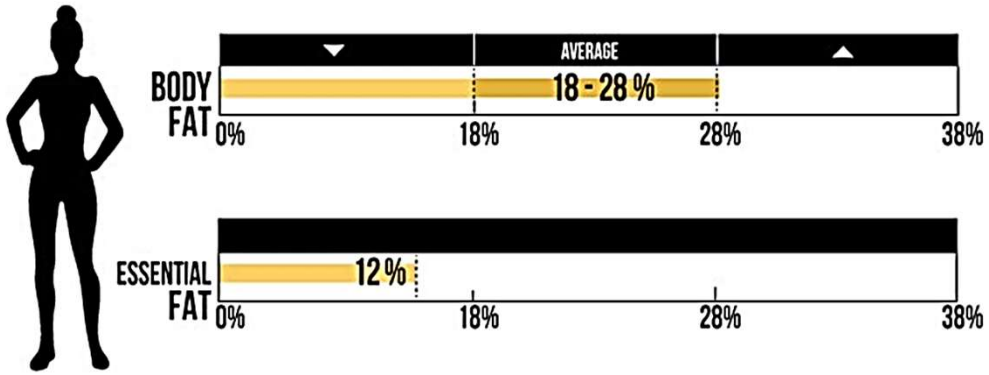


LA GRASA ES UN TEJIDO ESENCIAL PARA LOS SERES VIVOS

TEJIDO ADIPOSO ⇒ influye en Gasto Energético, Equilibrio Térmico e Inmunidad

En consecuencia, pasa de ser un simple elemento más,
a convertirse en un órgano con importantes funciones para la vida





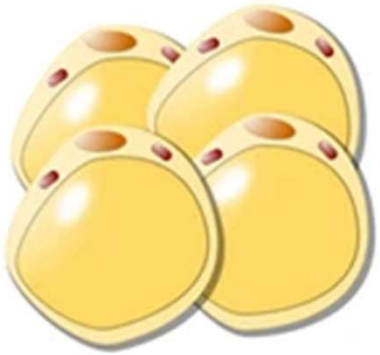
PORCENTAJE GRASO EN SUJETOS SANOS Y DEPORTISTAS



Componente Graso (♀)		Componente Graso (♂)	
6-12%	Culturistas de competición Alto nivel de Anorexia Generalmente insostenible	3-5%	Culturistas de competición Alto nivel de Anorexia Generalmente insostenible
13-15%	Deportistas (Fondistas) Sedentarias muy delgadas No siempre recomendable	6-9%	Deportistas (Fondistas) Sedentarios muy delgados No siempre recomendable
16-19%	Deportistas Sedentarias delgadas Bastante sostenible	10-15%	Deportistas Sedentarios delgados Bastante sostenible
20-25%	Deportista medio Sujetos normales delgados Muy sostenible	15-20%	Deportista medio Sujetos normales delgados Muy sostenible
25-35%	Algunas deportistas Sobrepeso moderado	20-30%	Algunos deportistas Sobrepeso moderado
>35%	Algunas Luchadoras Sobrepeso u Obesidad	>30%	Algunos Luchadores + Sumo Sobrepeso Obesidad

- % muy bajos de grasa pueden afectar negativamente a la salud del deportista.
- Deficiencias en nutrientes y desequilibrio líquido/electrolítico pueden provocar alteraciones de sistemas cardiovascular, endocrino, reproductivo, esquelético, gastrointestinal, renal, SNC, inmunológico e, incluso, provocar la muerte.

PORCENTAJE GRASO EN DEPORTES DE FUERZA







DEPORTE	HOMBRES	MUJERES
CULTURISMO	5-8 %	10-15 %
HALTERÓFILOS	9-16 % (20%)	12-18 % (22 %)
GIMNASTAS	5-12 %	10-15 %
LANZADORES PESO	16-20 %	20-28 %
REMEROS	8-14 %	12-18 %

Correlations of anthropometric and body composition variables with the performance of young elite weightlifters

Marefat Siahkouhian & Meysam Hedayatneja

Journal of Human Kinetics, 25(1), 125-131. 2010.

Variables	Snatch	Clean & Jerk	Front squat	Back squat
Body fat	-0.244	-0.235	-0.180	-0.183

BODY FAT (%): 20.39 % ± 12.02 %



Results of anthropometrical examinations carried out during the 1986 European Weightlifting Championships

Herm KP, Schulze P, Kaempfe U & Lathan HH.

World Weightlifting, IWF Scientific Congress. 46-48. 1987.

Categoría de Peso Corporal	% Graso (Media y DT)
52,0 kg	8,7 ± 5,0 %
56,0 kg	9,0 ± 2,0 %
60,0 kg	8,5 ± 1,2 %
67,5 kg	9,3 ± 0,6 %
75,0 kg	11,1 ± 1,6 %
82,5 kg	11,6 ± 2,4 %
90,0 kg	12,1 ± 1,8 %
100,0 kg	14,8 ± 1,8 %
110,0 kg	15,0 ± 2,7 %
+110 kg	18,4 ± 2,5 %

% GRASO
6-12%



% GRASO
10-20%



% Graso (F)
+5-10%

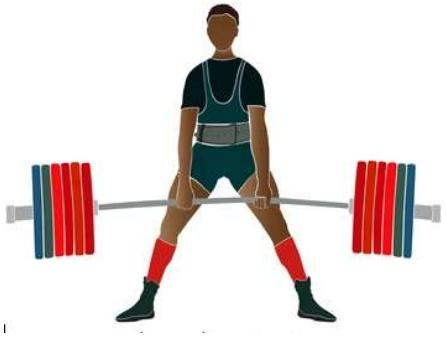


UQÀM
Université du Québec
Montréal

Body Composition and Maximal Strength of Powerlifters: A descriptive quantitative and longitudinal study

Ferland P. M., Charron, J., Brisebois-Boies, M., Miron, F. S. J., & Comtois, A. S.
International Journal of Exercise Science, 16(4), 828–845. 2023.

	All (n = 34)	Men (n = 21)	Women (n = 13)
Squat (kg)	182.4 ± 57.6	216.9 ± 42.7	126.6 ± 25.0
Bench Press (kg)	114.0 ± 41.9	141.3 ± 26.0	70.0 ± 17.0
Deadlift (kg)	206.8 ± 59.7	244.9 ± 38.8	145.2 ± 25.6
Total (kg)	503.2 ± 156.0	603.1 ± 101.2	341.8 ± 64.4
BF (kg)	20.7 ± 13.2	19.7 ± 10.8	22.4 ± 16.8
BF%	22.9 ± 10.2	20.4 ± 8.5	27.0 ± 11.7



	Squat (kg)	Bench (kg)	Deadlift (kg)	Total (kg)
BF (kg)	.22	.11	.07	.14
BF (%)	-.02	-.13	-.18	-.11

Body Composition of Competitive Bodybuilders:
A Systematic Review of Published Data and Recommendations for Future Work

Bauer, P, Majisik, A, Mitter, B, Csapo, R, Tschan, H, Hume, P, Martínez-Rodríguez, A. & Makivic, B.

Journal Strength and Conditioning Research, 37(3), 726-732, 2023

FASE DE PREPARACIÓN

- 15,3% a 25,2% (mujeres)
- 9,6% a 16,3% (hombres)

FASE DE COMPETICIÓN

- 8,1% a 18,3% (mujeres)
- 5,8% a 10,7% (hombres)

Se observan reducciones significativas de entre el 30 y el 60% en la grasa corporal relativa, mientras que la masa magra se mantuvo casi intacta



Universität
Wien

Body Composition of Competitive Bodybuilders:
A Systematic Review of Published Data and Recommendations for Future Work

Bauer P, Majisik A, Mitter B, Csapo R, Tschan H, Hume P, Martínez-Rodríguez A & Makivic B.
Journal of Strength and Conditioning Research 37(3), 726-732. 2023.

Systematic Reviews and Meta-Analysis

(2000-2021)



FASE DE PREPARACIÓN GENERAL (VOLUMEN):

Porcentaje de Grasa de Mujeres: 15,3 a 25,2%

Porcentaje de Grasa de Hombres: 9,6 a 16,3%

FASE PRE-COMPETICIÓN (DEFINICIÓN):

Porcentaje de Grasa de Mujeres: 8,1 a 18,3%

Porcentaje de Grasa de Hombres: 5,8 a 10,7%



Body composition changes in female bodybuilders during preparation for competition

Van der Ploeg, G. E., Brooks, A. G., Withers, R. T., Dollman, J., Leaney, F., & Chatterton, B. E.

European Journal of Clinical Nutrition

55(4), 268-277. 2001.

Flinders UNIVERSITY

MUESTRA

5 culturistas ♀ (GC):

35,3±5,7 años; 167,3±3,7 cm; 66,38±6,30 kg; BF: 18,3±3,5%

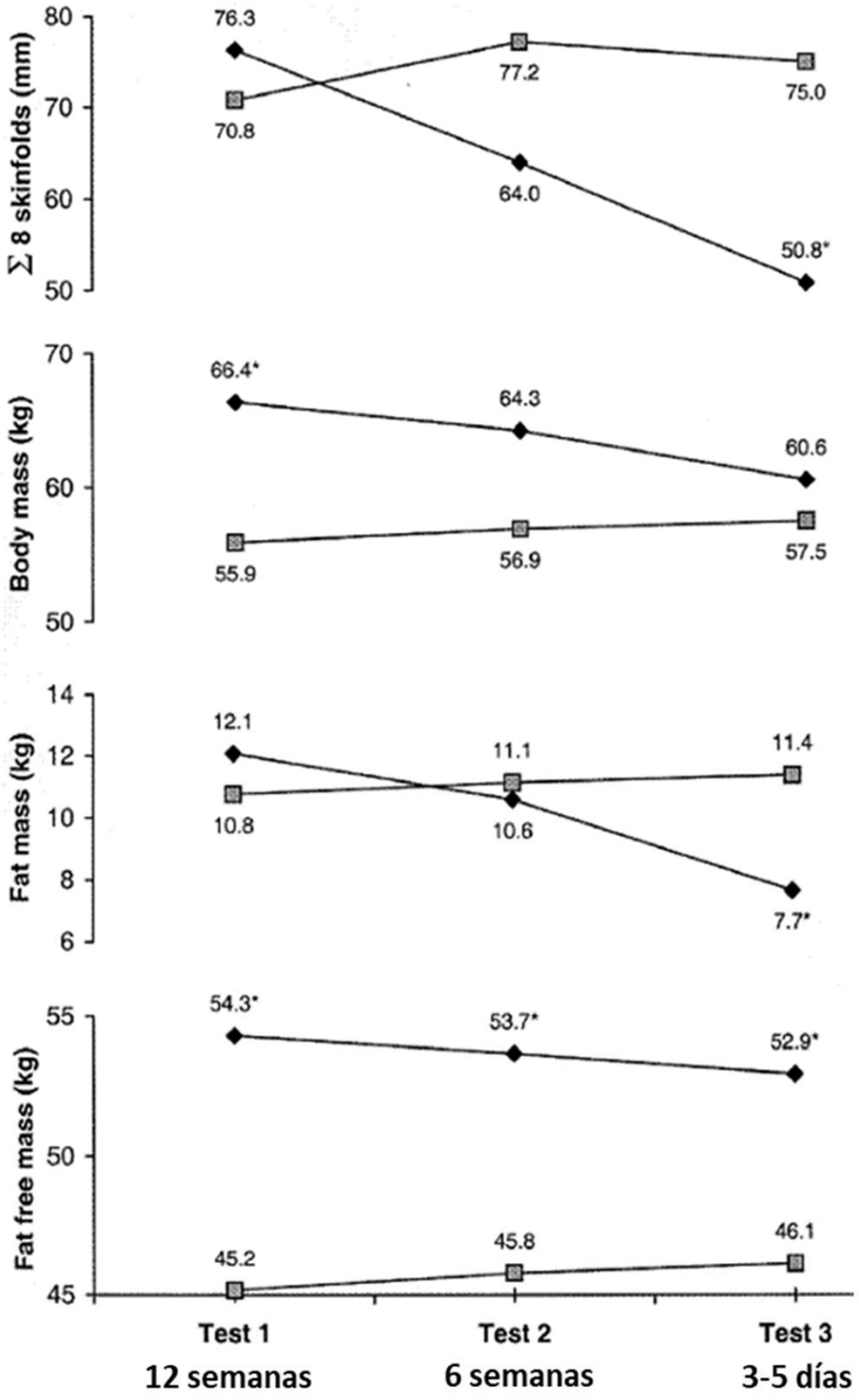
5 Atletas ♀ (GE)

30,9±13,0 años; 166,9±3,9 cm; 55,94±3,59 kg; BF: 19,1±3,3%

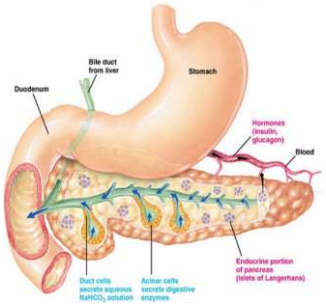


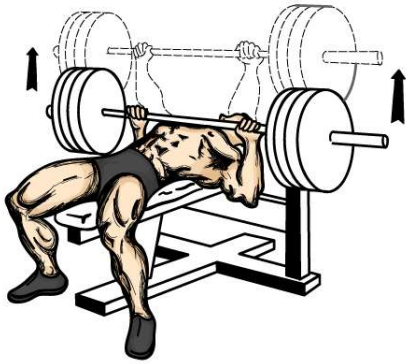
Triceps	11.6± 3.8	9.7±3.2	7.6±2.8*
Subscapular	8.4± 1.5	7.3±1.1*	6.1±1.3†
Biceps	4.3± 0.4	4.0±0.4	3.3±0.4*
Iliac crest	6.1± 1.4	4.9±0.6*	4.0±0.8†
Supraspinale	6.1± 1.8	4.9±1.2	3.8±0.7*
Abdominal	8.2± 2.7	6.1±1.5	4.8±0.8*
Front thigh	19.8± 5.1	16.9±3.9*	13.3±3.2†
Medial calf	12.0± 3.4	10.2±2.4*	8.0±2.0†
Sum of all eight skinfolds	76.3± 8.3	64.0±5.9*	50.8±6.5†

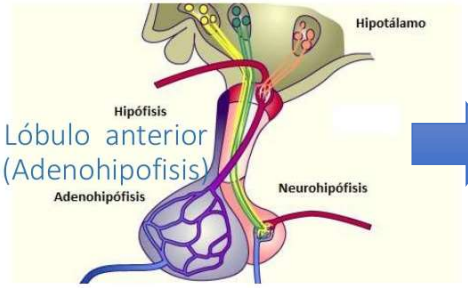
Aunque los culturistas presentaron inicialmente un % BF bajo, redujeron significativamente su PC durante las 12 semanas de preparación para la competencia y la mayor parte de esta pérdida se debió a una reducción en la FM.

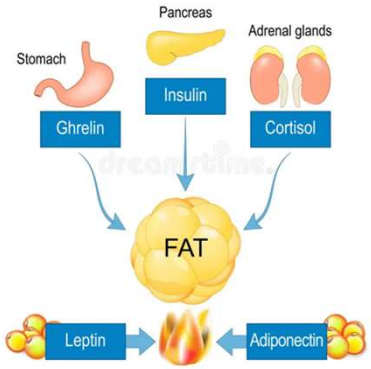


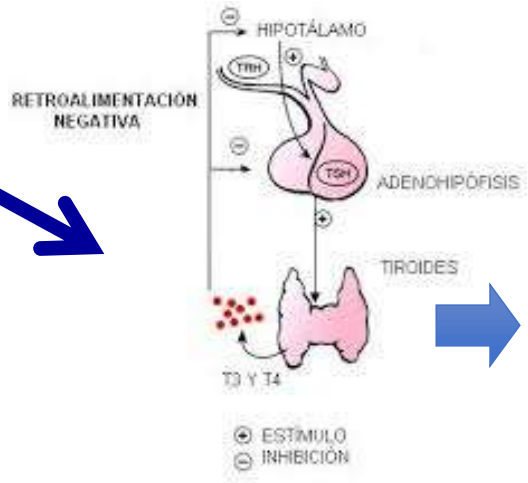
ENTORNO HORMONAL & COMPONENTE GRASO vs. ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA











INSULINA:

REPOSO: En condiciones normales, exceso de insulina provoca el almacenamiento de grasa mientras que su déficit aumenta la descomposición de las grasas y la lipolisis.

EJERCICIO: su aumento favorece la entrada de nutrientes al interior de la célula y aumenta la lipolisis.

HORMONA DE CRECIMIENTO (GH):

REPOSO: Tiene una conocida acción lipolítica, especialmente del tejido adiposo visceral, además de aumentar el gasto de energía y de la masa magra.

EJERCICIO: su aumento favorece la utilización de Grasas y la Hipertrofia Muscular (SPM ⇒ IGF1)

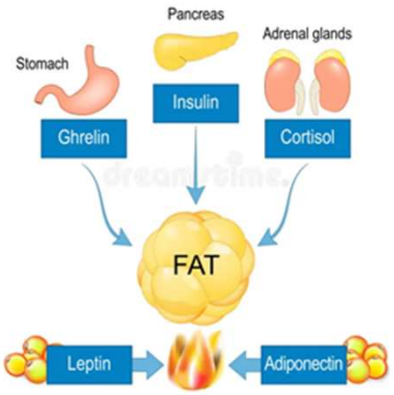
TSH, T4, T3 (LIBRE y TOTAL):

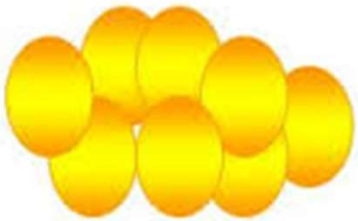
REPOSO: Estimulan la lipólisis y restringen la lipogénesis.

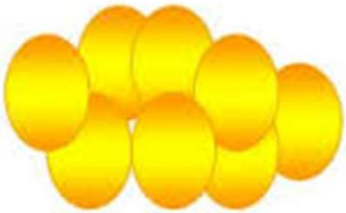
EJERCICIO: su aumento favorece la utilización de Grasas como sustrato energético

ENTORNO HORMONAL &
COMPONENTE GRASO
vs.
ENTRENAMIENTO DE
LA FUERZA

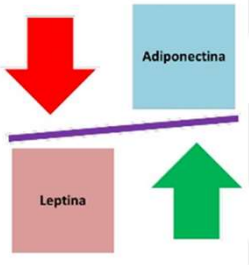








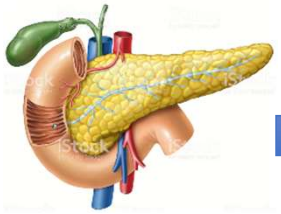
LEPTINA
(Suprime el Apetito)
Lipostato



IMC
% Graso

ADIPONECTINA
(Aumenta Lipolisis)





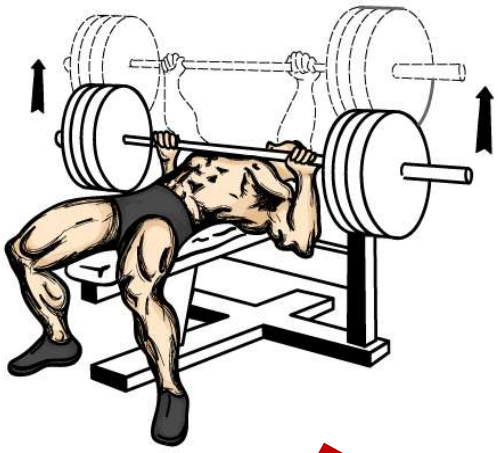
GRELINA ⇒ Δ GH
(Aumenta Apetito)
Regula Metabolismo

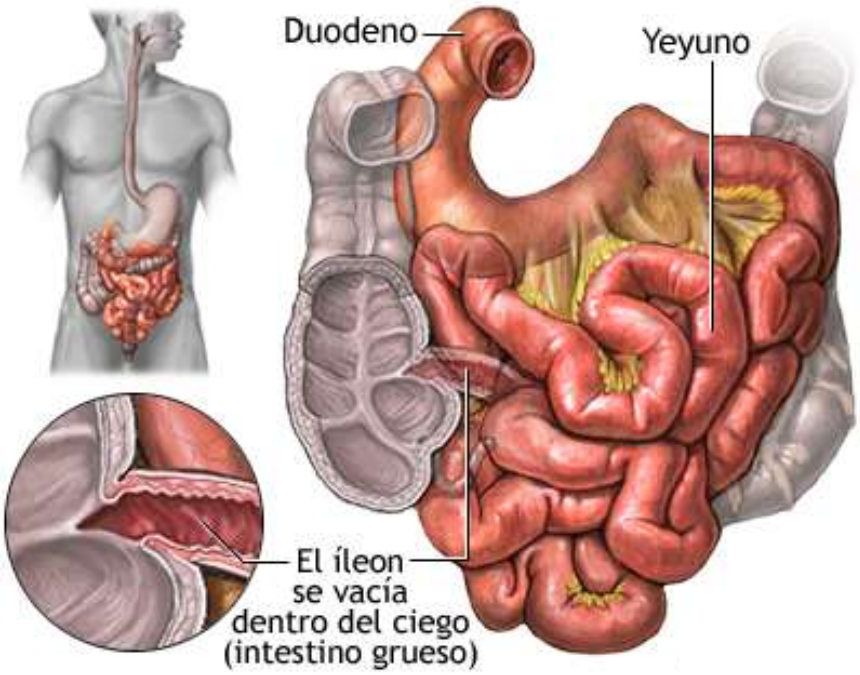




IRISINA
Transforma
Grasa Blanca en Grasa Parda

ENTORNO HORMONAL & COMPONENTE GRASO *vs.* ENTRENAMIENTO DE FUERZA





Pancreozimina
(Colecistoquinina)
CKK o CKK-PZ
(Aumenta el Apetito)





Péptido YY
PYY
(Aumenta el Apetito)

Effects of three different modes of resistance training on appetite hormones in males with obesity

Ataeinosrat A, Haghighi MM, Abednatanzi H, Soltani M, Ghanbari-Niaki A, Nouri-Habash A... & Zouhal H.

Frontiers in Physiology, 13, 827335. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.827335. 2022.

Islamic Azad University

MUESTRA

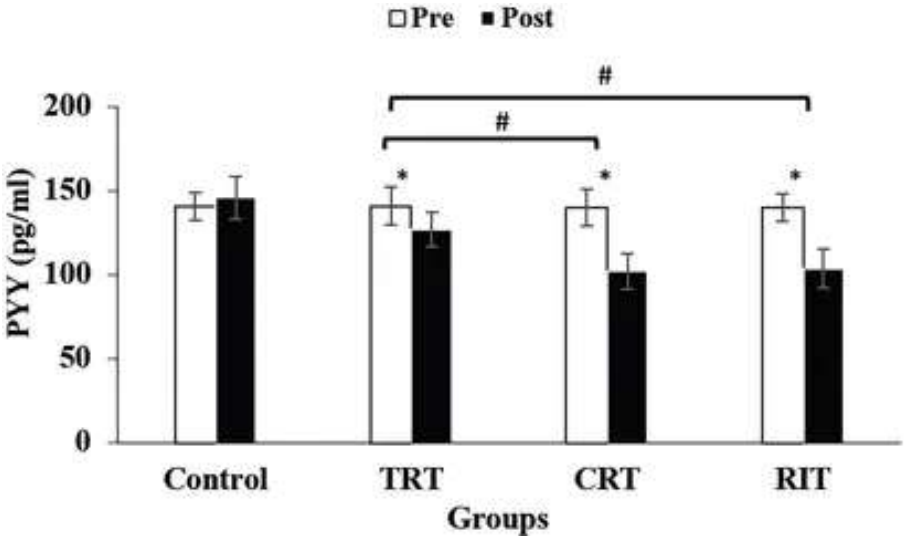
44 Varones Obesos

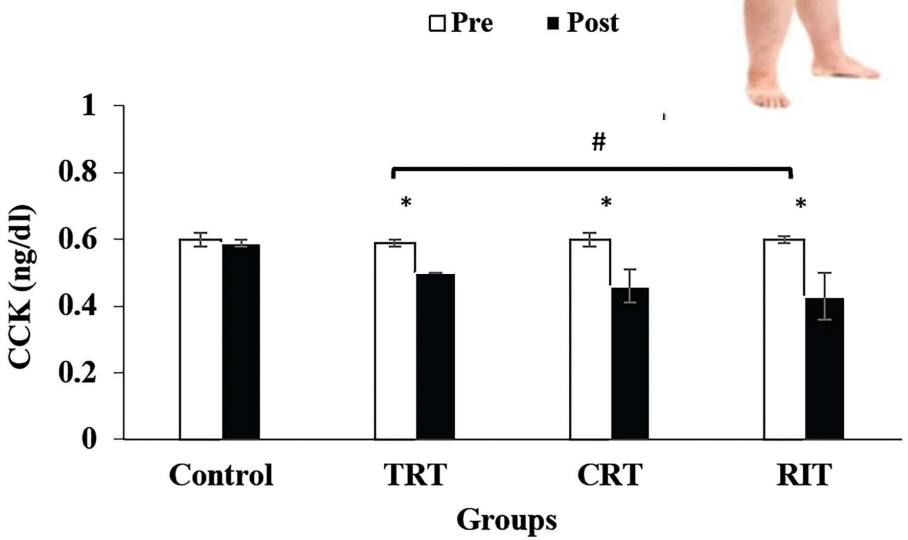
(Edad: 27,5 ± 9,4 años; PC: 93,2 ± 2,2 kg, IMC: 32,9 ± 1,2 kg/m^2)



Entrenamiento de la Fuerza

Disminuye Niveles de PYY & CCK & Aumenta el Apetito

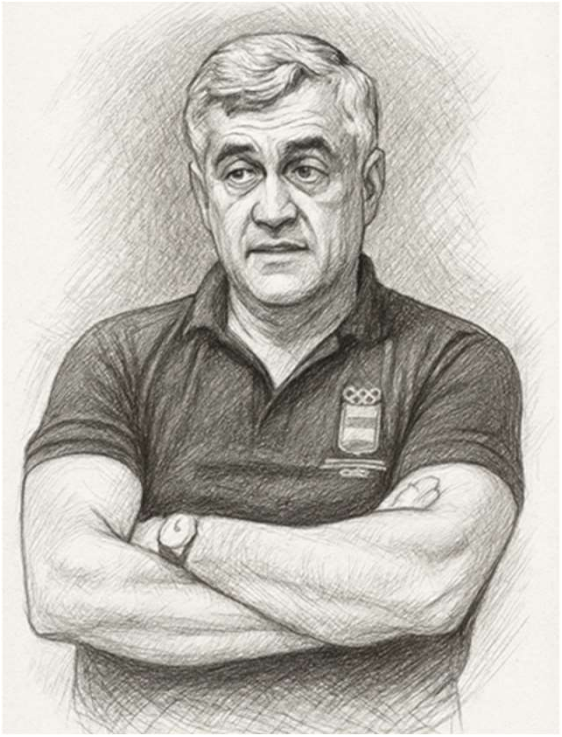




TRT: Entrenamiento de Fuerza Tradicional (n = 11),
CRT: Entrenamiento de Fuerza en Circuito (n = 11),
IRT: Entrenamiento de Fuerza por Intervalos (IRT, n = 11)

Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo

Dr. Juan Manuel García Manso



ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA & ESTRUCTURAS ÓSEAS

“POR UNA VIDA Y UN ENVEJECIMIENTO SALUDABLE Y LA RELENTIZACIÓN DE NUESTRO RELOJ BIOLÓGICO”

PENNINGTON BIOMEDICAL RESEARCH CENTER LSU

The physical activity transition

Peter T. Katzmarzyk & Caitlin Mason

Journal of Physical Activity and Health, 6(3), 269-280. 2009.



Revolución Social, Cultural, Económica, Geopolítica, Científica, Tecnológica & Laboral del Siglo XXI







- Industria Tecnológica
- IA, IoT, Realidad Virtual
- Transporte Puerta a Puerta
- Crecimiento Económico

- Urbanización Creciente
- Aumento de Seguridad
- Entorno Domesticado
- Sedentarismo Creciente

CAMBIO EN EL ESTILO DE VIDA

ESTILO DE VIDA TRADICIONAL

- Predominio del Trabajo Manual
- Transporte Habitual Caminando
- Poco Tiempo Libre
- Baja y Limitada Oferta Lúdica

ESTILO DE VIDA ACTUAL

- Predominio de Trabajos & Actividades Sedentarias
- Transporte Motorizado
- Más Tiempo Libre & Ocio Pasivo
- Elevada y Amplia Oferta Lúdica

INCREMENTO DEL TIEMPO LIBRE & HÁBITOS DE VIDA SEDENTARIA

PREDOMINIO DE ACTIVIDADES FÍSICAS DE BAJA INTENSIDAD



GLOBAL MATRIX 2.0:

Report card grades on the physical activity of children and youth comparing 38 countries

Tremblay MS, Barnes JD, González SA, Katzmarzyk PT, Onywera VO, Reilly JJ. & Tomkinson GR.

Journal of Physical Activity and Health, 13 (Suppl 2), S343 -S366. 2016.

LA FALTA DE ACTIVIDAD FÍSICA ES UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA MUNDIAL

La mayoría de los niños y adolescentes de todo el mundo no realizan, al menos,

60'/día de Actividad Física de Moderada a Vigorosa Intensidad

CHEO FOUNDATION FONDATION

Children's Hospital of Eastern Ontario



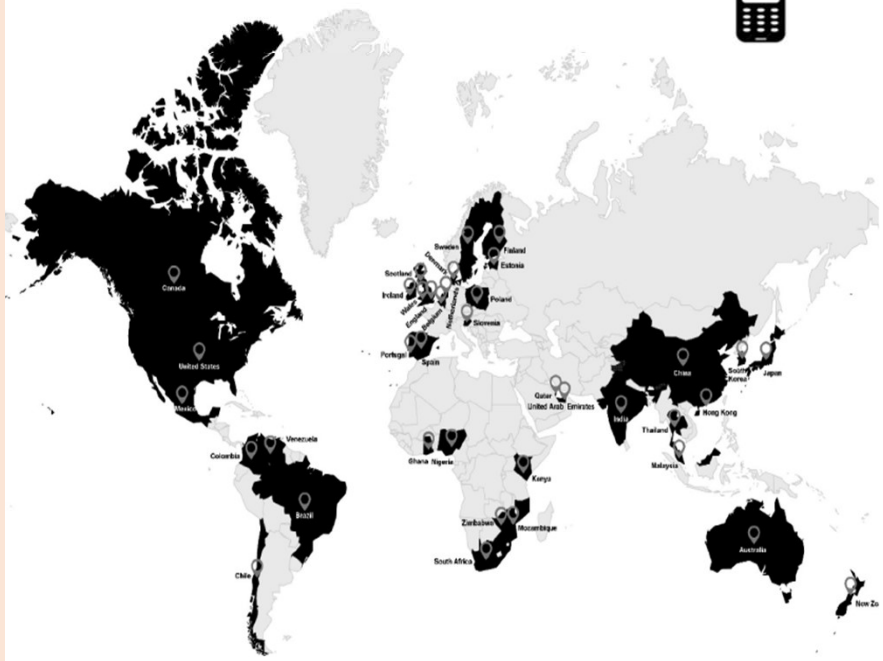




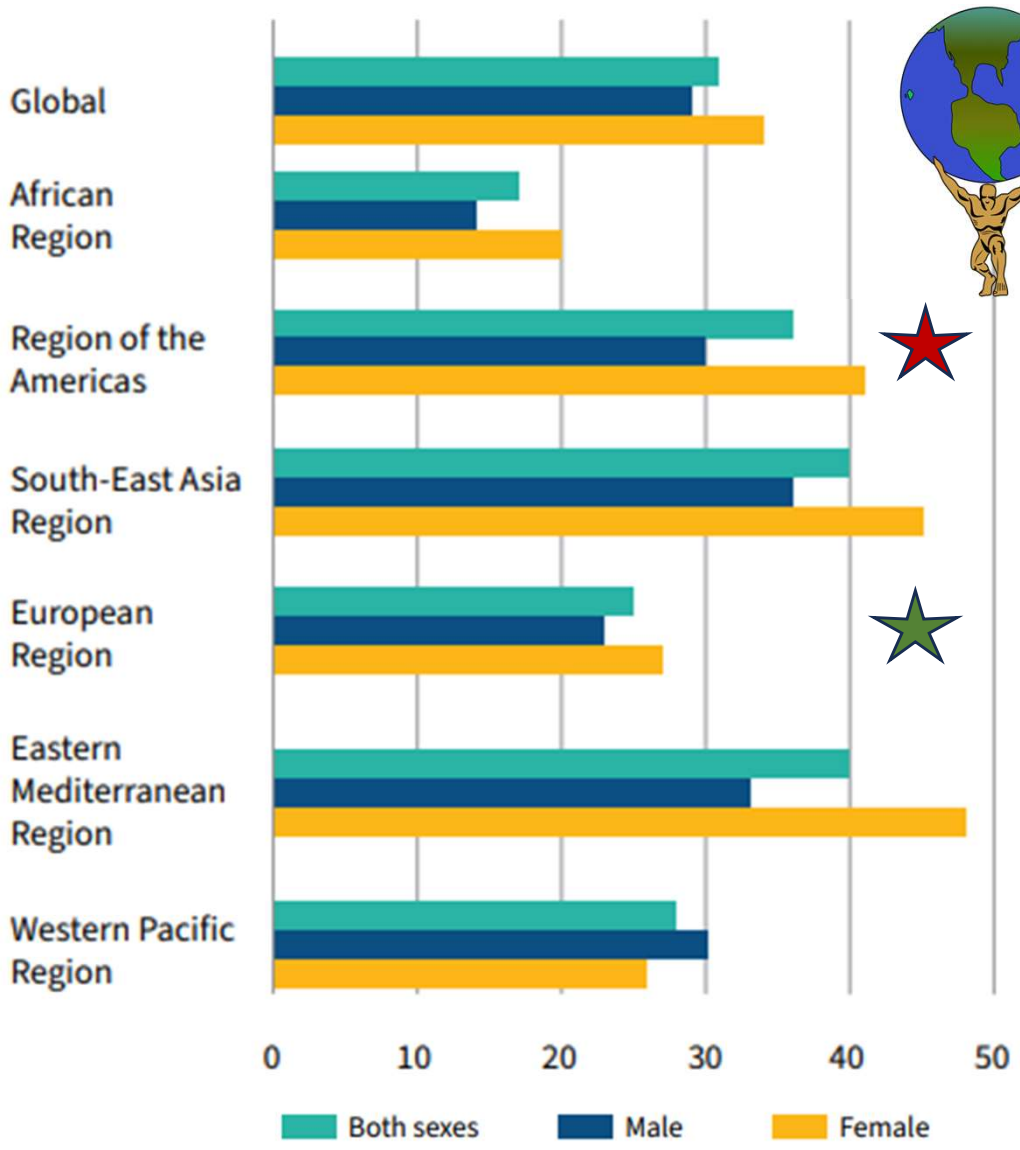
Tendencia en niveles de **APTITUD MUSCULAR** de los jóvenes (1/4 Población Mundial) muestra una **TENDENCIA DECRECIENTE,** en numerosos países, respecto a generaciones previas de misma edad.

Demasiados patios de recreo y campos deportivos están vacíos o inactivos muchas horas al día, y la E.F. se considera una parte prescindible del plan de estudios

"Es probable que los jóvenes contemporáneos estén más familiarizados con el control de un joystick que con el lanzamiento de una pelota"



PREVALENCIA DE SEDENTARISMO (%)
(2022)
Regiones & Sexo (OMS)



A NIVEL MUNDIAL:

≈ 31% Población Adulta

(≈1.800 millones)

Mujeres: 34% - Hombres: 29%

NO CUMPLÍAN,

NIVELES DE ACTIVIDAD FÍSICA

Recomendados por OMS

The WHO Global Action Plan on Physical Activity 2018–2030

32 Países: ≥ 40% de los adultos

No cumplen las directrices de la OMS

10 Países: ≥ 50%

(Corea Sur, Japón, Singapur, Afganistán, Bangladesh, Bután, India, Nepal, Pakistán y Sri Lanka)

INCREMENTO DEL RIESGO DE PADECER:

ENFERMEDADES NO TRANSMISIBLES & ENFERMEDADES MENTALES



RECOMENDACIONES DE ACTIVIDAD FÍSICA

(WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behavior)



Oganización Mundial de la Salud



POBRES E INSUFICIENTES



WHO GUIDELINES ON PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOUR 2020

(Niños & Adolescentes de 5-17 años)

La Actividad Física puede realizarse como parte de la recreación y el ocio (juegos, deportes o ejercicios planificados), la Educación Física, el transporte (en silla de ruedas, a pie o en bicicleta) o las tareas domésticas, en el contexto de entornos educativos, domésticos y comunitarios



Oganización Mundial de la Salud



RECOMENDACIONES

- **Los niños y adolescentes realicen al menos un promedio de 60’/día de Actividad Física de intensidad moderada a vigorosa, principalmente aeróbica, durante la semana.**

  Recomendación fuerte, evidencia de certeza moderada

- **Se deben incorporar actividades aeróbicas de intensidad vigorosa, así como aquellas que fortalezcan los músculos y los huesos, al menos 3 días/semana**.

  Recomendación fuerte, evidencia de certeza moderada

WHO GUIDELINES ON PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOUR 2020

(Niños & Adolescentes de 5-17 años)



Oganización Mundial de la Salud



- **Existe evidencia de certeza moderada de que una mayor cantidad de AF de intensidad moderada e intensa se asocia con:**
  - **Mejor aptitud cardiorrespiratoria y muscular, salud cardiometabólica y salud ósea en niños y adolescentes.**
- **Existe evidencia de certeza moderada de que la AF de intensidad moderada a intensa, tanto a corto como a largo plazo, tiene efectos positivos en:**
  - **La función cognitiva, los resultados académicos y la salud mental.**
- **Existe evidencia de certeza baja de que la AF se asocia favorablemente con:**
  - **Control del peso corporal saludable en niños y adolescentes.**
- **Existe evidencia de certeza baja de que los riesgos de las cantidades y los tipos de actividad física recomendados para niños y adolescentes son bajos y se ven superados por los beneficios.**

WHO GUIDELINES ON PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOUR 2020

(Adultos de 18-65 años)



Oganización Mundial de la Salud



En el caso de los adultos, la actividad física puede realizarse como parte de la recreación y ocio (juegos, deportes o ejercicios planificados), el transporte (en silla de ruedas, a pie o en bicicleta), el trabajo o tareas domésticas, en el contexto de entornos laborales, educativos, domésticos y comunitarios diarios.

En los adultos, la actividad física aporta beneficios para los siguientes resultados de salud: mejora de la mortalidad por todas las causas, la mortalidad por enfermedades cardiovasculares, la incidencia de hipertensión, la incidencia de cánceres en sitios específicos, una incidencia de diabetes tipo 2, salud mental (reducción de los síntomas de ansiedad y depresión), salud cognitiva y sueño; también pueden mejorar las mediciones de adiposidad.

WHO GUIDELINES ON PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOUR 2020

(Adultos de 18-65 años)



Organización Mundial de la Salud



- **Todos los adultos deben realizar actividad física de forma regular.**

  Recomendación fuerte, evidencia de certeza moderada

- **Se debe realizar al menos 150'-300' de actividad física aeróbica de intensidad moderada; o al menos 75'-150' de actividad física aeróbica de intensidad vigorosa; o una combinación equivalente de actividad de intensidad moderada y vigorosa durante la semana, para obtener beneficios sustanciales para la salud.**

  Recomendación fuerte, evidencia de certeza moderada

- **También se debe realizar actividades de fortalecimiento muscular de intensidad moderada, o mayor, que involucren a todos los grupos musculares principales durante 2 o más días/semana, ya que brindan beneficios adicionales para la salud**.

  Recomendación fuerte, evidencia de certeza moderada

- **Pueden aumentar la actividad física aeróbica de intensidad moderada a >300'; o hacer más de 150' minutos de actividad aeróbica de intensidad vigorosa; o una combinación equivalente de actividad de intensidad moderada y vigorosa durante la semana para obtener beneficios adicionales para la salud.**

  Recomendación condicional, evidencia de certeza moderada

WHO GUIDELINES ON PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOUR 2020

(Adultos de 18-65 años)



Oganización Mundial de la Salud



- **Existe evidencia de alta certeza de que cualquier nivel e intensidad de actividad física se asocia con un menor riesgo de mortalidad por todas las causas y mortalidad por enfermedades cardiovasculares, incidencia de hipertensión, enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2.**
- **Existe evidencia de certeza moderada a alta sobre asociaciones entre niveles más altos de AF y un menor riesgo de incidencia de cánceres en sitios específicos.**
- **Existe evidencia de certeza moderada que respalda una asociación entre la AF y mejoras en la salud mental, la salud cognitiva y los resultados del sueño.**
- **Existe evidencia de una asociación entre niveles más altos de AF y medidas más favorables de adiposidad y atenuación del aumento de peso en adultos.**
- **Existe evidencia de baja certeza de que la AF recomendada para adultos no será dañina y que los beneficios para la salud de dicha actividad superan los riesgos.**

WHO GUIDELINES ON PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOUR 2020

(Adultos Mayores de > 65 años)



Oganización Mundial de la Salud



En el caso de los adultos mayores, la actividad física puede realizarse como parte de la recreación y el ocio (juegos, deportes o ejercicios planificados), el transporte (en silla de ruedas, a pie o en bicicleta), el trabajo o las tareas domésticas, en el contexto de los entornos laborales, educativos, domésticos o comunitarios diarios.

En los adultos mayores, la actividad física confiere beneficios para los siguientes resultados de salud:

- **Mejora de la mortalidad por todas las causas, mortalidad por enfermedades cardiovasculares, hipertensión incidente, cánceres específicos del sitio incidentes, diabetes tipo 2 incidente, salud mental (reducción de los síntomas de ansiedad y depresión), salud cognitiva y sueño; las mediciones de adiposidad también pueden mejorar.**
- **En los adultos mayores, la actividad física ayuda a prevenir las caídas y las lesiones relacionadas con las caídas y el deterioro de la salud ósea y la capacidad funcional.**

WHO GUIDELINES ON PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOUR 2020

(Adultos Mayores de > 65 años)



Oganización Mundial de la Salud



- **Todos los adultos mayores deben realizar actividad física de forma regular.**

  Recomendación fuerte, evidencia de certeza moderada

- **Adultos mayores deben realizar al menos 150'-300' de AF aeróbica de intensidad moderada; o al menos 75'-150' de AF aeróbica de intensidad vigorosa; o una combinación equivalente de actividad de intensidad moderada y vigorosa durante la semana, para obtener beneficios sustanciales para la salud.**

  Recomendación fuerte, evidencia de certeza moderada

- **También deben realizar actividades de fortalecimiento muscular de intensidad moderada o mayor que involucren a todos los grupos musculares principales durante 2 o más días a la semana, ya que brindan beneficios adicionales para la salud.**

  Recomendación fuerte, evidencia de certeza moderada

- **Como parte de su AF semanal, deben realizar una AF variada de múltiples componentes que enfatice el equilibrio funcional y el entrenamiento de fuerza a una intensidad moderada o mayor, durante 3 o más días/semana, para mejorar la capacidad funcional y prevenir caídas.**

  Recomendación sólida, evidencia de certeza moderada

- **Pueden aumentar la AF aeróbica de intensidad moderada a más de 300'; o hacer más de 150' de AF aeróbica de intensidad vigorosa; o una combinación equivalente de actividad de intensidad moderada y vigorosa durante la semana, para obtener beneficios adicionales para la salud.**

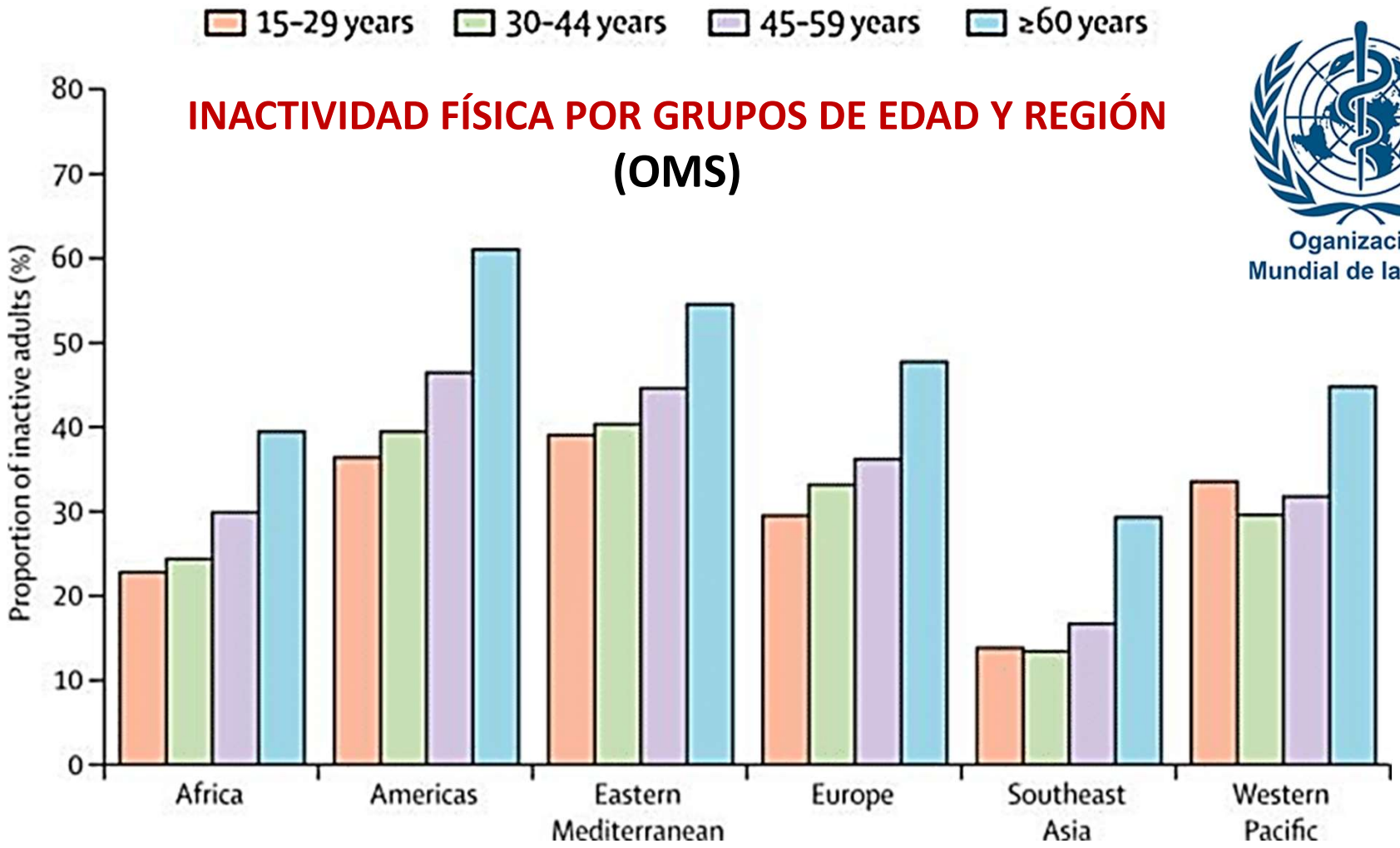
  Recomendación condicional, evidencia de certeza moderada

Global physical activity levels:
surveillance progress, pitfalls, and prospects

Hallal P.C., Andersen L.B., Bull F.C., Guthold R., Haskell W. & Ekelund U.
The Lancet, 380(9838), 247-257. 2012.

INACTIVIDAD FÍSICA POR GRUPOS DE EDAD Y REGIÓN (OMS)

Oganización Mundial de la Salud



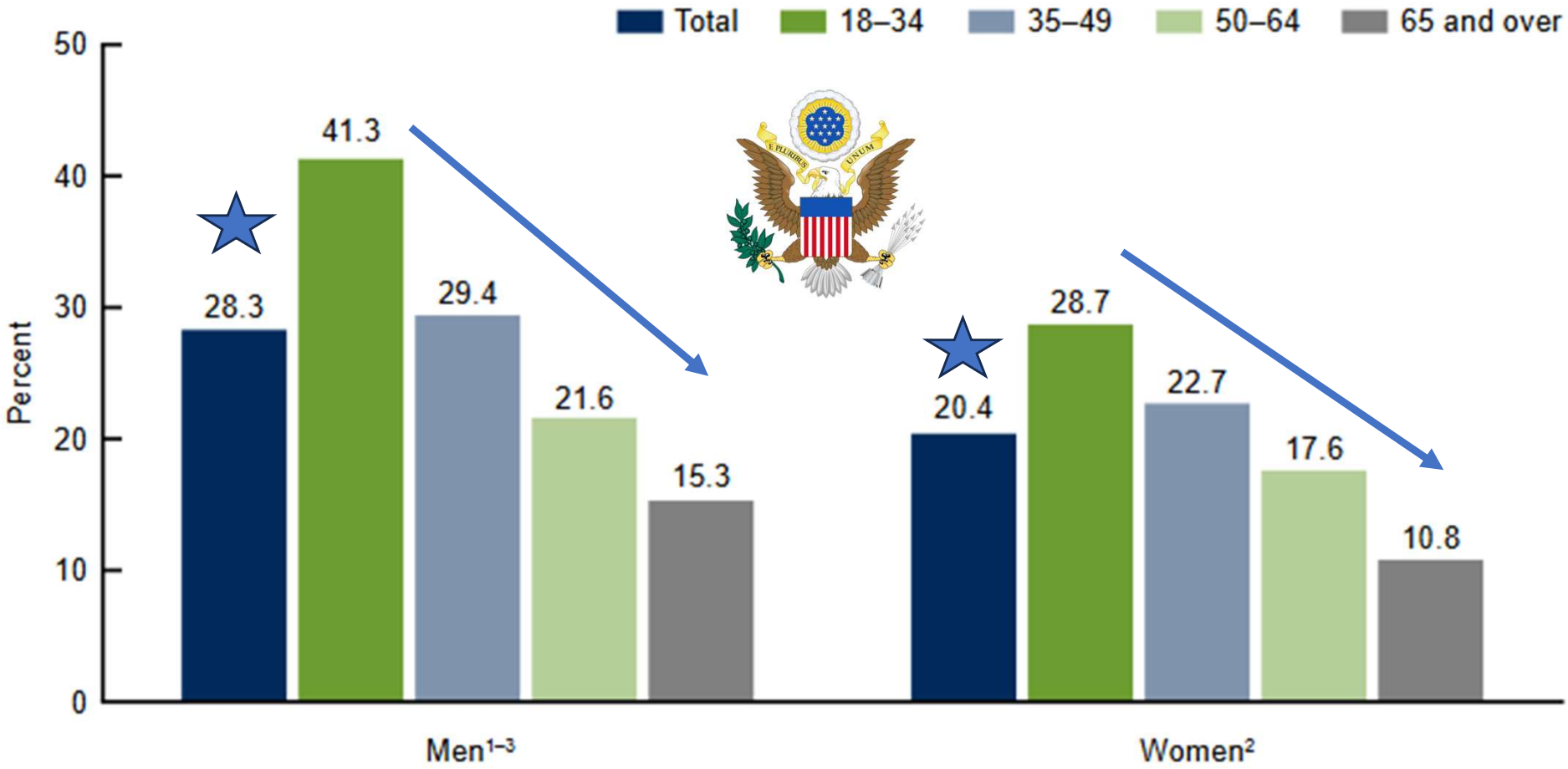
Physical Activity Among Adults Aged 18 and Over: United States, 2020

Nazik Elgaddal, Ellen A. Kramarow & Cynthia Reuben

NCHS Data Briefs, U.S. Department of Health and Human Services, 43. 2022.

Porcentaje por edad de adultos de 18 años o más, que SÍ CUMPLIERON con las Pautas de Actividad Física (Metabólica o Neuromuscular)

(Physical Activity Guidelines for Americans 2018)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

The factors related to a sedentary lifestyle: A meta-analysis review

Larissa C. Guedes-Martins, Marcos V. de Oliveira-Lopes, Camila M. Diniz & Nirla Gomes-Guedes

Journal of Advanced Nursing, 77(3), 1188-1205. 2021.



METAANÁLISIS: 35 estudios

18 PARÁMETROS DETERMINANTES

DESTACAN LOS FACTORES SOCIOECONÓMICOS



Falta de Espacio /Instalaciones;

Falta de Tiempo;

Pereza;

Falta de Motivación;

Falta de Habilidades Deportivas;

Falta de interés por el Ejercicio;

Intolerancia al Ejercicio;

Obligaciones Académicas;

Edad Avanzada (Jubilado);





Pocos Conocimientos sobre Ejercicio;

Vivir en una Zona Urbana;

Autopercepción Negativa de la Salud;

Uso de Transporte Público;

Discapacidad Física Percibida;

FALTA DE APOYO SOCIAL;

VIVIR EN PAÍS/ZONA BAJOS INGRESOS;

ESTAR EN PARO;

BAJO NIVEL SOCIOECONÓMICO.

Universidad Rey Juan Carlos

Thermometer of sedentary behaviour in Spain:
Report on physical inactivity and sedentary behaviour in Spanish adults

Fundación España Activa y Centro de Estudios del Deporte
Universidad Rey Juan Carlos (2017)

- **POBLACIÓN: Casi la mitad de ADULTOS ESPAÑOLES (≈12 millones) no practican ningún deporte, ni realizan ejercicio u otra actividad físicamente exigente en su tiempo libre.**
- **CLASES SOCIALES: las clases sociales MENOS CUALIFICADAS son menos activas en su tiempo libre, y las de mayor cualificación lo son durante su jornada laboral (i.e. oficinas).**
  - Es decir, a menor desarrollo económico mayor sedentarismo y, por tanto, mayores riesgos para su salud.
- **FALLECIMIENTOS: sedentarismo responsable del 13,4% de las muertes/año que se producen en España (>52.000 †).**
  - 6,6 personas/hora mueren por esta causa.









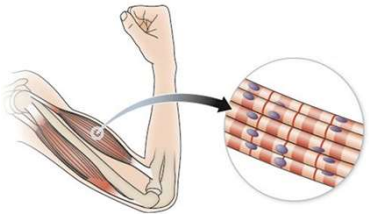
HIPOCINESIA & SEDENTARISMO





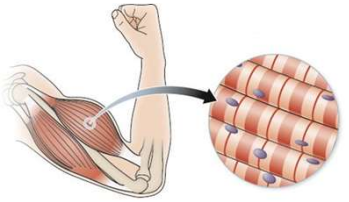


AUMENTA OBESIDAD Y/O SOBREPESO



DISMINUYE MASA MUSCULAR

(SARCOPENIA)



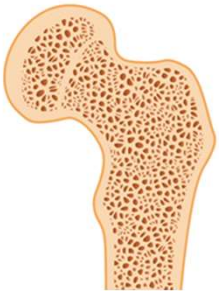
DISMINUYE FUERZA & POTENCIA MUSCULAR

(DINAPENIA & KRATOPENIA)



DISMINUYE MASA ÓSEA

(OSTEOPENIA & OSTEOPOROSIS)



⇓ ⇓ ⇓ ⇓

ENVEJECIMIENTO BIOLÓGICO ACELERADO

Con Incremento Significativo de:



FRAGILIDAD & DISCAPACIDAD

⇓ ⇓ ⇓ ⇓

Que se traduce en Mayores Tasas:



MORBILIDAD & MORTALIDAD

THE UNIVERSITY OF SYDNEY

The economic burden of physical inactivity:
a global analysis of major non-communicable diseases

Ding D, Lawson KD, Kolbe-Alexander TL, Finkelstein EA, Katzmarzyk PT, Van Mechelen W. & Pratt M.
The Lancet, 388(10051), 1311-1324. 2016.



INACTIVIDAD FÍSICA asociada con:
ENFERMEDADES NO-TRANSMISIBLES &
ELEVADOS COSTOS ECONÓMICOS

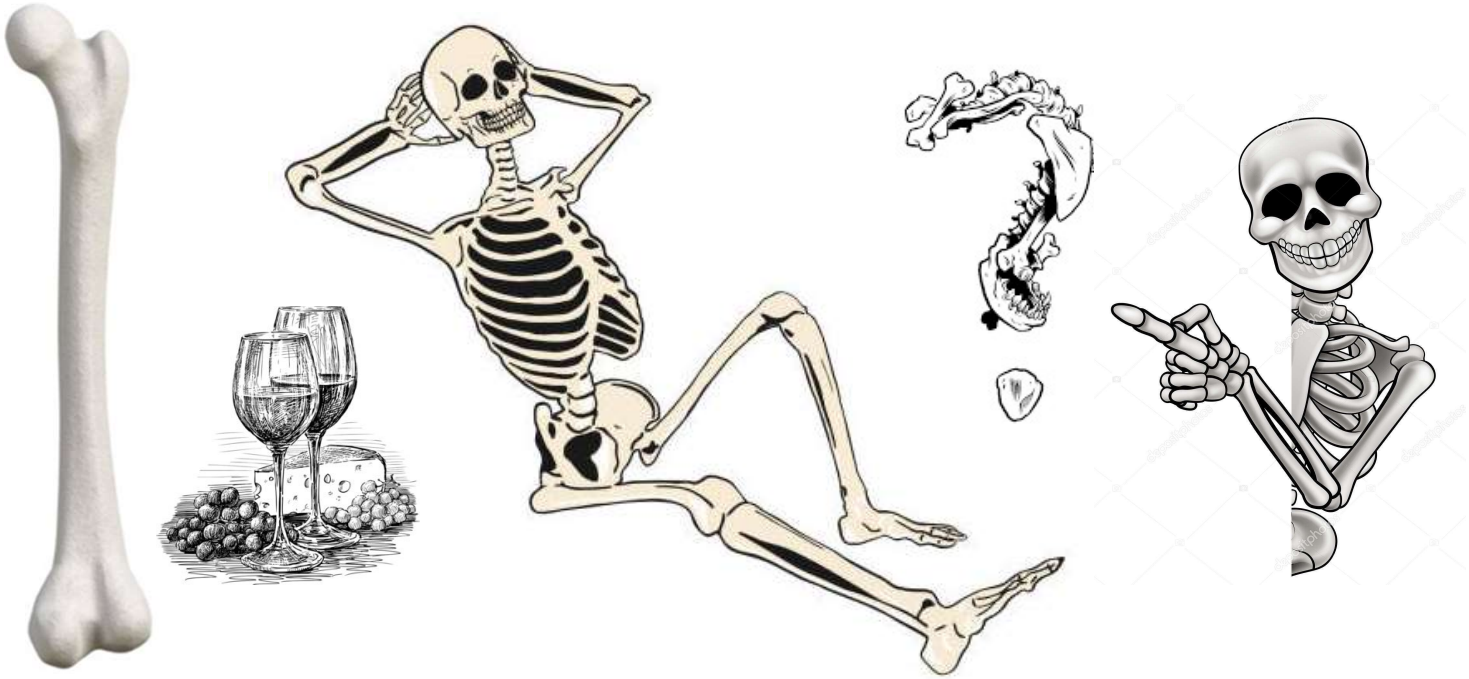


Muertes/Año: ≈ 5,3 millones †

Coste Económico: ≈ 53.800 millones $/año en costos directos de **Atención Médica**
Principalmente pagados por **Sector Público** (≈ 31.000 millones $)
Pérdidas en Productividad: 13.700 millones $/año

	Population (1 000 000, global %)	Direct costs (INT$1 00 000, global %)	Per capita direct costs (INT$)	Indirect costs (INT$1 000 000, global %)	Per capita indirect costs (INT$)	DALYs (1000, global %)	DALYs per 1000 persons
By WHO region*							
Africa	853 (12·8%)	632 (1·2%)	0·7	556 (4·1%)	0·7	859 (6·4%)	1·0
Latin America and the Caribbean ★	492 (7·4%)	3250 (6·0%)	6·6	1002 (7·3%)	2·0	1157 (8·6%)	2·4
North America	352 (5·3%)	25 680 (47·7%)	73·0	3241 (23·7%)	9·2	1080 (8·0%)	3·1
Eastern Mediterranean	453 (6·8%)	2355 (4·4%)	5·2	666 (4·9%)	1·5	1174 (8·7%)	2·6
Europe ★	848 (12·7%)	11 743 (21·8%)	13·9	3829 (28·0%)	4·5	2270 (16·9%)	2·7
Southeast Asia	1858 (27·8%)	936 (1·7%)	0·5	894 (6·5%)	0·5	2699 (20·1%)	1·5
Western Pacific	1819 (27·3%)	9215 (17·1%)	5·1	3509 (25·6%)	1·9	4202 (31·3%)	2·3

BREVE RECORDATORIO DE LO QUE SON LOS HUESOS Y NUESTRO ESQUELETO



Tipo de TEJIDO CONECTIVO ESPECIALIZADO formado por:

Tejido Compacto (Capa Externa Dura) **&**

Tejido Esponjoso o Trabecular (Capa Interna Esponjosa que contiene Médula Roja)

QUE ACTÚA COMO:

SOPORTE MECÁNICO Y ESTRUCTURAL DE NUESTRO ORGANISMO

UNIVERSIDADE D COIMBRA

Bone Weight:
New Reference Values Based on a Modern Portuguese Identified Skeletal Collection

Ana Maria Silva, Eric Crubezy & Eugénia Cunha
International Journal of Osteoarchaeology,
19, 628–641. 2009



Peso Medio de los Esqueletos

ESTUDIO	Muestra	RAZA	PESO (kg)
Ingalls NW. 1931. Observations on bone weights. American Journal of Anatomy 48: 45–98.	100 H 20-70 años	Blancos Americanos	**4956,9** ±719,8 2984-6976
Trotter M. 1954. A preliminary study of estimation of weight of skeletons. American Journal of Physical Anthropology 12: 537–551.	24 H	Blancos Americanos	4459.9 ± 800.8 g
Baker P, Newman R. 1957. The use of bone weight for human identification. American Journal of Physical Anthropology, 15: 601–618.	125 H	Blancos & Negros Americanos	Blancos 4290 ± 607 g Negros 4585 ± 445 g
Silva et al. 2009 Bone Weight: New Reference Values Based on a Modern Portuguese Identified Skeletal Collection. International Journal of Osteoarchaeology, 19, 628–641. 2009	50 H 50 M	Hombres & Mujeres	♂: 3850 g ♀: 2797,6 g

TEJIDO ÓSEO

"TEJIDO CONECTIVO MINERALIZADO"

TEJIDO ÓSEO

(206 HUESOS)

COMPOSICIÓN MACROSCÓPICA DEL HUESO:

CÉLULAS (≈2%):

Células Osteoprogenitoras (*Stem Cells*) & Osteocitos, Osteoclastos y Osteoblastos

MATRIZ EXTRACELULAR (≈ 98%):

(Hueso Compacto, Hueso Trabecular & Médula Ósea)

Materia Inorgánica (≈60-70%):

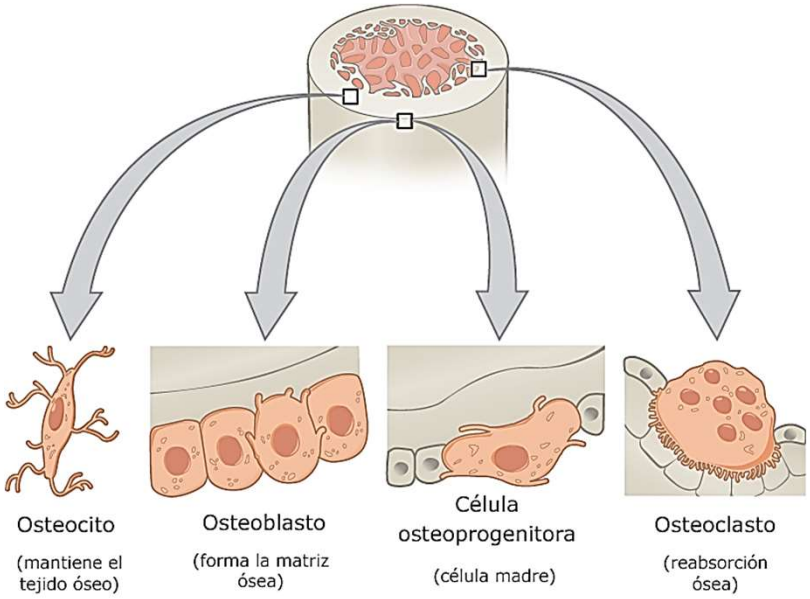
Rica en Ca^{2+} y Fósforo (Hidroxiapatita)

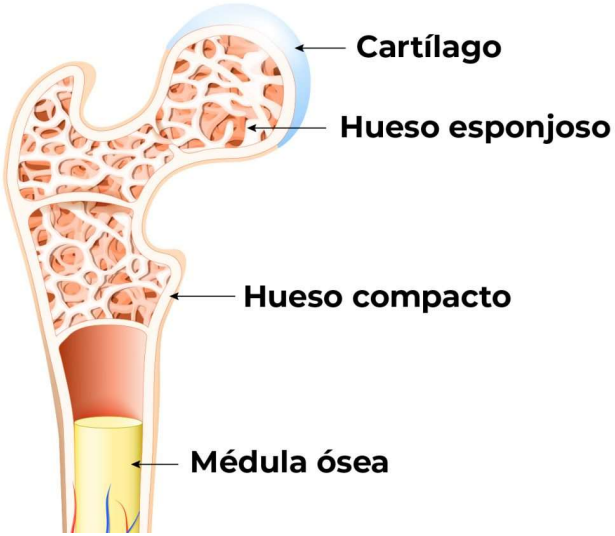
Bicarbonato de Ca, Citrato, Mg, K e Iones de Na

Materia Orgánica (Osteoide) (≈30%):

Aproximadamente 90%: Colágeno Tipo I

Proteoglicanos y Glicoproteínas (Osteonectina & Osteocalcina)





Modeling the skeleton weight of an adult caucasian man

Maia Avtandilashvili & Sergei Y. Tolmachev

Health Physics, 117(2), 149-155. 2019.

WASHINGTON STATE UNIVERSITY

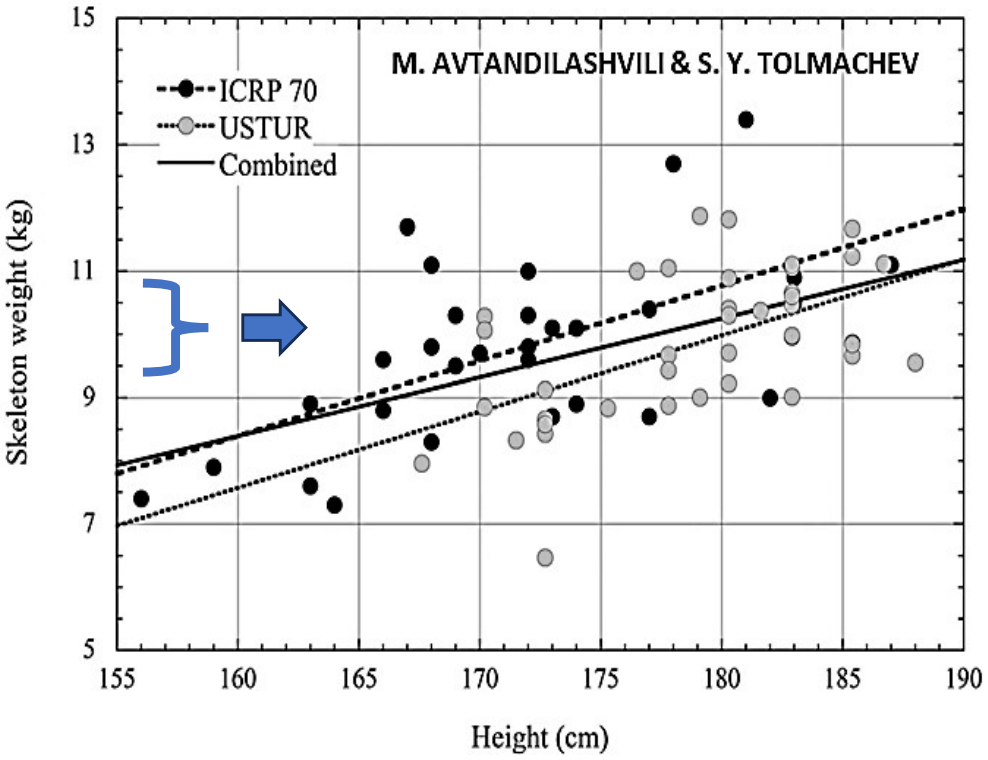
MASA ÓSEA DEL ESQUELETO

≈14-15% del P.C. Total de ♂

(≈10-11 kg)

≈3% menos del P.C. de ♀

Masa Máxima a 25-30 años



International Commission on Radiological Protection (ICRP - 1995)

Hombres Adultos: 10.5 kg – **Mujeres Adultas**: 7.8 kg

International Commission on Radiological Protection (ICRP - 2002)

W_{skel} **(kg)** = −10.7 + 0.119 × Estatura (cm)

AVTANDILASHVILI & TOLMACHEV (2019)

W_{skel} **(kg)** = **−0.25 + 0.046 ×** ***Estatura*** **(cm) + 0.036 ×** ***PC*** **(kg) − 0.012 ×** ***Edad*** **(años)**

UNIVERSIDADE D COIMBRA

Bone Weight:

New Reference Values Based on a Modern Portuguese Identified Skeletal Collection

Ana Maria Silva, Eric Crubezy & Eugénia Cunha

International Journal of Osteoarchaeology, 19, 628–641. 2009

ZONA	Peso Medio (kg)	Peso Medio (%)	Peso Máximo (kg)	Peso Mínimo (kg)
HÚMERO	0,215 ± 0,071	6,39 ± 0,71 % (6,25-6,53)	0,106	0,358
RADIO	0,066 ± 0,021	1,97 ± 0,27 % (1,92-2,02)	0,028	0,116
FEMUR	**0,613** ± 0,154	**18,45 ± 1,59 %** (18,13 – 18,76)	**0,312**	**1,008**
TIBIA	0,351 ± 0,098	10,51 ± 1,09 % (10,30-10,73)	0,158	0,616
MANOS	0,087 ± 0,021	2,62 ± 0,32 % (2,56-2,68)	0,044	0,132
PIE	0,189 ± 0,050	5,69 ± 0,73 % (5,55-5,84)	0,096	0,312
PUBIS	0,277 ± 0,066	8,40 ± 1,02 % (8,20-8,60)	0,144	0,446

UNIVERSIDADE D COIMBRA

Bone Weight:
New Reference Values Based on a Modern Portuguese Identified Skeletal Collection

Ana Maria Silva, Eric Crubezy & Eugénia Cunha

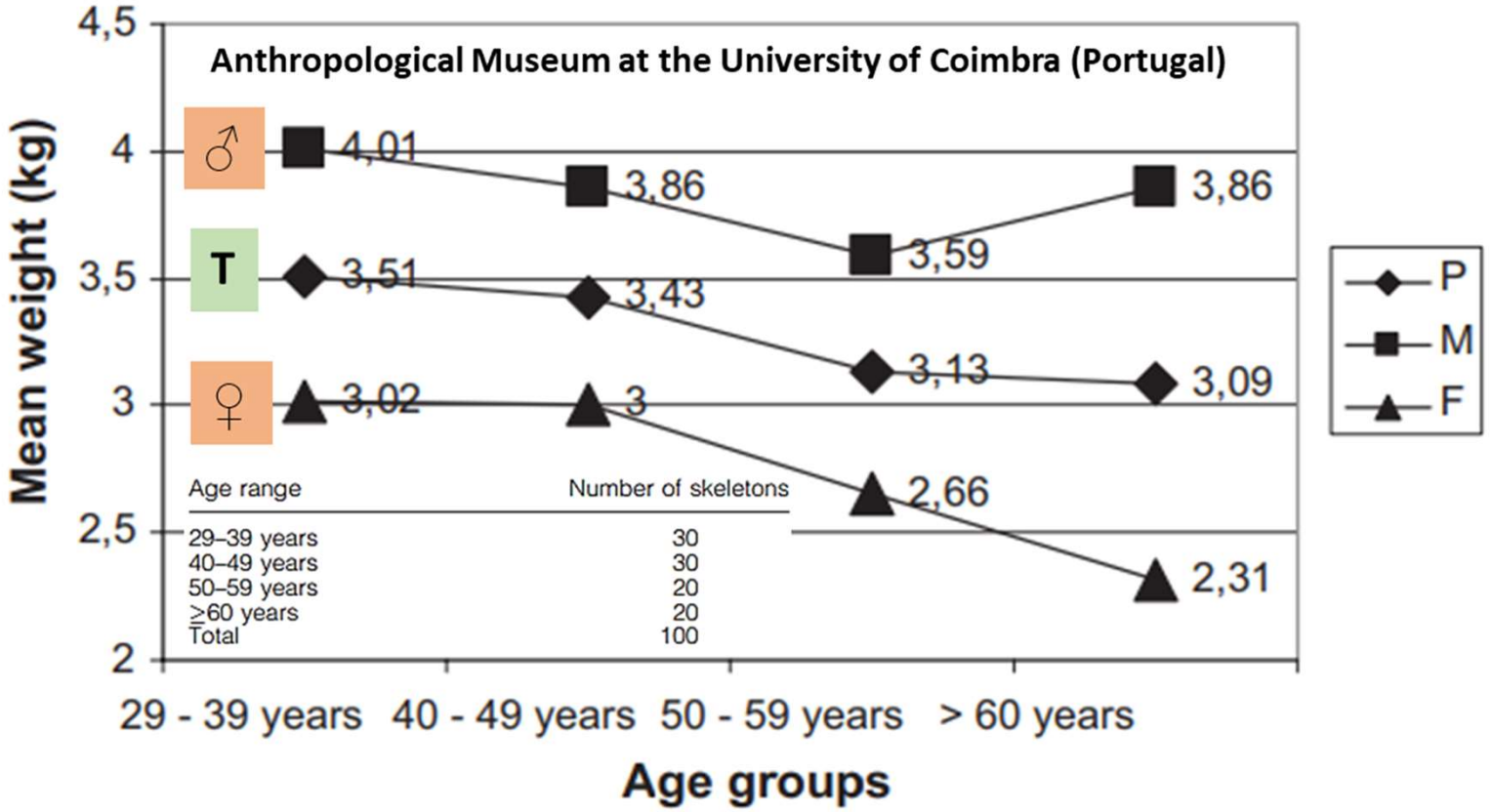
International Journal of Osteoarchaeology, 19, 628–641. 2009

Peso Medio del Esqueleto por Grupos de Edad
Total (P), Hombres (M) & Mujeres (F)

EXCEPTO LOS HUESOS DE:

Cráneo, Costillas, Vértebras, Sacro & Coxis y Huesos de Mano & Pie





Nottingham Trent University

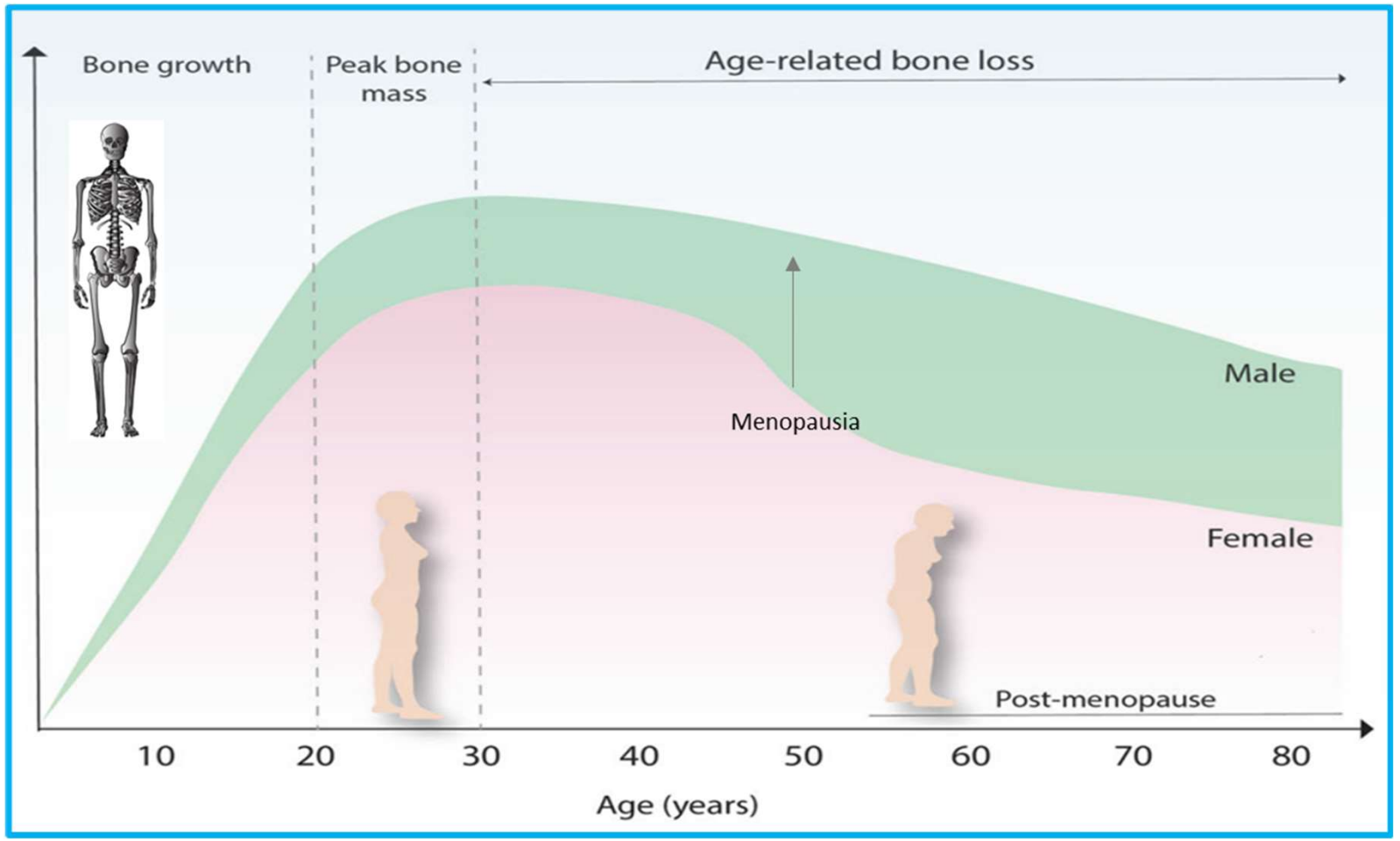
Exercise and bone health across the lifespan

Livia Santos, Kirsty J. Elliott-Sale & Craig Sale

Biogerontology, 18, 931-946. 2017.

Evolución de la Densidad Masa Ósea (DMO) a lo largo de la vida

HOMBRES presentan una DMO más alta a lo largo de su vida y son menos susceptibles a la pérdida ósea, relacionada con la edad, que las MUJERES



MECANISMO DE REGULACIÓN LOCAL

(*Local Regulatory Mechanism*)

Cooperación biofísico-bioquímica en el control direccional de la "*calidad estructural*" ósea (resistencia a la fractura)

Capozza R, Nocciolino L, Cointry G & Ferretti JL

Actualizaciones en Osteología 11 (2), 136-150, 2015.

CONICET

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

I R I C E

PROCESO DE REMODELACIÓN OSEA:

ASINCRÓNICA Y FUERTEMENTE LOCALIZADA

(El hueso constantemente se está reabsorbiendo en algunos sitios, mientras se está formando o está en la fase de reversión de la resorción ósea)

INTENSIDAD DE REMODELACIÓN DEPENDE DE:

TIPO ESTÍMULO Y MAGNITUD DE ESTÍMULO DESENCADENANTE & ENTORNO ANABÓLICO EXISTENTE

Los procesos que inciden sobre la remodelación ósea son:
SISTÉMICOS, y principalmente, LOCALES

(FACTORES REGULATORIOS LOCALES)

Actúan de acuerdo a las necesidades de Remodelación Ósea que se precisan los huesos en cada momento

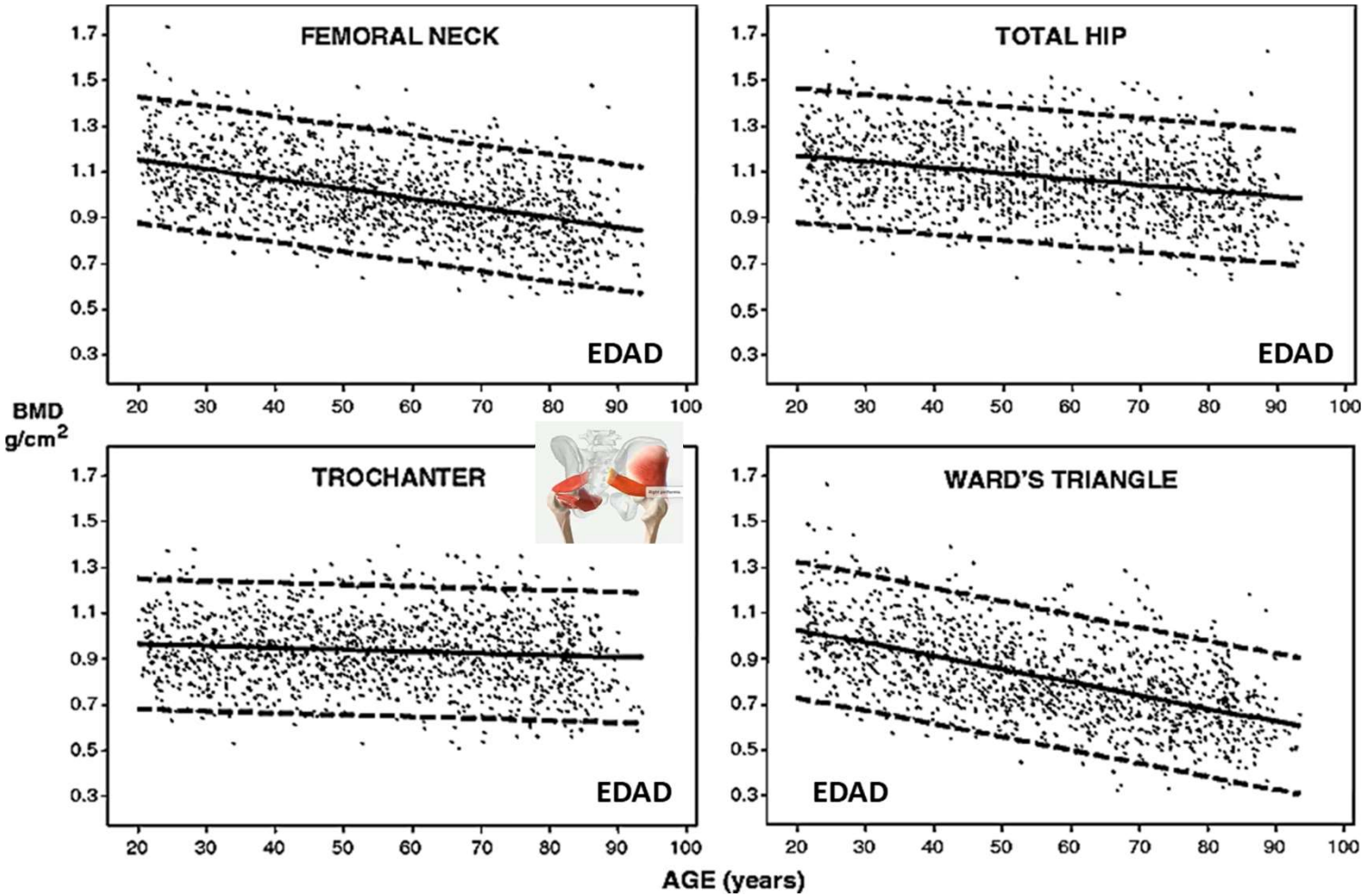
THE UNIVERSITY OF MELBOURNE

Bone mineral density reference ranges for Australian men:
Geelong Osteoporosis Study
Henry MJ, Pasco JA, Korn S, Gibson JE, Kotowicz MA. & Nicholson GC.
Osteoporosis International, 21, 909-917. 2010.

EVOLUCIÓN DE LA DMO CON LA EDAD (N = 1.467)

Disminución de sus valores con la edad
Siguiendo patrones de especificidad e individualidad

Muestra: n = 1.467 - **Edad**: 20–97 años
(**2001–2006**)
National Health and Nutrition Examination Survey III
(NHANES III)



OSPEDALE SAN RAFFAELE
MILAN

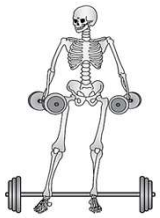
Bone remodeling:
an operational process ensuring survival and bone mechanical competence

Simona Bolamperti, Isabella Villa & Alessandro Rubinacci

Bone Research, 10(1), 48. https://doi.org/10.1038/s41413-022-00219-8. 2022.

ESTRÉS MECÁNICO

(Gravedad, Actividad Diaria, Actividad Laboral & Actividad Física)



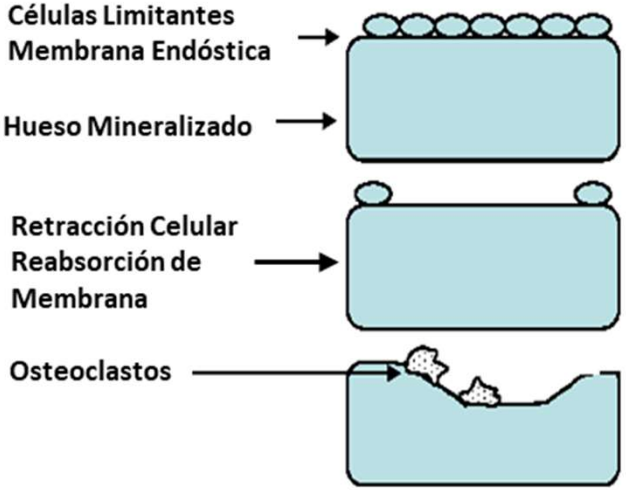
ACTIVACIÓN OSTEOCITOS

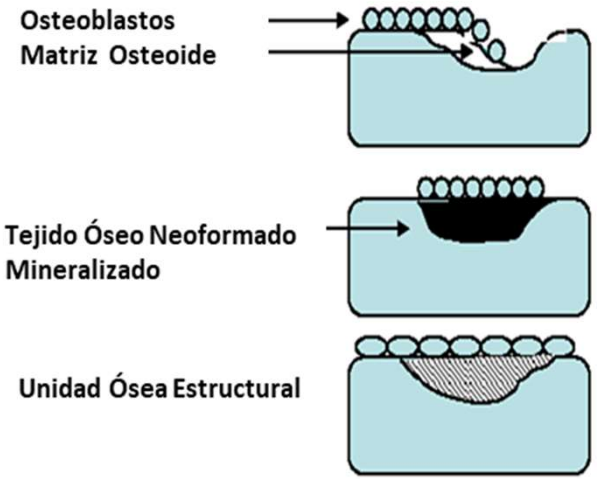
(Osteoblastos Inactivos)

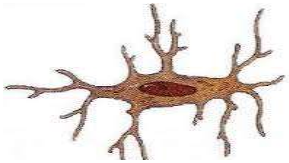
(Células Mecanotransductoras Óseas)

19.000–28.500/mm^3

≈42.000 millones de células (90-95%)



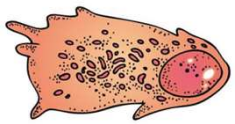




CONTROL DE ACTIVIDAD

OSTEOCLASTOS (1-2%)
Reabsorción Ósea





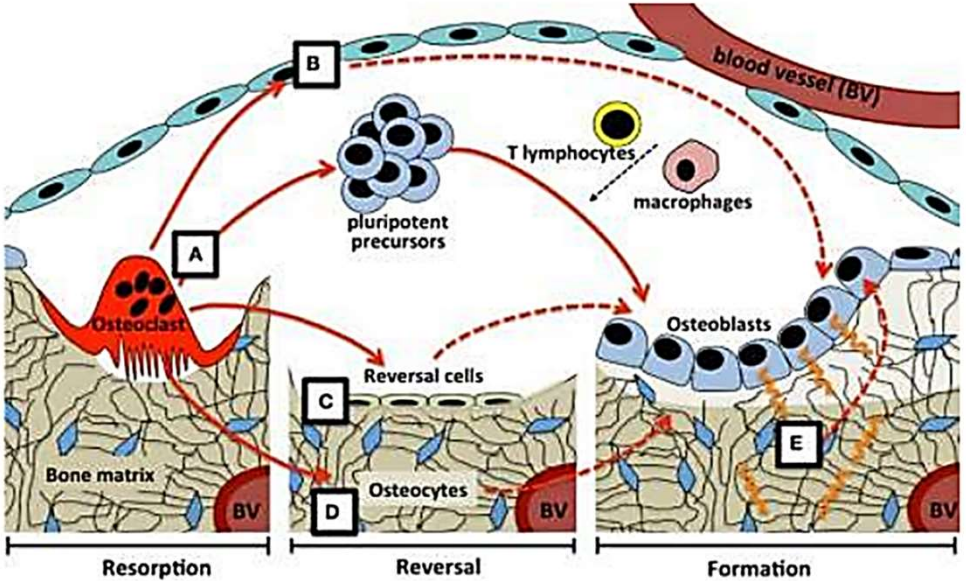
OSTEOBLASTOS (4-6%)
Formación Ósea

RENOVACIÓN & REMODELACIÓN ÓSEA

Cada ≈10 años se renueva la TOTALIDAD de las Células Óseas

ANUALMENTE

- ≈ 2-10 % de Hueso Cortical
- ≈ 20-25 % de Hueso Trabecular



PROCESO DE REMODELACIÓN ÓSEA:

PRIMERO:

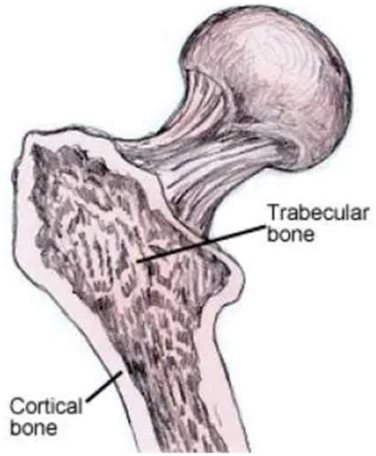
Reabsorción Ósea (***Osteoclastos***):

Eliminación de la Matriz Ósea y Parte Inorgánica del Hueso: **≈ 15-30 días**

SEGUNDO:

Formación Ósea (***Osteoblastos***).

- **Hueso Removido es reemplazado en:**
  - ≈ 90 días (Tejido Trabecular)
  - ≈ 130 días (Tejido Cortical)
- **Formación de Matriz** y posterior **Mineralización** (≈10 días)

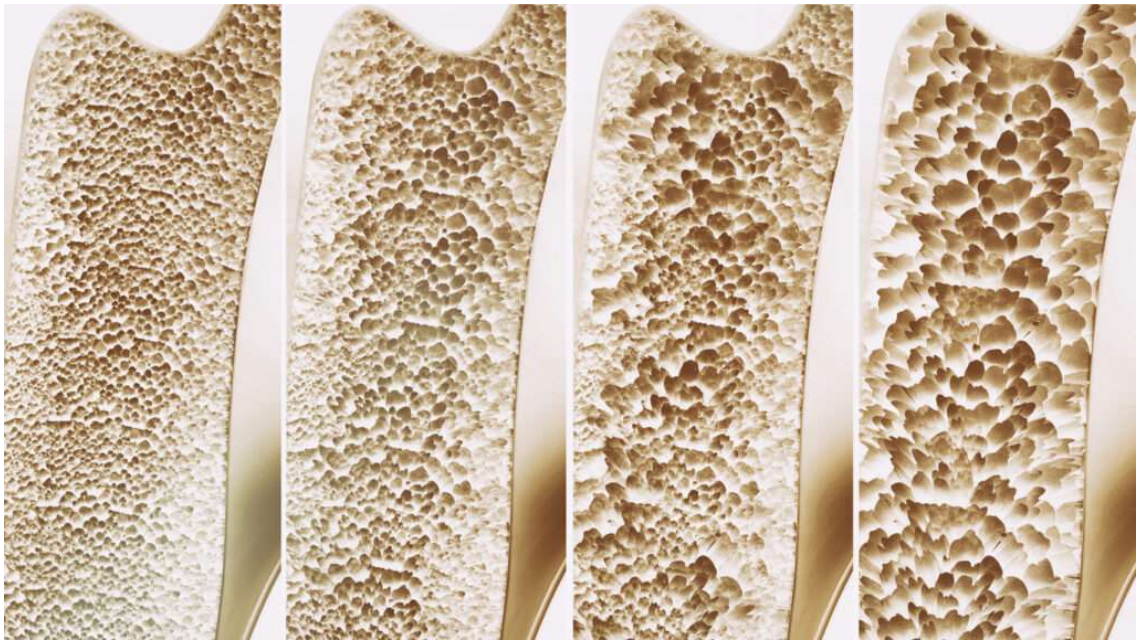


OSTEOPOROSIS

SITUACIÓN EN LA QUE LOS HUESOS SE DEBILITAN PROVOCANDO UNA MAYOR PROBABILIDAD DE FRACTURARSE

La afección puede desarrollarse cuando su **Densidad Mineral (DMO)**, el **Contenido Mineral (CMO)** y la **Masa Ósea** disminuye

Riesgo que también aumenta cuando:
Estructura & Composición del Hueso se altera y/o
Resistencia Estructural (**Rigidez & Tenacidad**) **disminuye**



ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

La OMS estableció, en 1994, **Criterios de Osteoporosis** en función de:

Densidad Mineral Ósea

(en términos de T score)

Otorgando un factor de riesgo a la categoría de enfermedad

Organización Mundial de la Salud

OSTEOPOROSIS



Valor Medio de DMO en Cuello del Fémur de Mujeres Jóvenes y Sanas:

Valor Medio de DMO del Cuello del Fémur: 0.715 ± 0.12 g/cm^2

≥2,5 Desviaciones Estándar por debajo del Valor Medio (Puntuación T ≤ −2,5)

No se han definido criterios de diagnóstico de Osteoporosis en hombres

Escore T (DE)	Riesgo de fracturas	Clasificación de la masa ósea
Hasta -1	No hay riesgo	Normal
-1 hasta - 2,5	+ 4 veces	Osteopenia
Menor - 2,5	+ 8 veces	Osteoporosis
< -2,5 con 1 o + fracturas (independiente del T – Escore)	+20 veces	Osteoporose Estabelecida o Severa

FACTORES DESENCADENANTES DE OSTEOPOROSIS





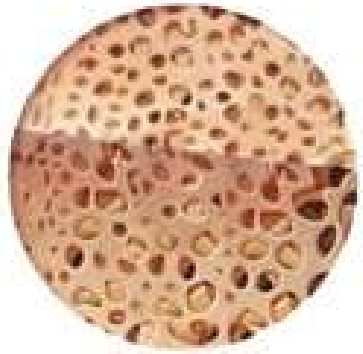
DISMINUCIÓN DE ESTRÓGENOS & PROGESTERONAS

NIVELES BAJOS DE TESTOSTERONA

MENOPAUSIA

HIPERTIROIDISMO (T4&T3 ELEVADAS)









ALCOHOLISMO & TABAQUISMO

HÁBITOS ALIMENTICIOS

SEDENTARISMO

SUPRARENALES HIPERACTIVAS



PREVALENCIA DE OSTEOPOROSIS

The global prevalence of osteoporosis in the world:
a comprehensive systematic review and metaanálisis

Salari N, Ghasemi H., Mohammadi L, Behzadi MH, Rabieenia E, Shohaimi S. & Mohammadi M.

Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 16, 1-20. 2021.

Kermanshah University of Medical Sciences

PROBLEMA DE SALUD GLOBAL

≈ 200 millones de personas en Riesgo de Padecerla

Población Mundial 2024: 8.156 millones (Δ 81 millones)



MUESTRA: 103.334.579 personas

(86 Estudios; Edad: 15-105 años)

PREVALENCIA

18.3%

(♀: 23.1%; ♂: 11.7%)



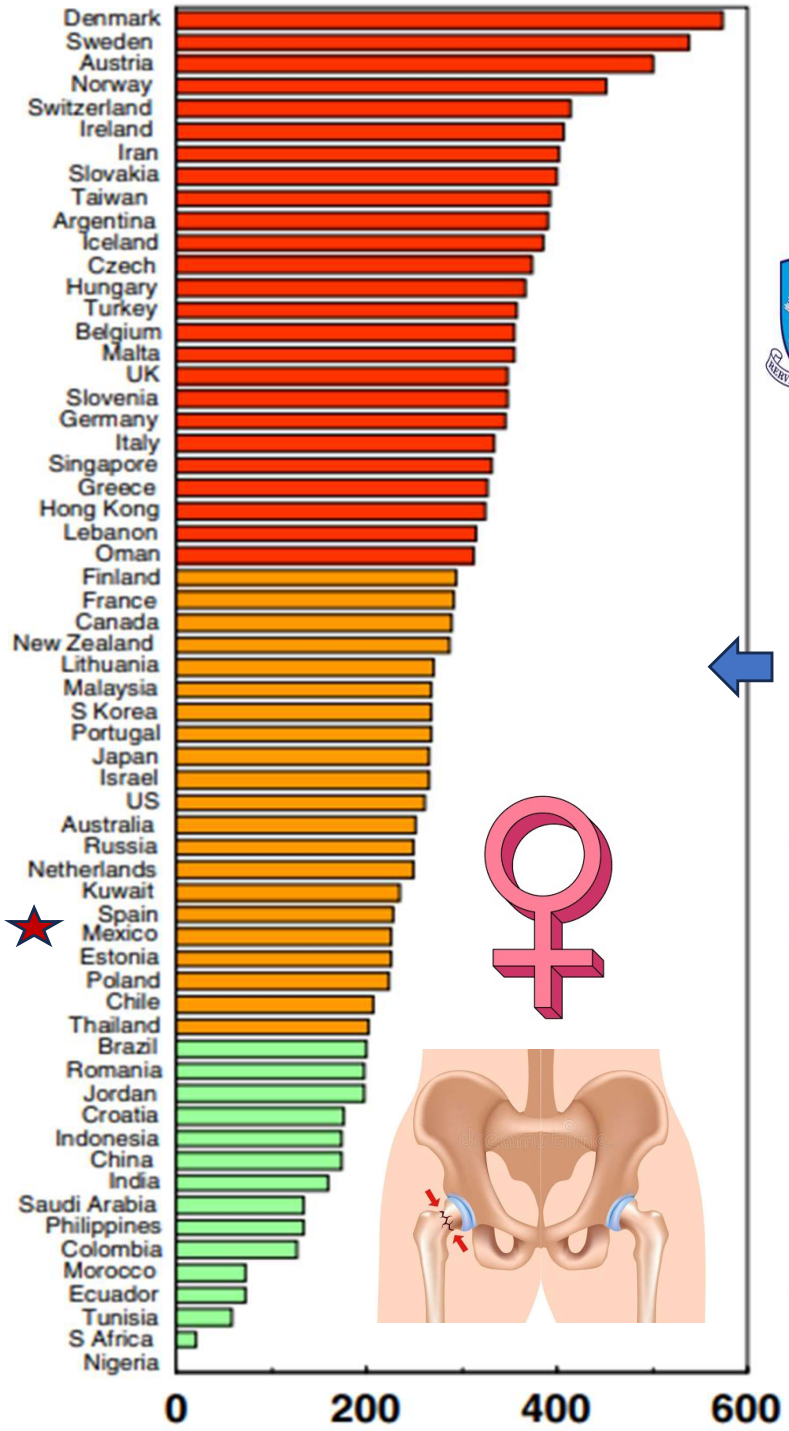


CONDICIONA LA INCIDENCIA DE FRACTURAS OSTEOPORÓTICAS

(Principalmente Fracturas de Vertebras, Costillas o **CADERA**)

INCREMENTO EN PROBLEMAS ASOCIADOS:

DETERIORO FUNCIONAL; INSTITUCIONALIZACIÓN Y/O MORTALIDAD



A systematic review of hip fracture incidence and probability of fracture worldwide

Kanis JA, Oden A, McCloskey EV, Johansson H, Wahl DA, Cooper C. & IOF Working Group on Epidemiology & Quality Life

Osteoporosis International, 23, 2239-2256. 2012.

The University Of Sheffield.

FRACTURAS DE CADERA

INCIDENCIA ANUAL

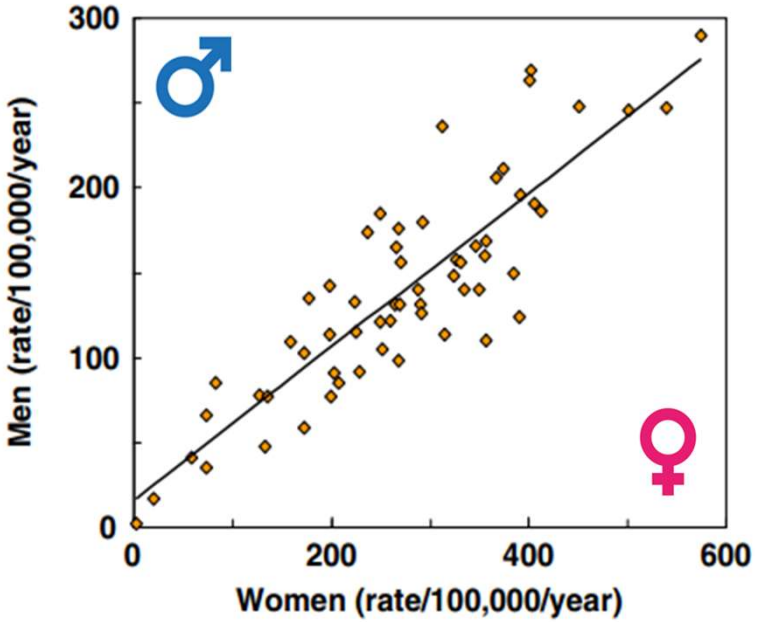
(por 100.000 Hab)

Fracturas de Cadera (♀)

según país de procedencia

Alta: >300

Moderada: 200-300



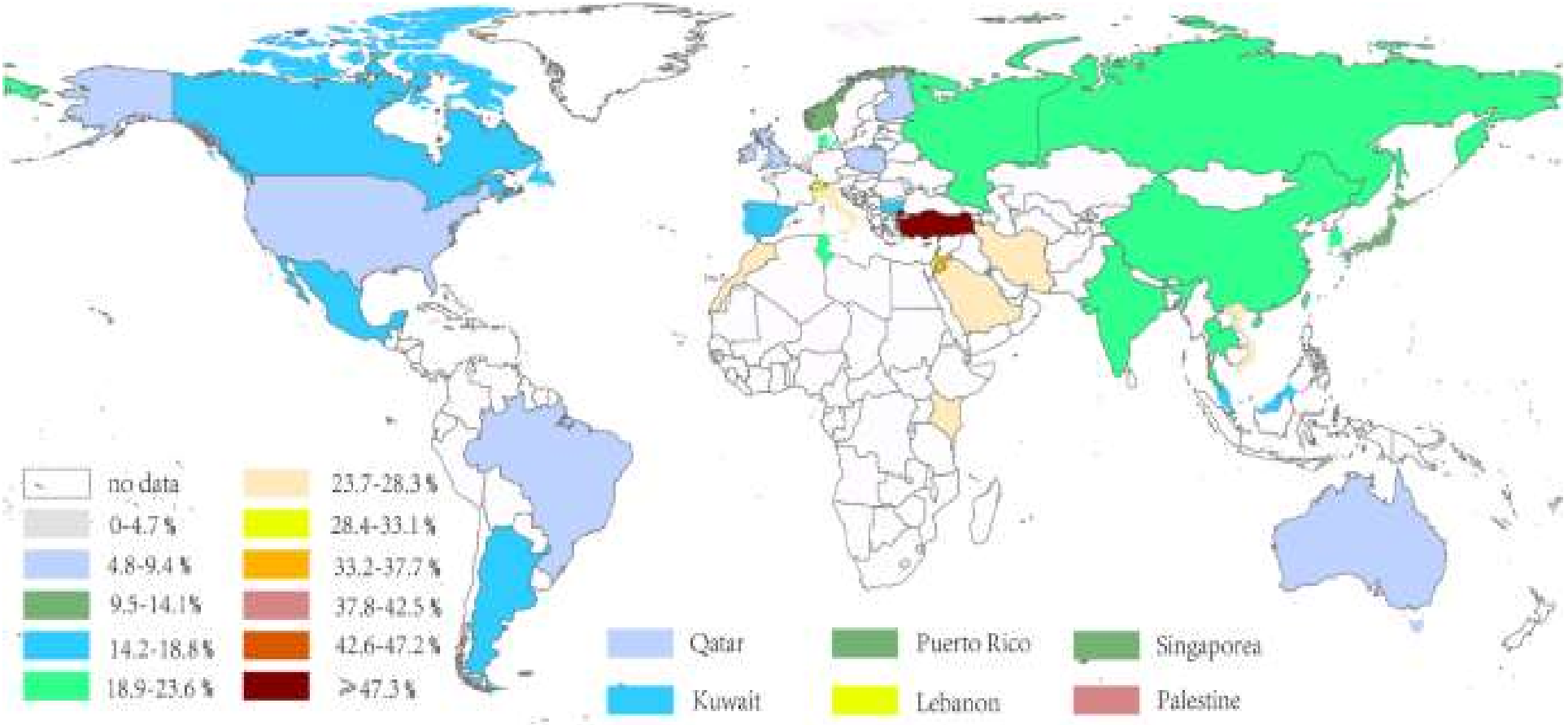
		Incidence /100,000			FRAX probability (%)	
Colour	Category	Women	Men	Men and women	Men	Women
Red	High	>300	150+	>250	>15	>15
Orange	Moderate	200–300	100–150	150–250	10–15	10–15
Green	Low	<200	<100	<150	<10	<10

Tasas Anuales de Fractura de Cadera/100.000 Habitantes en ♂, ♀, y ambos sexos combinados

Global, regional prevalence, and risk factors of osteoporosis according to the World Health Organization diagnostic criteria: a systematic review and meta-analysis

Xiao, P. L., Cui, A. Y., Hsu, C. J., Peng, R., Jiang, N., Xu, X. H., ... & Lu, H. D.

Osteoporosis International, 33(10), 2137-2153. 2022.



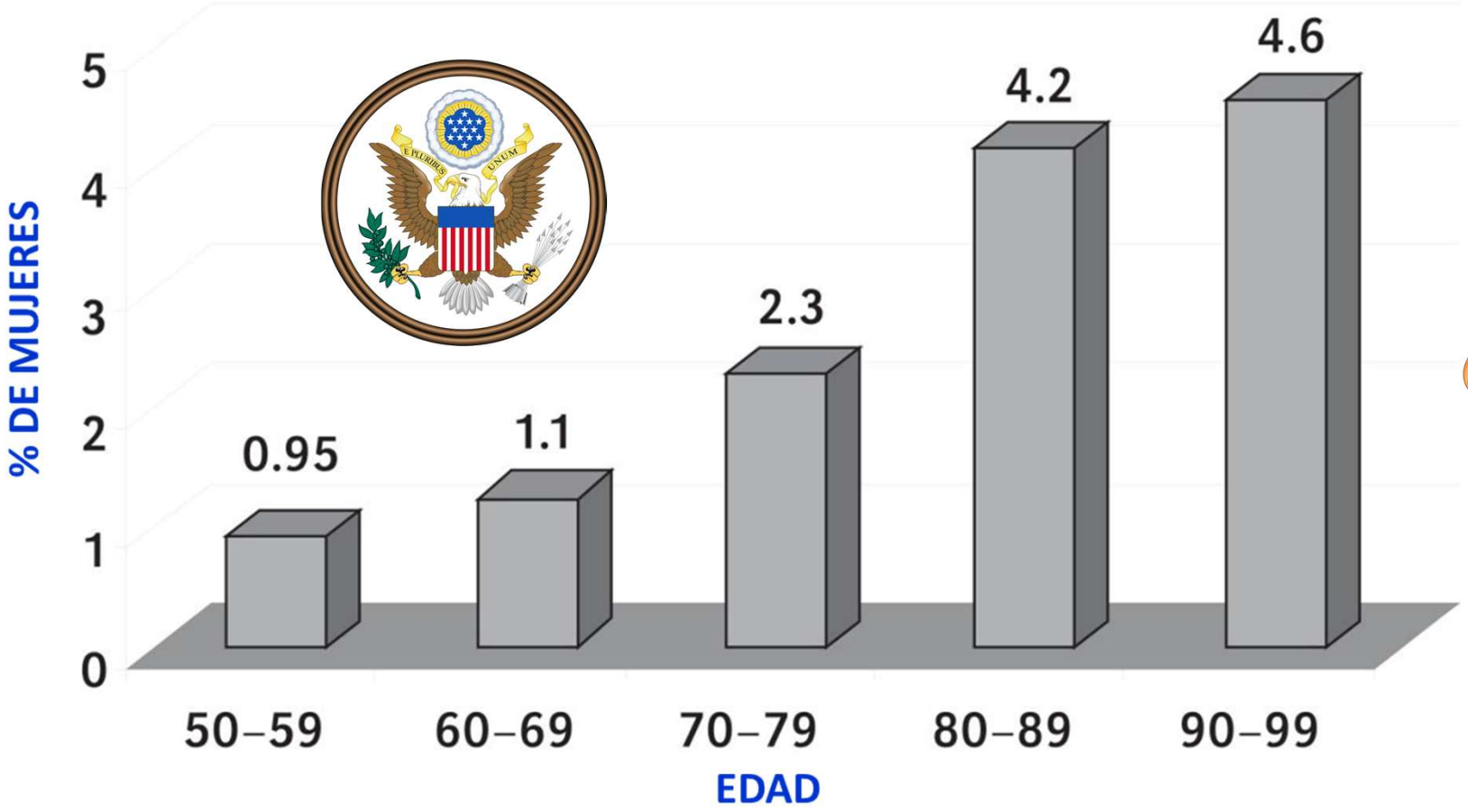
La prevalencia de Osteoporosis varía mucho según:
Países (4,1% Países Bajos vs. 52,0% Turquía) &
Continentes (8,0% Oceanía vs. 26,9% África)



INCIDENCIA DE LA FRACTURA DE CADERA *VS.* EDAD

BONE HEALTH AND OSTEOPOROSIS: A REPORT OF THE SURGEON GENERAL

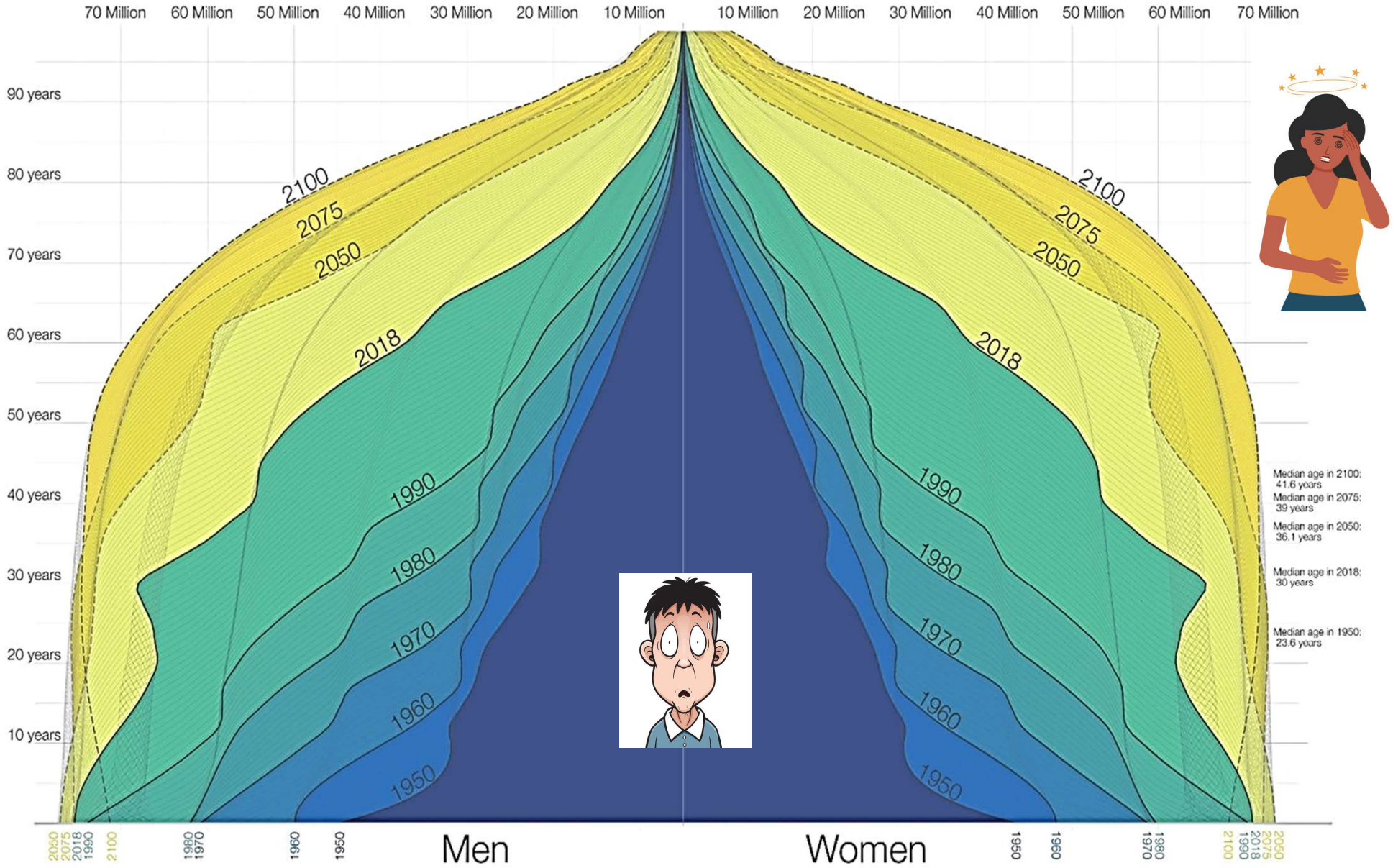
Office of the Surgeon General (2004)





EVOLUCIÓN DE LA PIRÁMIDE POBLACIONAL MUNDIAL

(AÑOS : 1.900 A 2.100)



EVOLUCIÓN DE LA PIRÁMIDE POBLACIONAL ESPAÑOLA



ESPAÑA (2024):

49.077.984 Habitantes

♀: 50,96% - ♂: 49,14%

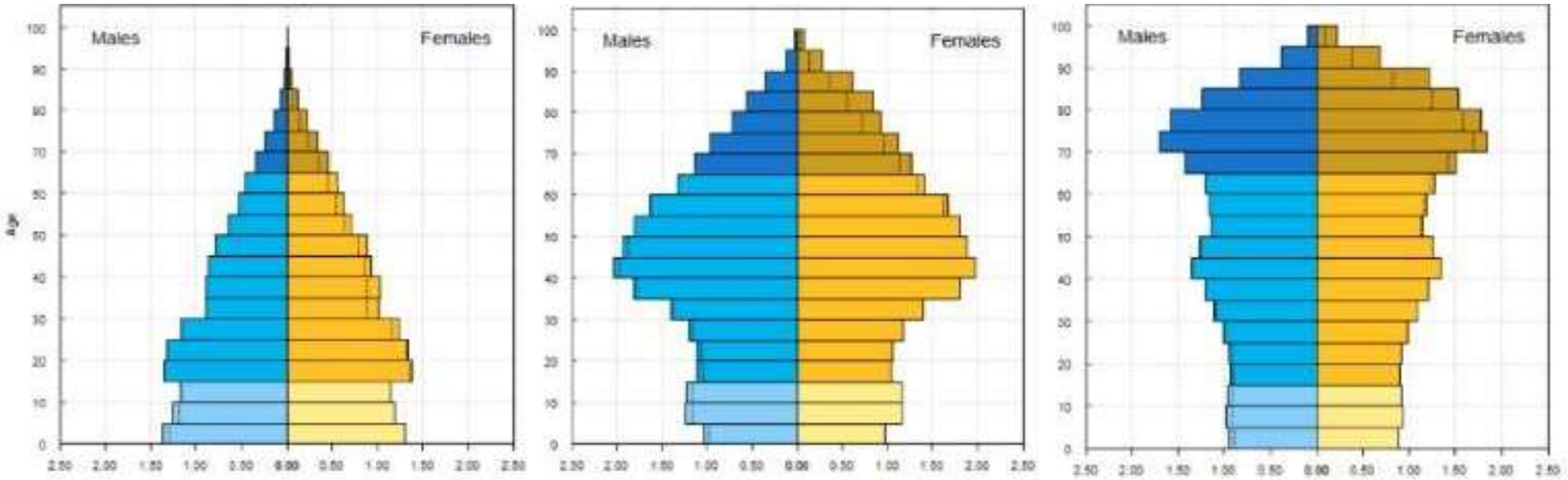
115.468 muertes/año más que nacimientos/año



Porcentaje de niños: 12.88% (6.321.244 Personas)

Población >65 años: 20.75% (10.183.681 Personas)

1950 **2017** **2050**



HABITANTES:

1900: 13.6 millones;

1950: 25.8 millones;

2024: 132,3 millones;

0-14 años	15-64 años	>65 años
25.6 %	66.9 %	7.6 %



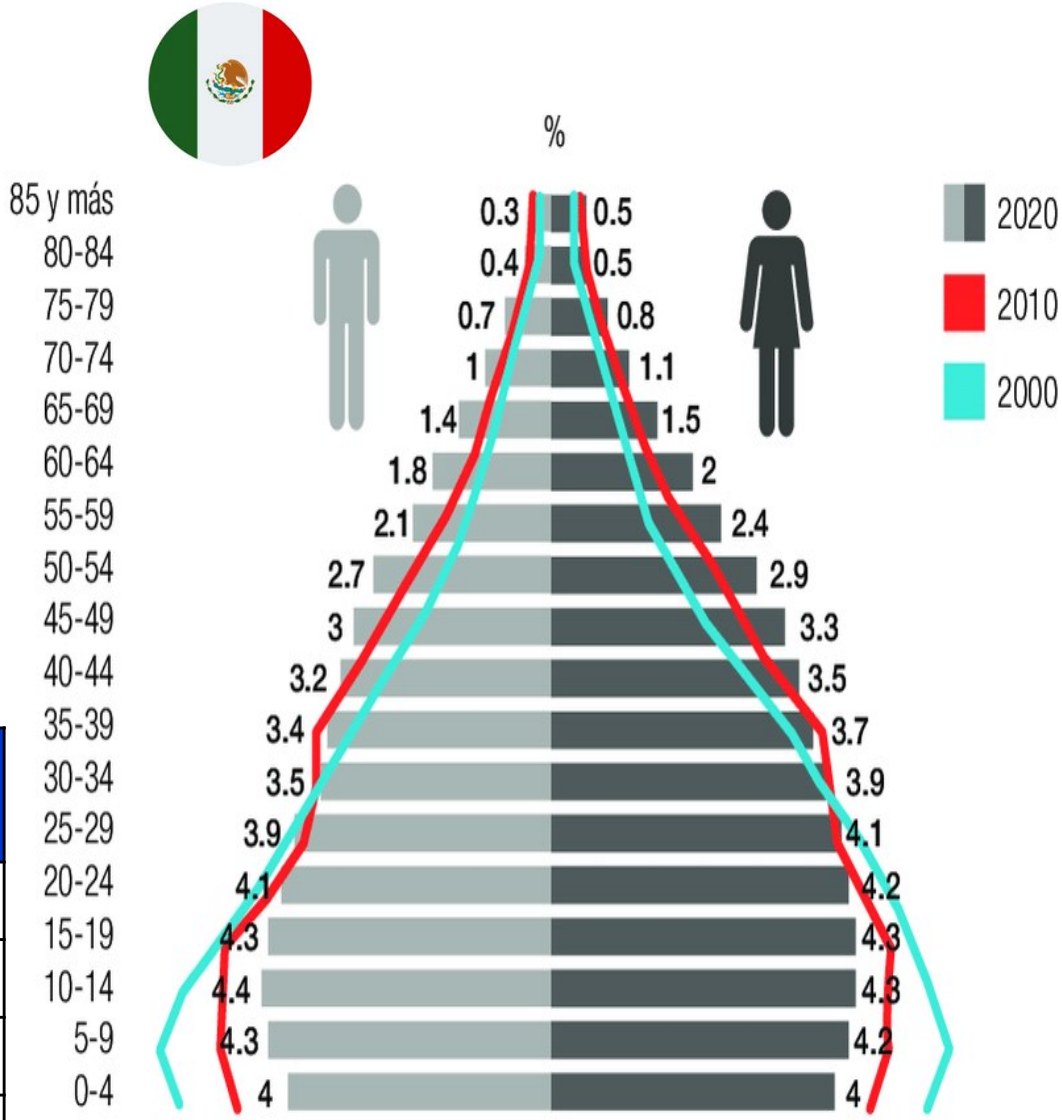
TASAS DE CRECIMIENTO ANUAL

Alta Fertilidad: 1.5%; **Media Fertilidad:** 1.1%;
Baja Fertilidad: 0.7%

Año	Alta Fertilidad	Media Fertilidad	Baja Fertilidad
2030	144 279 800	140 346 500	136 505 300
2050	194 324 000	174 672 500	156 942 000
2070	261 726 300	217 394 100	180 438 200
2100	409 099 200	301 843 900	222 439 800

OUR WORLD IN DATA

Population, comparison of United Nations projections, World



UNAM

Incidence of hip fractures in Mexico 2006–2019: increasing numbers but decreasing rates

Clark P, Cruz GA, Rascón RA, Bremer A. & Borja-Aburto VH.

Osteoporosis International, 1-8. 2024.





AUMENTO EN NÚMERO ANUAL DE FRACTURAS DE CADERA

Personas ≥ 60 años de ambos sexos

Incremento: 43% ♀ & 41% ♂





TASA DE FRACTURAS DISMINUYÓ

(Fracturas/100.000 Habitantes)

TASA (↓): 167,8 a 138,5/100.000 Habitantes

En ≥ 60 años disminuyó 1,9%/año (♀) & 0,9%/año (♂)

El mayor número de fracturas es de personas ≥70 años

Tasa de Fracturas de Cadera (CASOS/100.000 Habitantes) ha disminuido en México desde 2006

El envejecimiento de la población y el aumento de habitantes, podría suponer que las actuales disminuciones se puedan revertir peligrosamente

University of Sheffield
Medical School

Increasing age and sex specific rates of hip fractures in Mexico
Johansson H, Clark P, Carlos F, Oden A, McCloskey EV. & Kanis JA.
Osteoporosis International. DOI:10.1007/s00198-010-1475-z. 2011.

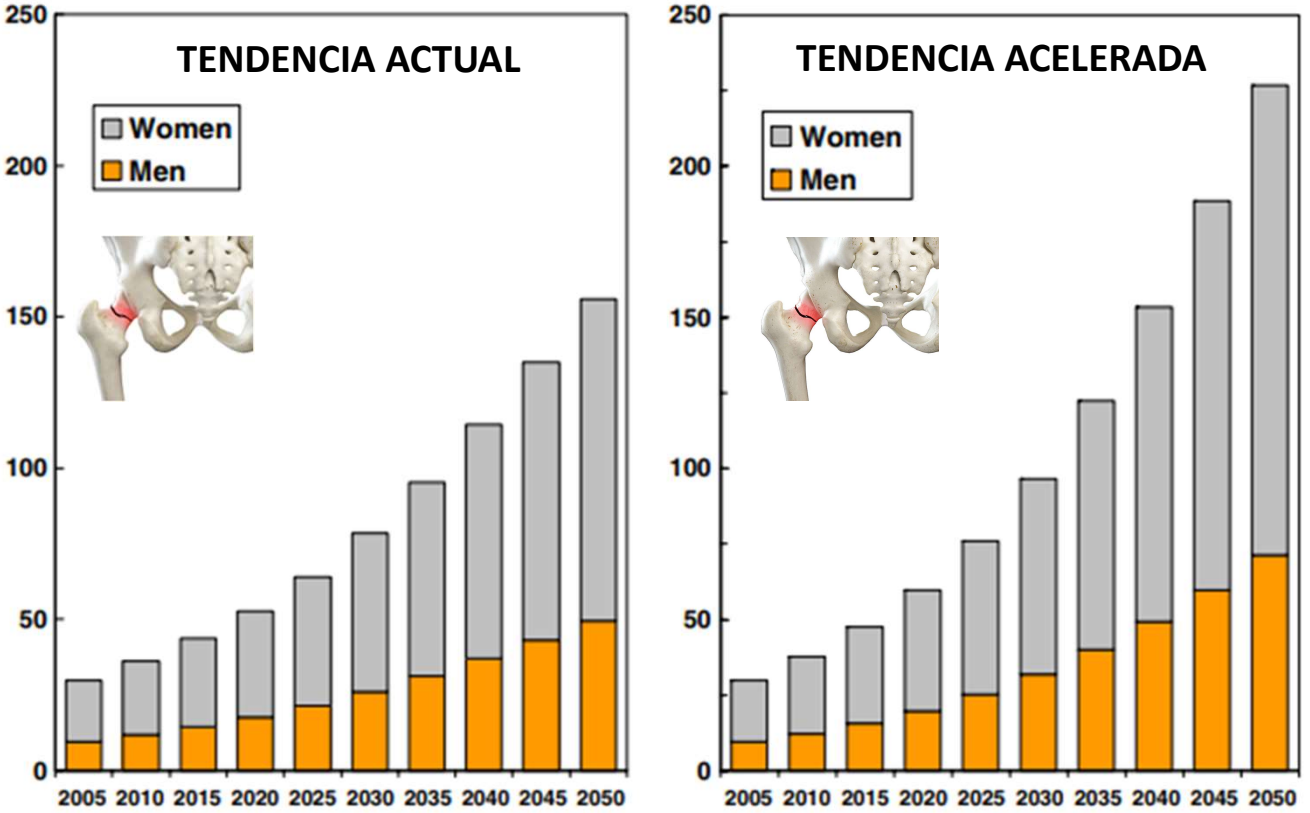


NÚMERO ANUAL DE FRACTURAS DE CADERA AUMENTARÁ
desde los 29.732 (2005) a 155.874 (2050) casos





SALUD



Número Fracturas de Cadera (miles) estimado, para ♂ y ♀, en México entre 2005 y 2050

Izquierda: suponiendo que **NO** haya **CAMBIOS** en la incidencia desde 2005

Derecha: suponiendo que cambie la tendencia observada entre 2000 y 2006

Dartmouth
GEISEL SCHOOL OF
MEDICINE

Excess mortality following hip fracture:
the role of underlying health status
Tosteson AN, Gottlieb DJ, Radley DC, Fisher ES & Melton LJ.
Osteoporos International, 18(11), 1463-1472. 2007.

Fracturas de Cadera (%) provoca:

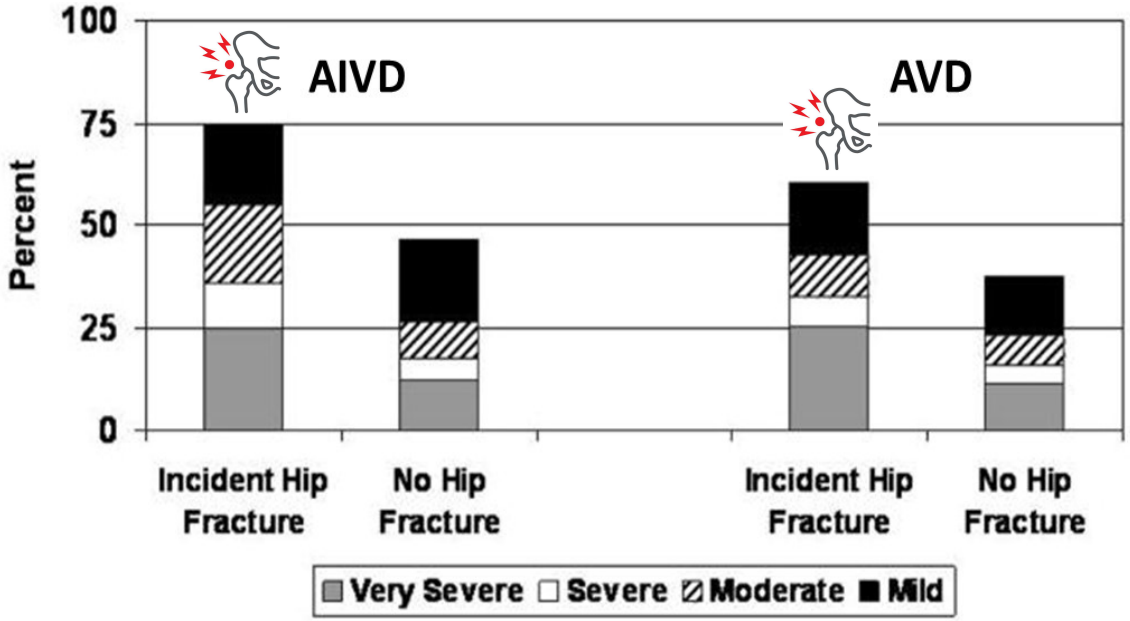
Limitaciones en las Actividades de la Vida Diaria (AVD)

(comer, vestirse, acostarse o levantarse de una cama o una silla, bañarse o ducharse, y usar el inodoro)

Limitaciones Actividades Instrumentales de la Vida Diaria (AIVD)

(las necesita desempeñar, más allá de las destrezas básicas, para ser independiente en el hogar y/o la comunidad
(i.e. moverse por cas, manejo de dinero, administrar la medicación)







Personas con Limitaciones Leves: Limitación en 1 sola actividad;
Personas con Limitaciones Moderadas: Limitación en 1/3 de actividades (2 limitaciones);
Personas con Limitaciones Graves: Deficiencias en 1/2 de actividades (2 - 4 limitaciones);
Personas con Limitaciones Muy Graves: Limitaciones en 2/3 de actividades (4 - 6 limitaciones).

Hôpitaux Universitaires Genève

Survival and potential years of life lost after hip fracture in men and age-matched women

Trombetti A., Herrmann F., Hoffmeyer P., Schurch M.A., Bonjour J.P., & Rizzoli R.

Osteoporosis International, 13, 731-737. 2002.

ESTIMACIONES DE SUPERVIVENCIA (106 ♂ & 264 ♀)

Sujetos con Fractura de Cadera *vs*. Expectativa de Vida de la Población General

Reducción de Esperanza de Vida por Fractura de Cadera fue similar en ambos sexos

(REV = ♂: 5,9 ± 4,5 años - ♀: 5,8 ± 4,8 años)

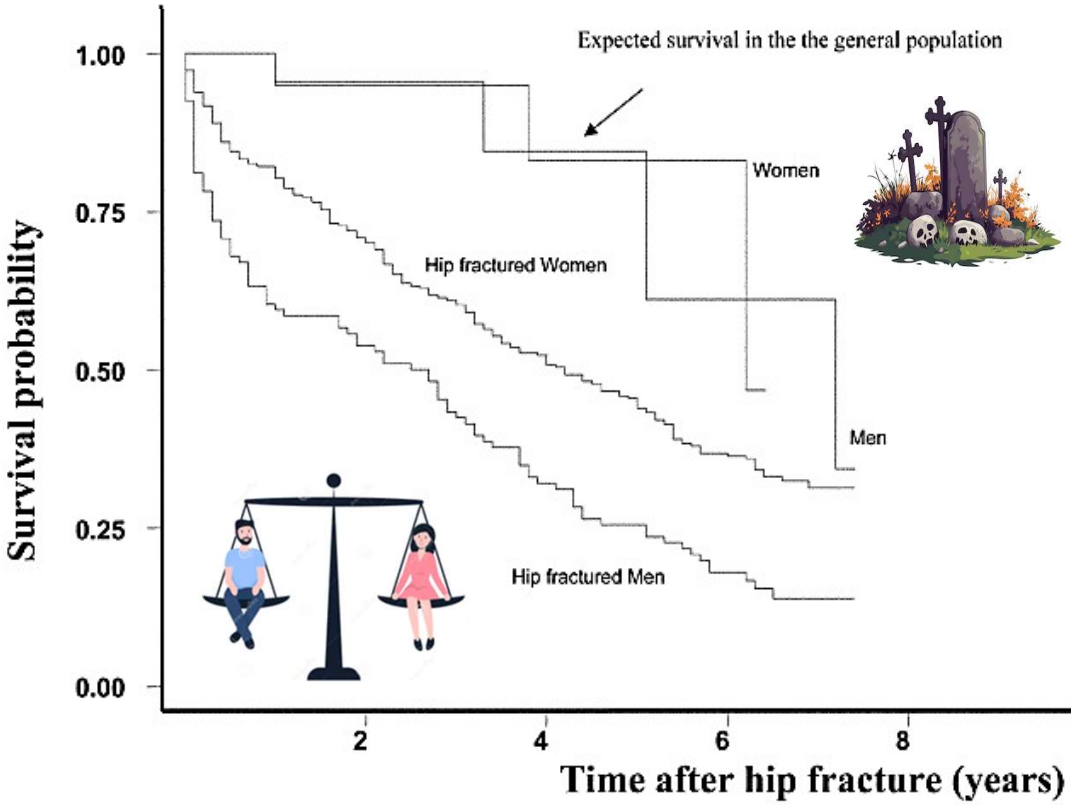
REDUCCIÓN ESPERANZA DE VIDA (similar en ambos sexos)

Las Fracturas de Cadera tienen un impacto peor en las posibilidades de Supervivencia de los ♂ que de las ♀.

Esta hipótesis se cumple incluso cuando se considerara la mayor

TASA DE MORTALIDAD

Que presentan los ♂



The burden of osteoporosis in four Latin American countries: Brazil, Mexico, Colombia, and Argentina

Aziziyeh R, Amin M, Habib M, Garcia-Perlaza J, Szafranski K, McTavish RK, ... & Cameron C. Journal of Medical Economics, 22(7), 638-644. 2019



Número Total Estimado de Fracturas Relacionadas con Osteoporosis (2018):

>840.000 fracturas

COSTO ANUAL TOTAL: ≈1.170 millones $



COSTOS ANUALES (MÉXICO)

411 millones $

Argentina (360 millones $), Brasil (310 millones $ y Colombia (94 millones $)



Durante los próximos 5 años, se prevé:

≈ 4.485.352 fracturas en Brasil, México, Colombia y Argentina

La carga promedio por cada 1.000 persona en riesgo de sufrir fracturas fue mayor en Argentina (32.583 $), seguida de México (16.671 $)

ESTRATEGIA INTERESANTE:

Acciones Preventivas con Poblaciones de Riesgo

GÖTEBORGS UNIVERSITET

Osteoporosis and fractures in women: the burden of disease

Lorentzon M, Johansson H, Harvey NC, Liu E, Vandenput L, McCloskey EV. & Kanis JA. Climacteric, 25(1), 4-10. 2022.

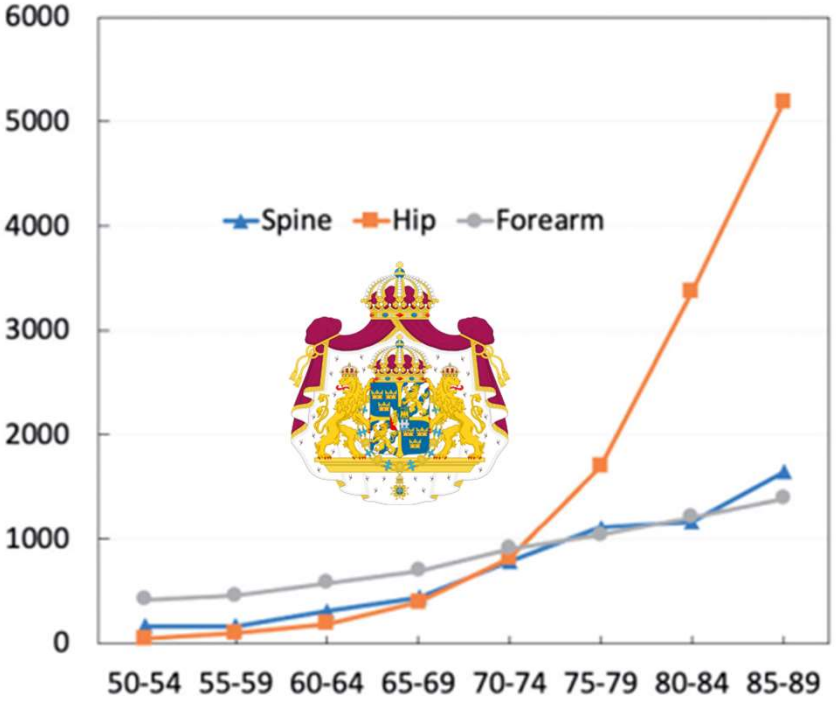
SOCIEDADES OCCIDENTALES (>50 años):

FRACTURAS OSTEOPORÓTICAS: 1 de cada 3 ♀ & 1 de cada 5 ♂

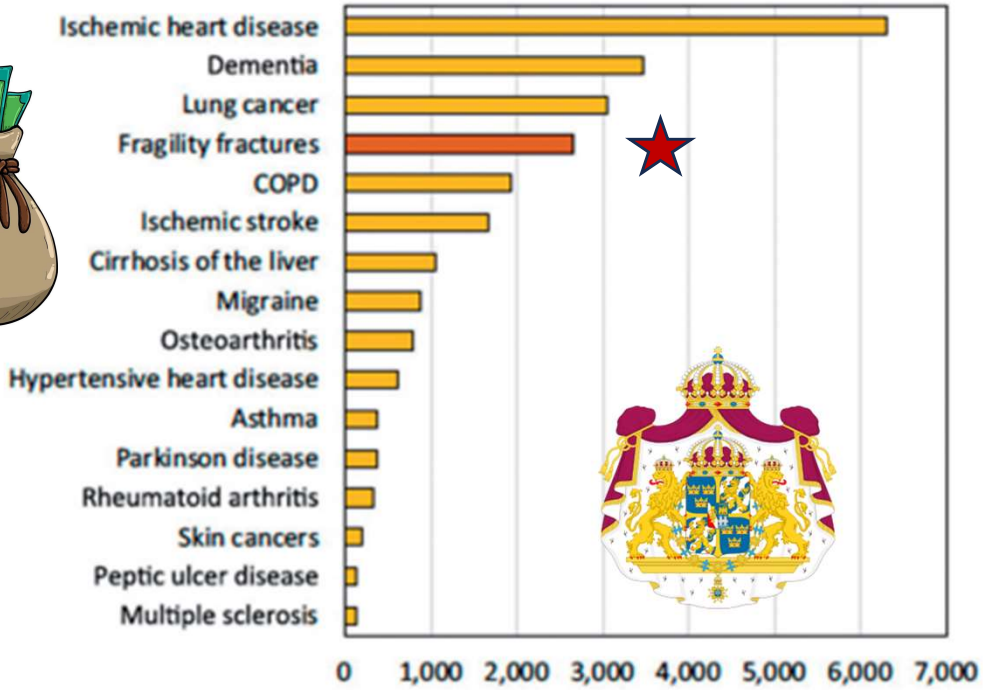
Fracturas por Fragilidad Ósea (especialmente **Columna Vertebral & Cadera):**
suelen provocar a un aumento de la **Morbilidad** & **Mortalidad**

AUMENTO DE COSTOS RELACIONADOS CON FRACTURA OSTEOPORÓTICAS:

2010: 29.600 millones € ⇒ **2017:** 37.500 millones €







EJERCICO FÍSICO & FUERZA MUSCULAR

VS.

ESTRUCTURAS ÓSEAS







Salvo Patologías Asociadas (Genéticas o No),

UN ESTILO DE VIDA SALUDABLE & ACTIVO

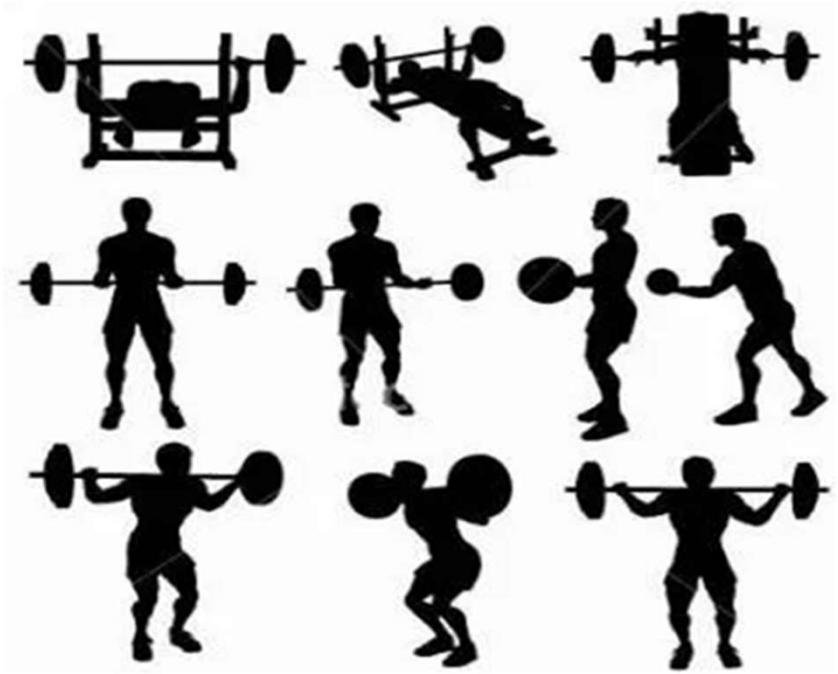
(Alimentación Adecuada, Vida Activa & Ejercicio Físico)

PODRÍAN AMORTIGUAR SIGNIFICATIVAMENTE ESTA SITUACIÓN

SALUD DE ESTRUCTURAS ÓSEAS

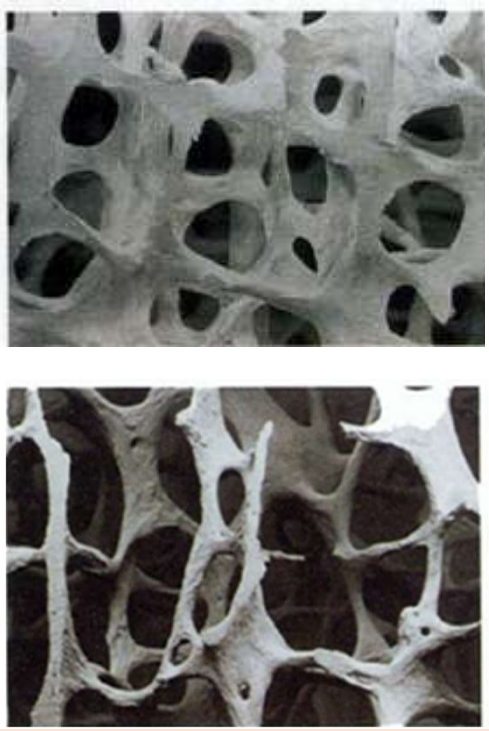
(LUCHANDO CONTRA LA OSTEOPENIA & OSTEOPOROSIS)

SOBRECARGAS



SALTOS





CARGA FÍSICA (ESTRÉS MECÁNICO)

Especialmente aquel que va asociada al **Entrenamiento de Fuerza**, es un factor clave en la formación de **Masa Ósea (BMD & BMC)**, provocando aumentos en su **Fortaleza** (**Resistencia & Rigidez**)

La Masa Ósea disminuye y/o altera negativamente, cuando estos estímulos desaparecen o se reducen significativamente

Grip strength is inversely associated with DNA methylation age acceleration

Peterson, M. D., Collins, S., Meier, H. C., Brahmsteadt, A. & Faul, J. D.

Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle, 14(1), 108-115. 2023.

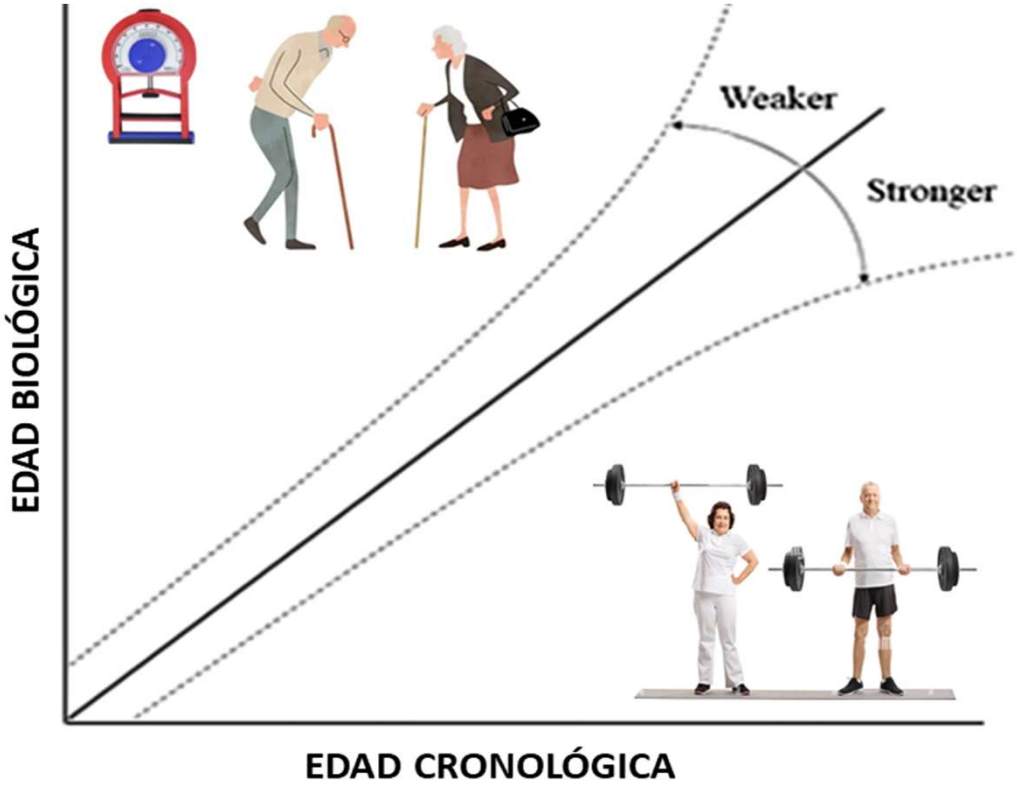
♂ & ♀ Mayores

Tienden a Presentar:

DEBILIDAD MUSCULAR

Indicador asociado a:

ENVEJECIMIENTO BIOLÓGICO ACELERADO



NECESIDAD INDIVIDUAL & INSTITUCIONAL DE FRENAR/DESACELERAR EL:

RELOJ BIOLÓGICO

MANTENER O MEJORAR LA FUERZA MUSCULAR:

- **Influye favorablemente sobre un ENVEJECIMIENTO SALUDABLE**
- **PROTEGE contra un ENVEJECIMIENTO BIOLÓGICO ACELERADO**

Osteopenia y Osteoporosis: Prescripción y planificación de ejercicio físico

Borba-Pinheiro C.J., Gama D., Jofre-Saldía E., Marcos-Pardo P.J. & Gomes de Souza Vale R.

En ***Enfermedades Crónicas y Ejercicio Físico*** **(Guía de la red HEALTHY-AGE).** 2024.

UEPA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ



FRENO ENVEJECIMIENTO ACELERADO:

SÍNDROME DE FRAGILIDAD BIOLÓGICA, RESILIENCIA FÍSICA & PTOFOBIA

PRINCIPALMENTE MAYORES DE AMBOS SEXOS



REDUCE EL RIESGO DE PADECER "SÍNDROME DE FRAGILIDAD BIOLÓGICA" (SFB)

(Pérdida PC no intencional, Debilidad Muscular, Baja Energía, Marcha Lenta & Poca Actividad Física)

Aumento del riesgo de incapacidad, pérdida de la resistencia y mayor vulnerabilidad a eventos adversos manifestada por mayor morbilidad y mortalidad

AUMENTA RESILIENCIA FÍSICA

Mantenimiento o mejora del bienestar y autonomía **tras sufrir trauma físico**, así como la **capacidad de recuperarse de enfermedades o pérdidas funcionales** después de sufrir alguna lesión o padecer un evento potencialmente debilitante



DISMINUYE LA PTOFOBIA

Miedo a permanecer de pie o a deambular

Síndrome Post-Caída desencadenado tras una caída o algún aspecto potencialmente peligroso asociado a este episodio



IMPORTANCIA DEL TRABAJO DE FUERZA

STRENGTH TRAINING:
Get Stronger, Leaner, Healthier
Mayo Clinic Staff



EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA PERMITE:

DESARROLLAR HUESOS FUERTES
Puede aumentar la Densidad Mineral Ósea y reducir el riesgo de Osteoporosis.

CONTROLAR EL PESO CORPORAL
Ayuda controlar PC o adelgazar y aumentar el metabolismo.

1

MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA
Mejora la capacidad para realizar las actividades cotidianas. Protege las articulaciones de sufrir lesiones. Desarrolla la musculatura y contribuye a un mejor equilibrio reduciendo el riesgo de sufrir caídas. Aumenta la independencia/autonomía. Aumenta autoestima.

CONTROLAR ENFERMEDADES CRÓNICAS
Reduce los signos y síntomas de muchas enfermedades, como: artritis, dolor de espalda, obesidad, enfermedades cardíacas, diabetes y depresión.

Agudiza las habilidades de pensamiento (Cognitivas). Entrenamiento de fuerza y ejercicio aeróbico puede mejorar habilidades de pensamiento y aprendizaje en mayores.

IMPORTANCIA DEL TRABAJO DE FUERZA

MAYO CLINIC

STRENGTH TRAINING:
Get Stronger, Leaner, Healthier
Mayo Clinic Staff

2



ENTRENAMIENTO DE FUERZA SE PUEDE REALIZAR EN CASA O GIMNASIO:

LAS OPCIONES DE TRABAJO PUEDEN INCLUIR:

PESO CORPORAL. Puede hacer muchos ejercicios con poco o ningún equipo. Prueba con flexiones, dominadas, planchas, estocadas y sentadillas.

BANDAS ELÁSTICAS. Sus numerosas alternativas permiten disponer de bandas específicas para cada nivel de rendimiento y tipo de ejercicio.

PESAS LIBRES. Barras y Mancuernas son herramientas clásicas de entrenamiento de fuerza. Si no tienes pesas en casa, puedes usar latas, botellas, etc. Otras opciones pueden incluir el uso de balones medicinales o pesas rusas (Kettlebells).

MÁQUINAS DE MUSCULACIÓN. La mayoría de los gimnasios ofrecen varias máquinas de diferente tipo (isoinerciales, isocinéticas, etc.) y para diferentes grupos musculares. También existen máquinas de pesas adaptadas pare el trabajo en casa.

EJERCICIO VS.
METABOLISMO ÓSEO







PRINCIPIO DE INDIVIDUALIDAD EN EL DISEÑO DEL ESTÍMULO MECÁNICO (EJERCICIO)

Activity-induced Musculoskeletal Stress Markers (MSM) and Subsistence Strategy Changes among Ancient Hudson Bay Eskimos

Diane E. Hawkey & Charlee F. Merbs

International Journal of Osteoarchaeology, 5, 324-338. 1998.



MARCADORES DE ESTRÉS OCUPACIONAL

(MARCADORES DE ESTRÉS MÚSCULO- ESQUELÉTICO)

(Hábitos, Posturas, Juegos, Dietas, Entornos, Vibraciones, Patologías, etc.)

FACTORES INTRÍNSECOS & FACTORES EXTRÍNSECOS

Provocan en el Hueso cambios en su:

FORMA

FORMA, TAMAÑO, ESTRUCTURA & COMPOSICIÓN

COMPOSICIÓN

Ganando o Perdiendo Hueso Trabecular y/o Cortical

CANTIDAD, FRECUENCIA Y DIRECCIÓN

en la que la Tensión (Estrés Mecánico) es aplicada contribuye a la manera en que el hueso se modifica

Cinvestav

Overview of traditional and environmental factors related to bone health

Rubio-Gutierrez JC, Mendez P, Guéguen Y, Galichon P, Tamayo M, Haupt K, ... & Barbier OC.
Environmental Science and Pollution Research, 29(21), 31042-31058. 2022.

FACTORES QUE MODIFICAN LA MASA ÓSEA

Medicamentos
Tiroxina,
Tiazidas (Diuréticos)
Coticoesteroides

Edad & Enfermedades Crónicas
Cáncer
Enfermedades Renales

Etnicidad

Genero

Alimentos
Calcio, Fósforo,
Vitamina D, Proteínas &
Minerales

Hormonas
PTH
Calcitonina
Calcitriol
Andrógenos
Estrógenos
Insulina
GH

Estilo de Vida
Actividad Física
Exposición Solar
Obesidad
Tabaquismo
Estatus Económico
Área Demográfica
Rural vs. Urbana

FACTORES AMBIENTALES



FACTORES GENÉTICOS & METABÓLICOS

Molecular
Factores Crecimiento
IGF-I, TGF-β, BMO,
FGF,EGF
Citocinas
IL-1, IL-6, IL-11
MMPs

Contaminantes
Polución del Aire
Tierras Raras
Elementos Traza
Metales Pesados

Bebidas
Gaseosas
Café
Alcohol

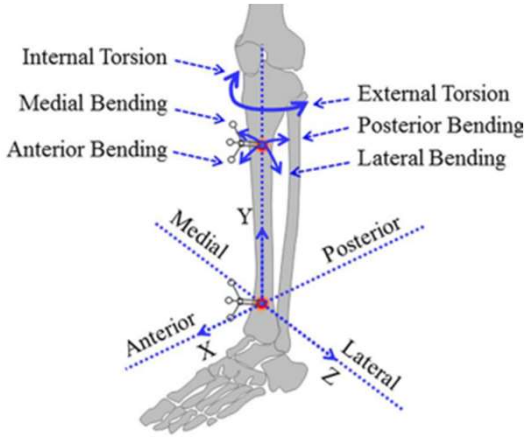
ENFERMEDADES GENÉTICAS
Osteogénesis
Homocistinuria
Síndrome de Marfan

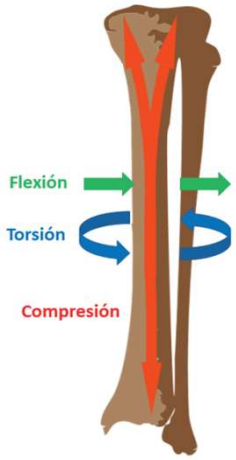
Flechas Azules ⇒ Efectos Positivos - **Flechas Rojas** ⇒ Efectos Negativos

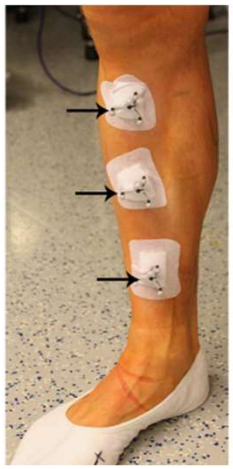
On the relationship between tibia torsional deformation and regional muscle contractions in habitual human exercises in vivo

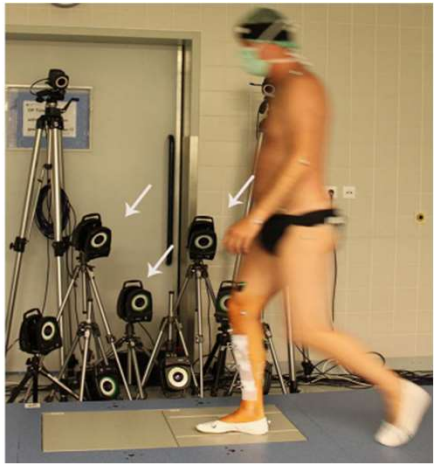
Yang PF, Kriechbaumer A, Albracht K, Sanno M, Ganse B, KoyT, Shang P, Brüggemann GP, Müller LP & Rittweger J.

Journal of Biomechanics, 48(3), 456-464. 2015.









Hueso responde dinámicamente a los estímulos mecánicos a que es sometido (Compresión, Tensión, Flexión, Cizallamiento y Torsión)

Exhibe comportamientos mecánicos y fisiológicos distintos cuando se estimulan sus diferentes ejes ortogonales, ya que difiere estructuralmente en concentración y disposición entre planos longitudinal y transversal

(Hueso se ensancha bajo compresión y se estrecha por extensión)

Resistencia y Rigidez Ósea varían a lo largo del espectro de carga lo que se manifiesta en una Tolerancia Específica a la Carga Mecánica recibida

The Diminishing Returns of Mechanical Loading and Potential Mechanisms that Desensitize Osteocytes

Joseph D. Gardinier

Current Osteoporosis Reports, 19(4), 436-443. 2021.

La Respuesta Anabólica de Estructura Óseas, a las actividades diarias y los episodios repetitivos de carga a los que se ve sometida, se puede ver limitada por mecanismos que desensibilizan sus estructuras y hacen que el hueso no responda a nivel celular

Aunque muchos mecanismos de señalización de osteocitos en respuesta a Cargas Mecánicas se consideran de naturaleza anabólica, varios de ellos también pueden hacer que los osteocitos sean insensibles a estímulos adicionales y, por lo tanto, crear un ciclo de retroalimentación negativa que limita la respuesta general de los osteocitos

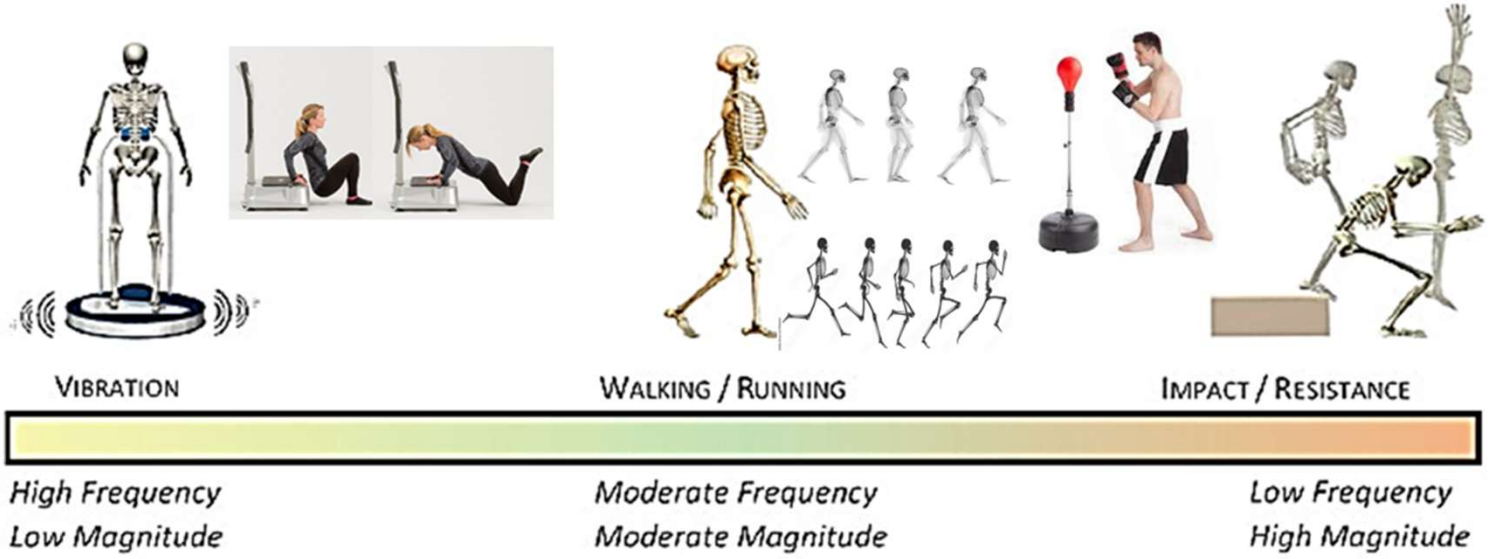
Se requiere Muy Poca Estimulación Mecánica para provocar la Formación Ósea y esta respuesta está mediada por la Sensibilidad de los Osteocitos a las fuerzas a que son sometidos

UTS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, SYDNEY

MECHANICAL BASIS OF BONE STRENGTH:
influence of bone material, bone structure and muscle action

Hart NH, Nimphius S, Rantalainen T, Ireland A, Siafarikas A. & Newton RU.
Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interaction, 17(3), 114-139. 2017.

Relación Osteogénica entre Magnitud & Frecuencia de la Tensión



Si la magnitud de la deformación se encuentra por debajo del:
UMBRAL DE DEFORMACIÓN MÍNIMA EFECTIVA (UDME)
Se produce degradación para eliminar la masa excesiva e innecesaria;

Si la magnitud de deformación supera el UDME, se produce formación ósea para aumentar la Resistencia Ósea añadiendo Masa y aumentando CSA (∅)

Actividades de Baja Magnitud & Baja Frecuencia o de Alta Magnitud & Alta Frecuencia pueden generar mala adaptación por estímulos Insuficientes (Reabsortivos) o Excesivos (Peligrosos)

Mount Sinai Hospital

Effect of whole-body vibration on BMD: a systematic review and meta-analysis

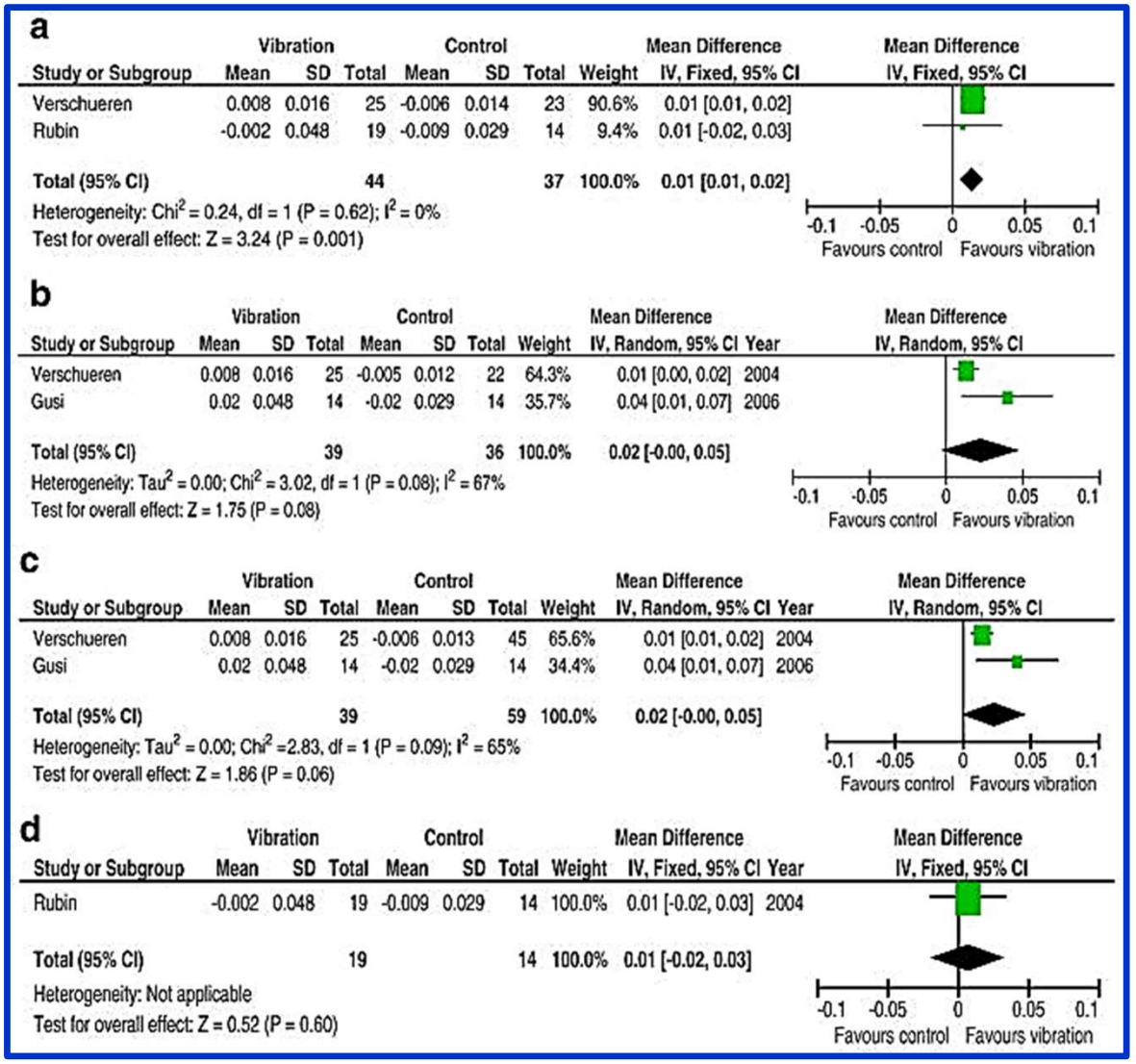
Slatkovska, L., Alibhai, S. M. H., Beyene, J., & Cheung, A. M.

Osteoporosis International, 21, 1969-1980. 2010.

WBV permite provocar mejoras significativas pero pequeñas sobre la Densidad Mineral Ósea (BMD) en la cadera de mujeres posmenopáusicas y mejora moderadas en BMD de Tibia y Columna de niños y adolescentes

Los beneficios sobre BMD de mujeres posmenopáusicas y adultos jóvenes no son tan evidentes





ULPGC

Effects of Whole Body Vibration (WBV) on remodeling processes of bone structures in ederly subjets

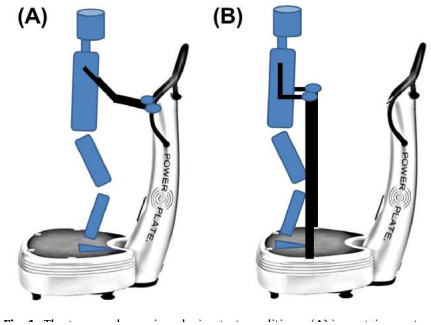
Martín G, De Saa Y, Sarmiento S, García-Manso JM, Da Silva-Grigoletto ME & Rodríguez D.

II Congreso Internacional de Ciencias del Deporte de la UCAM
Cultura, Ciencia y Deporte (CCD) Suplemento 23. Volumen 5- 2010.

Programas de Entrenamiento de Baja Intensidad con WBV (24 sesiones, 3 días/Semana), en sujetos de Edad Avanzada, generan una respuesta endocrina sobre la PTH que resulta favorable a los procesos de construcción ósea

MUESTRA: 16 ♀

(**Edad**: 69,6±4 años; **Altura**: 156,2±4,4 cm; **IMC:** 28,3±2,0 kg/m)



Group	Mean (±SD) Pre	Post	E. S.	Reference
PTH				
EG	36.51 (±10.25)	52.68 (±15.54)*,**	1.58	0-68.2pg/ml
CG	39.02 (±11.13)	45.79 (±12.11)	0.61	
Calcium				
EG	9.77 (±0.39)	9.72 (±0.38)	−0.13	8.2-10.5mg/dl
CG	9.66 (±0.30)	9.61 (±0.33)	−0.17	
Phosphate				
EG	4.04 (±0.38)	3.87 (±0.31)	0.45	2.7-4.5mg/dl
CG	3.72 (±0.34)	3.89 (±0.26)	0.50	
β-crosslap				
EG	0.31 (±0.15)	0.39 (±0.14)	0.53	0,104-1,008
CG	0.36 (±0.14)	0.38 (±0.17)	0.14	ng/dl



Mechanical signals as anabolic agents in bone

Ozcivici E, Luu YK, Adler B, Qin Y-X, Rubin J, Judex S & Rubin CT

Nature Reviews Rheumatology, 6(1), 50-59. 2010.



Cada Tipo de Estímulo

Genera Respuestas Diferentes & Específicas:

(Conservantes, Anabólicas o Catabólicas)

Dependen del Tipo de Deformación, Sesión y/o Historial de Deformación Acumulado

LIMITE DE RESPUESTA ADAPTATIVA

La desensibilización del hueso al estímulo anabólico está regida por la:

LEY DE RENDIMIENTOS DECRECIENTES

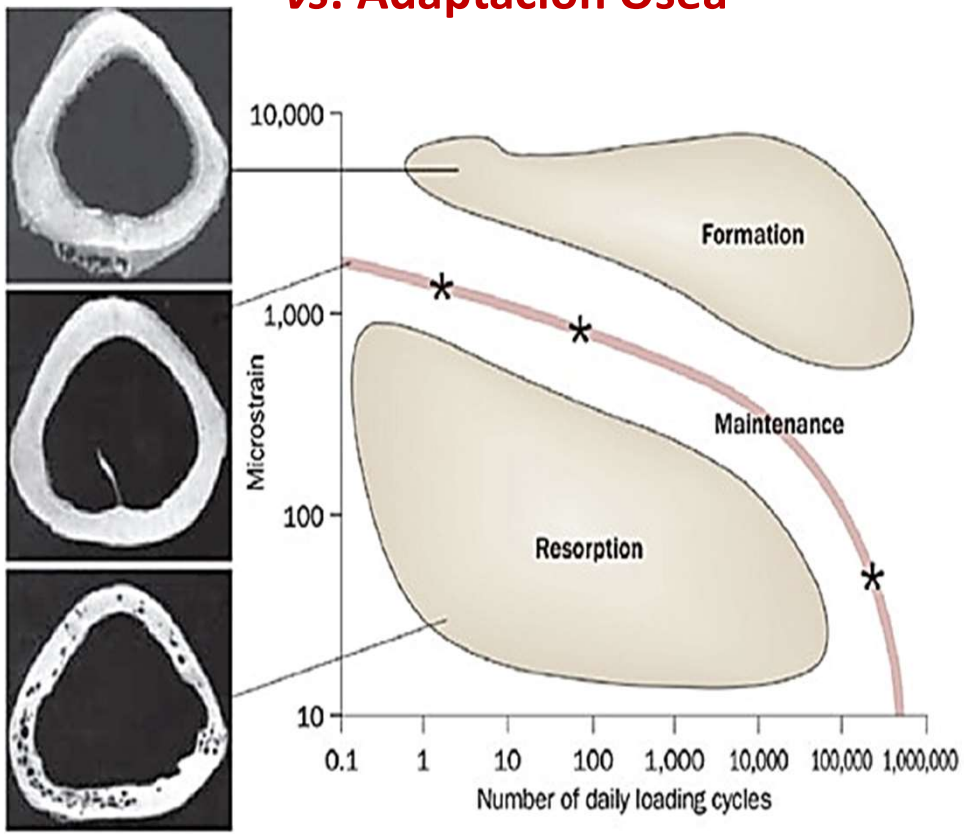
Bastan cantidades notablemente pequeñas de Estimulación Mecánica de estímulos UDME, para promover OSTEOGÉNESIS antes de que se produzca una rápida reducción en la capacidad de respuesta celular

Relación entre

Ciclos de Carga/Día

(magnitud, velocidad y frecuencia)

***vs*. Adaptación Ósea**



INDIANA UNIVERSITY
SCHOOL OF MEDICINE

Effects of biomechanical stress on bones in animals

Burr D, Robling AG. & Turner CH.

Bone, 30(5),781-786. 2002.

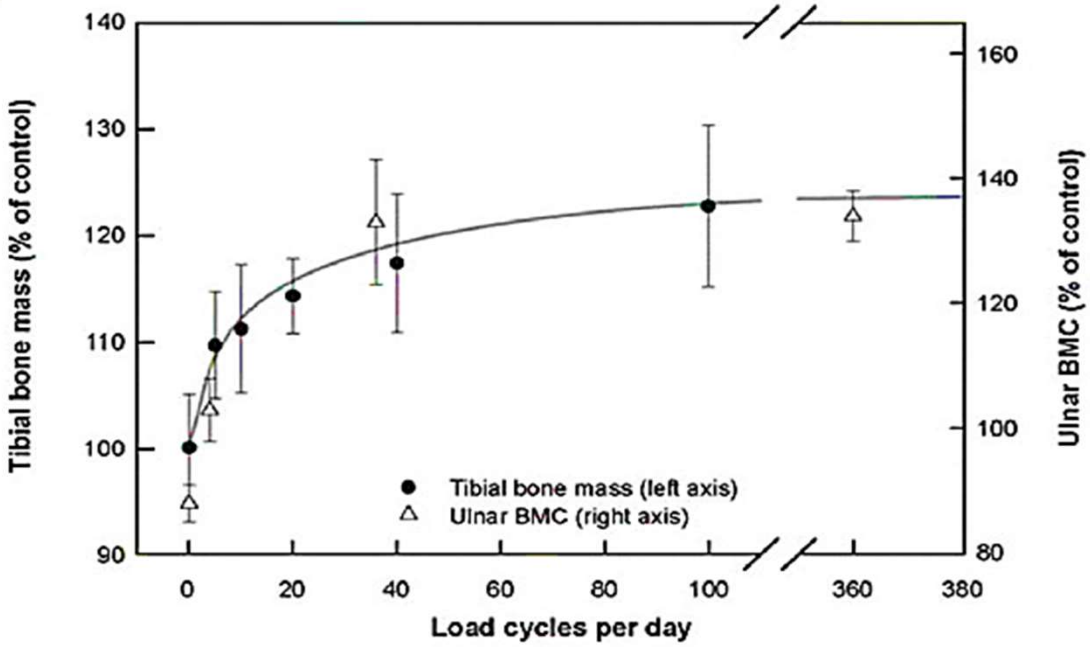
ENTRENAMIENTOS CORTOS E INTENSOS

EFECTO ANABÓLICO DE LA CARGA MECÁNICA

se satura a medida que aumenta el número de ciclos de carga

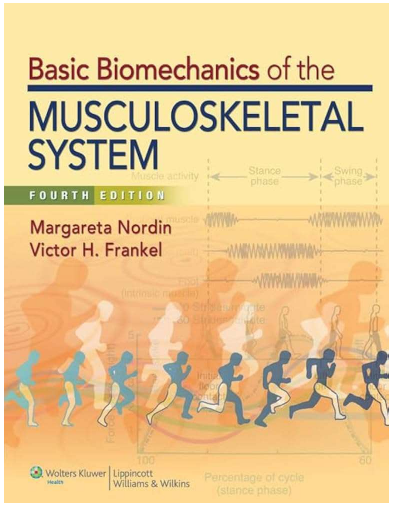
Beneficio limitado por encima de

≈40-60 Ciclos/Día



Entrenamientos cortos, con descanso de 4 a 8 horas, son un ESTÍMULO OSTEOGÉNICO más eficaz que una única sesión prolongada de entrenamiento

Las actividades con TASAS DE CARGA ELEVADAS son más eficaces para aumentar la formación ósea, incluso cuando la duración de la actividad sea corta





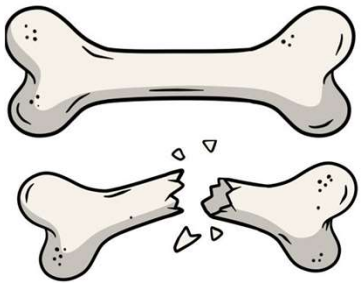


Basic biomechanics of the musculoskeletal system

Margareta Nordin & Victor H. Frankel

Lippincott Williams & Wilkins. 2020.







RELACIÓN ENTRE
Carga y Volumen (Repeticiones) de Trabajo
& Aparición de Lesiones Óseas

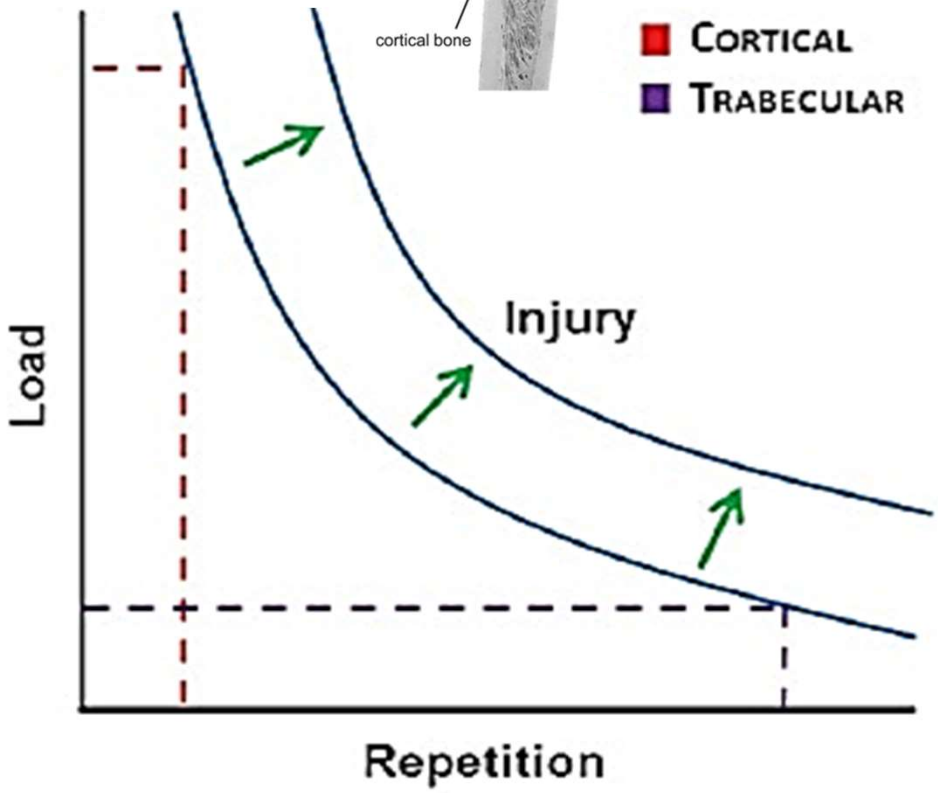
Hueso Cortical (Rojo) ⇒ Intensidad

Hueso Trabecular (Morado) ⇒ Volumen

¡¡ PERO TAMBIÉN !!

TRABAJO EXTENSIVO, elevado número de repeticiones de intensidad baja a moderada,
Estimula mejor las TRABÉCULAS

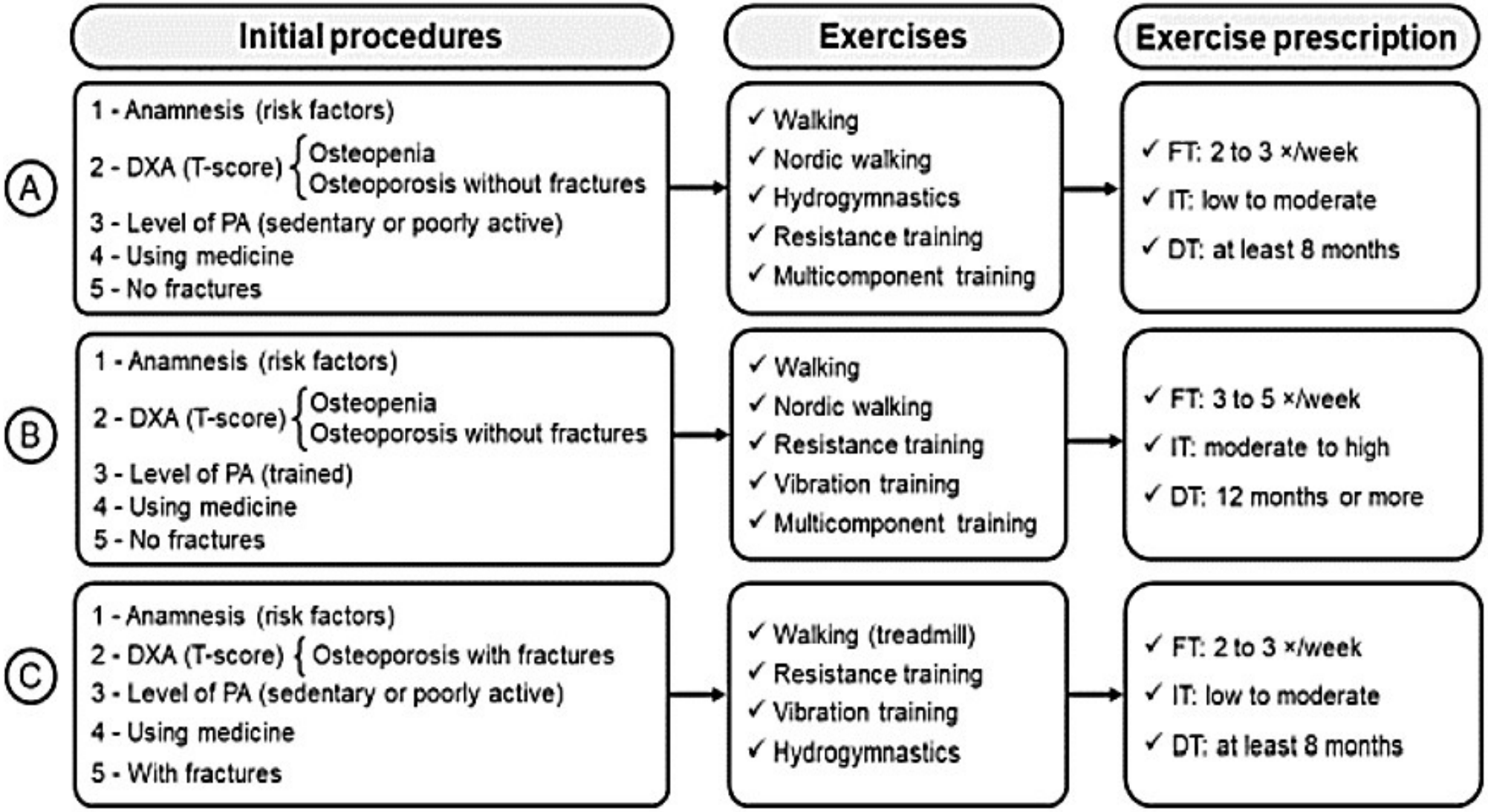
TRABAJO INTENSIVO, más intensidad y menos repeticiones,
Estimula más la parte CORTICAL



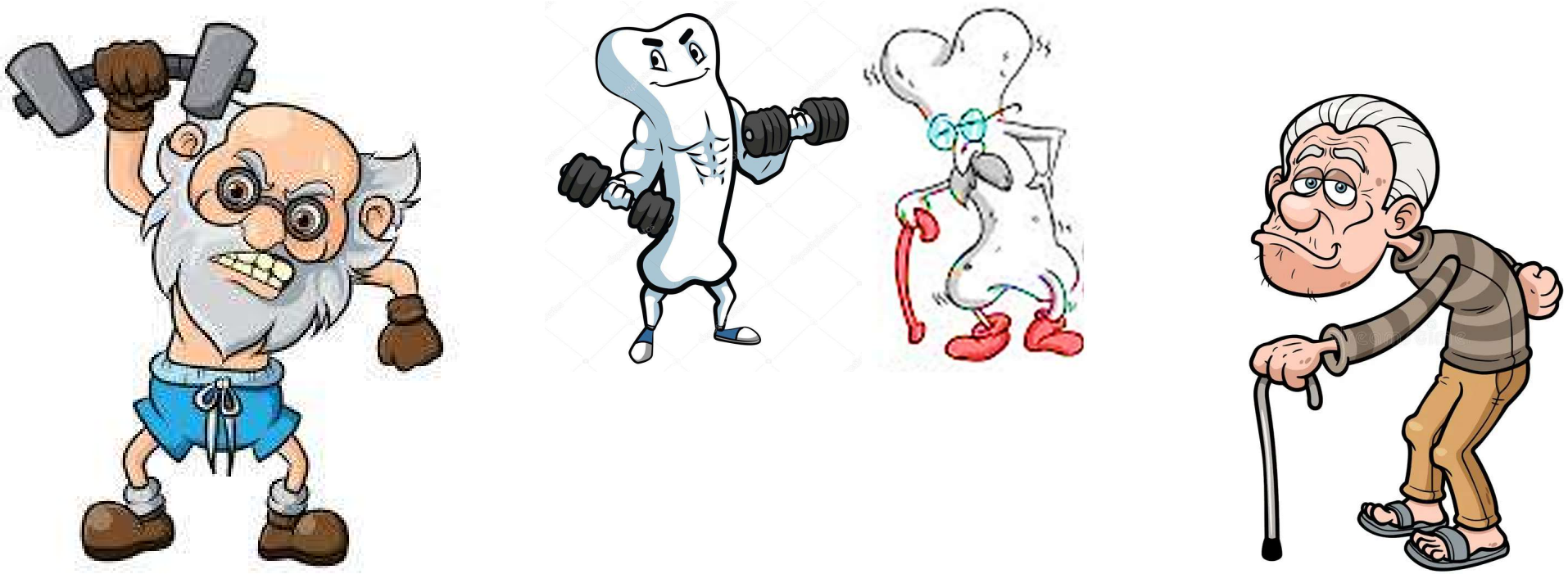
Prescrição de exercício físico para mulheres na pós-menopausa com osteopenia ou osteoporose com base em revisão sistemática de ensaios clínicos randomizados

Borba-Pinheiro C.J., Gama D., Lima dos Santos L., Pereira Salustiano C., Almeida Figueiredo N.M., Jofré-Saldía E., Oliveira Barros dos Santos A., Brandão Pinto de Castro J., & Gomes de Souza, R.

Retos, 52, 647–656. 2024.



RESPUESTA ADAPTATIVA DE ESTRUCTURAS ÓSEAS A CARGAS MECÁNICAS



CONFIGURACIÓN DE ESTRUCTURAS ÓSEAS

WILHELM ROUX

(1850-1924)

Científico alemán fundador de la *"Embriología Experimental"*



Der zuchtende Kampf der Teile, oder die "Teilauslese" im Organismus

Wilhelm Roux

Wilhelm Engelmann, Leipzig. 1881.

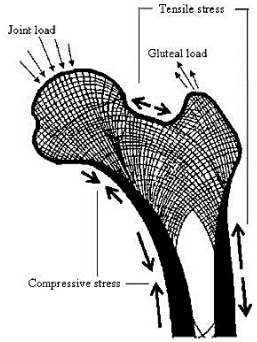


Wilhelm Roux, junto al médico germano-estadounidense,

LEO LOEB (1869-1959)

Desarrollaron el constructo:

"ADAPTACIÓN FUNCIONAL ÓSEA"



Proceso vinculado al concepto de

"MECÁNICA DEL DESARROLLO"

Proceso autoorganizativo que explica las causas del desarrollo individual

Postula que los procesos de adaptación de las diferentes estructuras del organismo responde a las funciones y necesidades específicas de cada uno de ellos

(Habilidades o Capacidades que permiten a las personas cumplir los estándares de autonomía y responsabilidad personal esperadas para su edad y grupo social)

El Tejido Óseo, y particularmente el Tejido Óseo Trabecular, responde a Estímulos Mecánicos modelando su arquitectura

CONFIGURACIÓN & COMPOSICIÓN DE ESTRUCTURAS ÓSEAS

MORFOGÉNESIS

D'ARCY W. THOMPSON (1860-1948)

LEY DE WOLFF

JULIUS WOLFF (1836-1902)



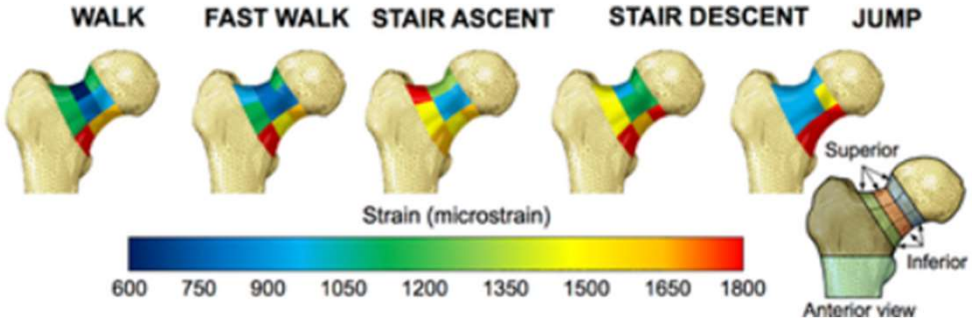
TEORÍA MECANOSTATO

HAROLD M. FROST (1921-2004)

Estímulos Mecánicos ⇒ Vienen condicionados por los Regímenes de Trabajo

Estos deben ser diseñados adecuadamente para mejorar la salud ósea como resultado de las respuestas musculares que estos estímulos provocan

Al considerar diferentes tipos y formas de ejercicio, descubrimos que las respuestas mecánicas del hueso a las fuerzas musculoesqueléticas son específicas





LEY DE WOLFF

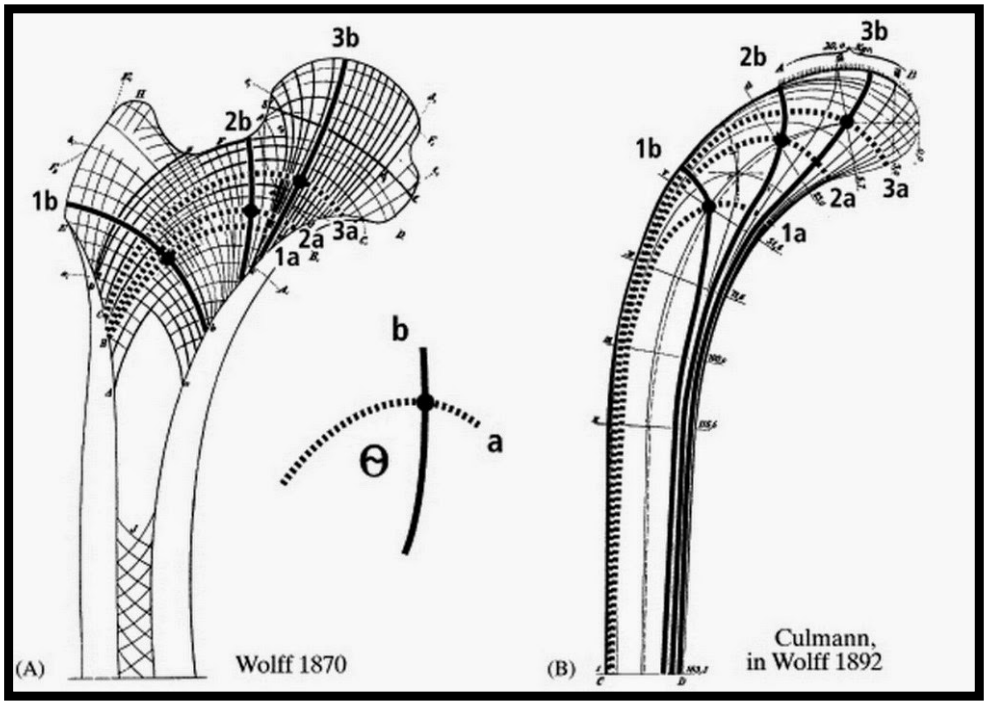
ADAPTACIÓN FUNCIONAL DEL HUESO (1870)

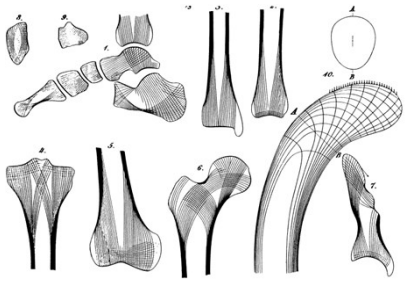
JULIUS WOLFF (1836 – 1902)

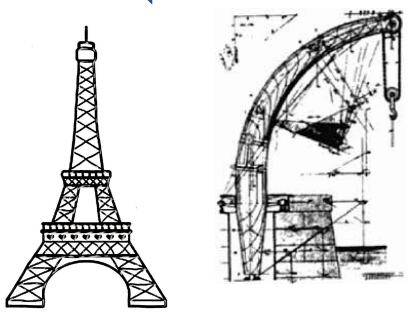
La forma y configuración de los huesos (en crecimiento o adultos), depende del estrés y las tensiones a los que están sometidos alterando las líneas de tensión y su forma

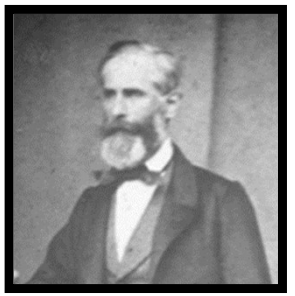
Las trabéculas se orientan, condensan y refuerzan según: Intensidad y Dirección de las Cargas a las que están sometidas

Anisotropia Ósea









GEORG HERMANN VON MEYER

(1815-1892)

Anatomista

***"Die Architektur der Spongiosa"* (1867)**

Sociedad de Ciencias Naturales

(Zúrich 1866)

KARL CULMANN

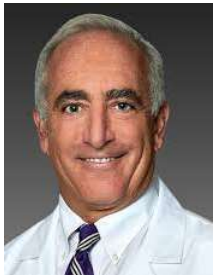
(1821 - 1881)

Ingeniero Estructural Matemático





Biographical Sketch:
Georg Hermann von Meyer (1815–1892)
John G. Skedros & Richard A. Brand
Clinical Orthopaedics and Related Research, 469(11), 3072–3076. 2011.



Interacciones entre **von Meyer** & **Karl Culmann** en la década de 1860

Los artículos publicados sobre esta relación llamaron la atención de Julius Wolff y estimularon su desarrollo de la hipótesis de la adaptación ósea

"LEY DE WOLFF"

- **George Hermann von Meyer (1867):** destaca la regularidad de los patrones trabeculares arqueados en varios huesos humanos.

Die Architectur der Spongiosa
Reichert und Du Bois-Reymond's Archiv., 8, 615–628. 1867.

Sus debates con **Karl Culmann** sobre su posible relevancia mecánica, fueron claves en la **Ley de Wolff**

JULIUS WOLFF (1869)

Plantea por primera vez la correspondencia existente entre las trayectorias de tensión de una estructura sólida similar a una grúa, con los patrones trabeculares arqueados que se observan en el fémur humano proximal.

Ueber die Bedeutung der Architectur der spongiösen Substanz für die Frage vom Knochenwachsthum
Zentralblatt fur die medicinischen Wissenschaften. 6, 223-234. 1869.



JULIUS WOLFF
(1836-1902)

Anatomista y Cirujano alemán

Das gesetz der transformation der knochen
Julius Wolff
DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift, 19(47), 1222-1224. 1893.

Describió como influyen las Cargas Mecánicas sobre el Tejido Óseo
Propuso que el Tejido Óseo, en un organismo sano, tiene la capacidad de ajustarse en respuesta a las Cargas Mecánicas a las que se le somete, provocando los siguientes comportamientos:

- **HIPERTROFIA: en la zona de aplicación de cargas elevadas y**
- **REABSORCIÓN: en la zona donde las cargas son mínimas o desaparecen**

En estos procesos, la arquitectura interna de las trabéculas sufre cambios adaptativos, seguidos de cambios secundarios en la porción cortical externa del hueso

La REMODELACIÓN DEL HUESO en respuesta a la carga, se logra mediante la

MECANOTRANSDUCCIÓN

Proceso a través del cual las fuerzas u otras Señales Mecánicas se convierten en Señales Bioquímicas (Electro-Química) durante el proceso de señalización celular



Mechanotransduction gone awry

Diana E. Jaalouk & Jan Lammerding

Nature Reviews Molecular Cell Biology, 10(1), 63-73. 2009.

1866 AUB American University of Beirut الجامعة الأميركية في بيروت

En Biología Celular, la MECANOTRANSDUCCIÓN representa los diversos mecanismos por los cuales, las células convierten un

Estímulo Mecánico ⇒ Actividad Electroquímica ⇒ Respuesta Estructural

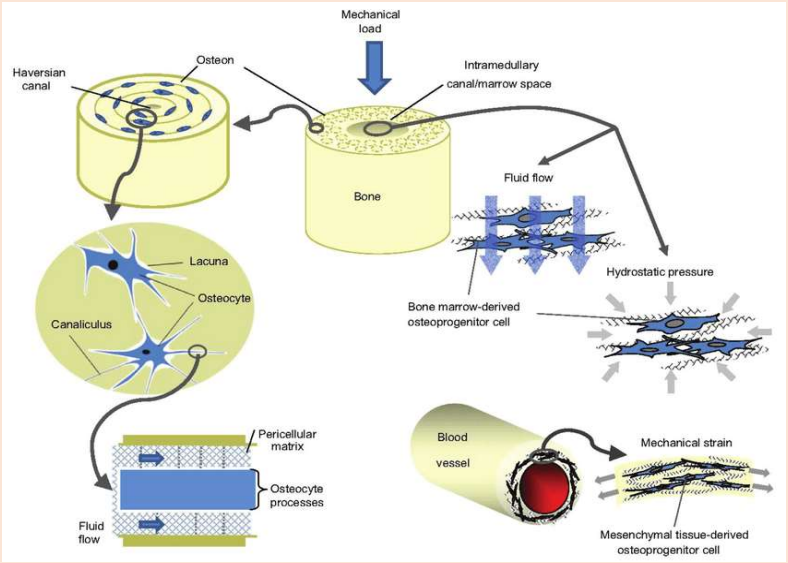
Este mecanismo modula funciones celulares tan diversas como:

Migración, Proliferación, Diferenciación & Apoptosis Celular

MECANOTRANSDUCCIÓN que conduce a la REMODELACIÓN ÓSEA

Implica los siguientes mecanismos:

- **Acoplamiento Mecánico;**
- **Acoplamiento Bioquímico;**
- **Transmisión de Señales:**
  - **Eléctricas & Químicas.**
- **Respuesta Celular.**

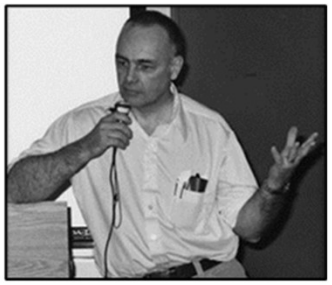


PURDUE UNIVERSITY

Bone «*mass*» and the «*mechanostat*»: A proposal

Harold M. Frost

Anatomical Record, 219 (1), 1-9. 1987.



Harold M. Frost (1921-2004)

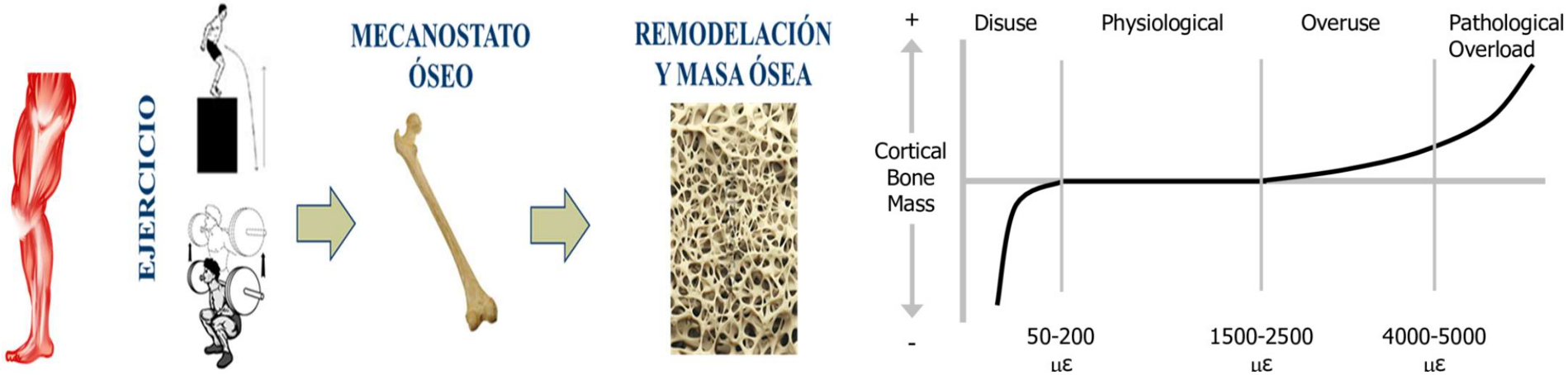
TEORÍA DEL MECANOSTATO (1964)
(MECANOSTATO ÓSEO DE FROST)

Describe el Hueso, y sus componentes, como un:

SISTEMA CONTROLADO DE RETROALIMENTACIÓN MECÁNICA

que adapta la eficiencia mecánica de sus estructuras a la magnitud y tipo de tensiones a los que es sometido (Tracción, Compresión, Flexión y Torsión), activando y regulando los procesos de:

REABSORCIÓN, FORMACIÓN, MINERALIZACIÓN & REMODELACIÓN ÓSEA

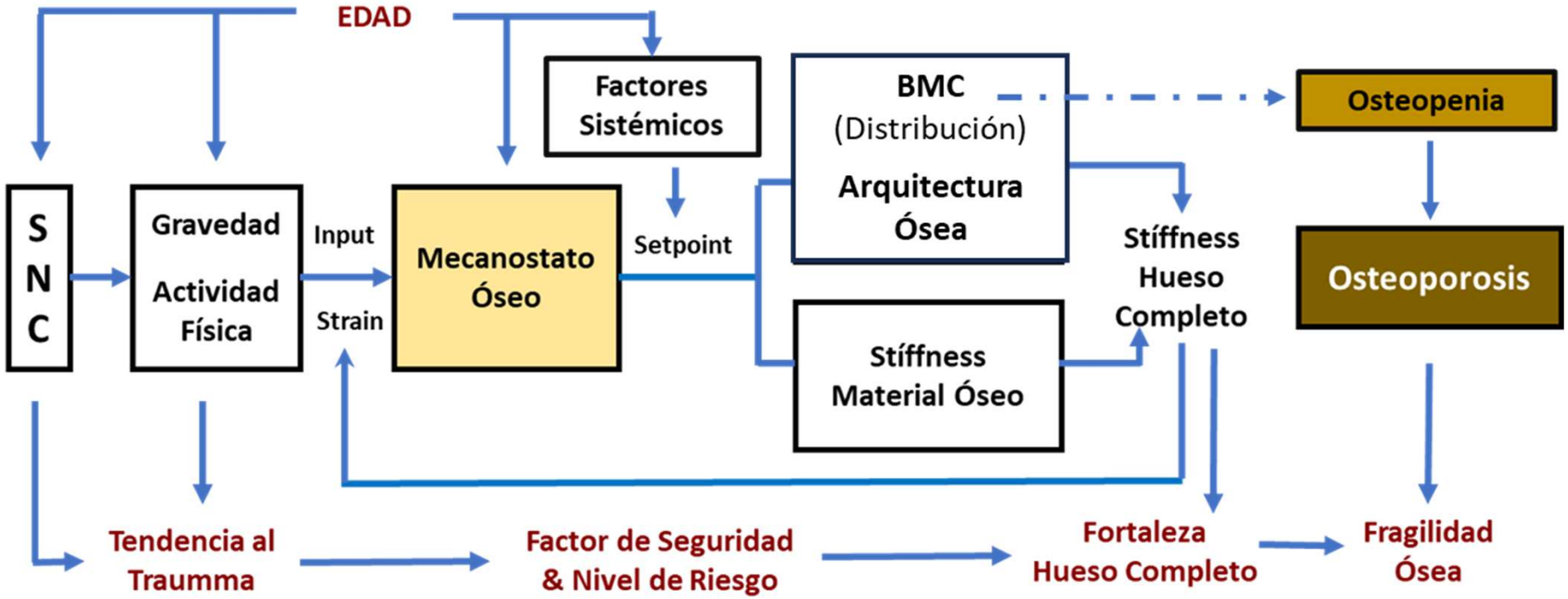


The mechanostat:
a proposed pathogenetic mechanism of osteoporoses and the bone mass effects of mechanical and nonmechanical agents

Harold M. Frost

Bone Mineral, 1, 73-85. 1987.

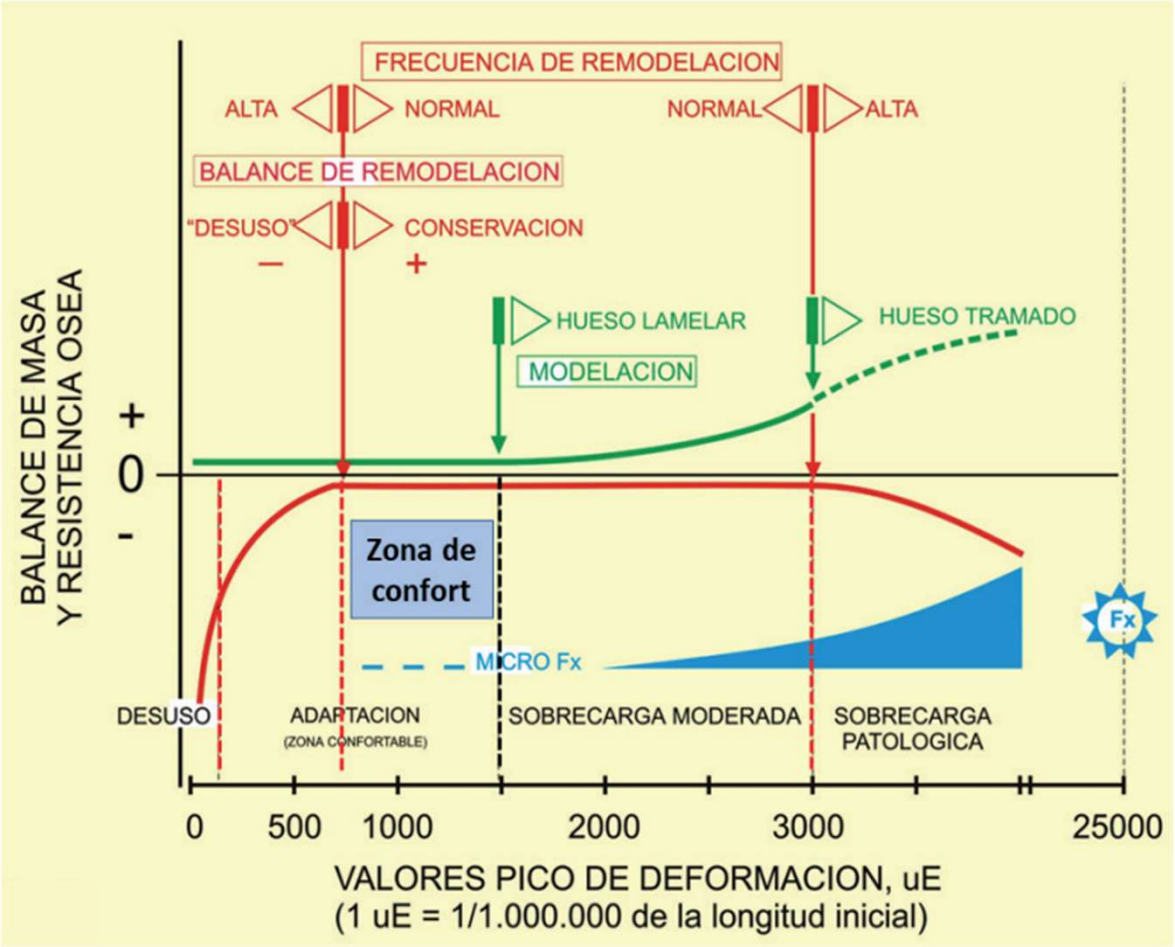
Representación esquemática del control direccional y de retroalimentación de
La **Rigidez Ósea Local** por acción del **"MECANOSTATO ÓSEO"** &
La **Regulación Metabólica-Endocrina Sistémica** del metabolismo mineral



HUESO, HUESOS
DEL BIG-BANG A LA OSTEOPOROSIS

José L. Ferretti, Gustavo R. Cointry & Ricardo F. Capozza
Fundación de Investigaciones Metabólicas (FIM).
Buenos Aires (Argentina). 2023.

Balance de Masa o Resistencia Ósea resultante de la Modelación o Remodelación inducida por:
Respuestas Celulares Óseas *vs*. Estímulos Mecánicos



VENTANA DE DESUSO:
<700 microstrains (0.07% deformación), y muy críticamente a <100 (0.01% de deformación)

Deformaciones "demasiado bajas" activan la autodestrucción ósea por desuso

VENTANA DE CONFORT O ADAPTACIÓN:
Entre 700 y 1.500-2.000 microstrains (0.07 a 0.15-0.20% de deformación)

No inducen mecanismos de formación o destrucción ósea, manteniendo osteocitos, osteoblastos y osteoclastos en reposo.

VENTANA DE SOBREUSO MODERADO:
>1.500-2.000 hasta 3.000 microstrains (0.15-0.20% a 0.30% de deformación)

Las deformaciones se detectan como señales "demasiado altas" (sobreuso) y determinan la activación de modelación ósea

VENTANA DE SOBREUSO EXCESIVO:
>3.000 microstrains (0.30% de deformación).

Las deformaciones estimulan la formación de un modo acelerado y excesivo, que puede resultar peligroso (Microdaño)

Université de Strasbourg

Mechanical control of tissue shape: Cell-extrinsic and-intrinsic mechanisms join forces to regulate morphogenesis

Hélène Vignes, Christina Vagena-Pantoula & Julien Vermot

En **Seminars in Cell & Developmental Biology**

(Vol. 130, pp. 45-55). Academic Press. 2022.

MORFOGÉNESIS

(GENERACIÓN DE LA FORMA)

Proceso Biológico que lleva a que un organismo tenga una Forma & Tamaño determinado, en Respuesta a las Demandas Mecánicas a que es sometido y a los procesos Bioquímicos que se generan en su interior para mantener funcionalmente operativos y eficiente todos los componentes de sus estructuras

Los Estímulos Mecánicos, además de actuar físicamente, también se traducen en señales Bioquímicas (*MECANOTRANSDUCCIÓN*), activando Múltiples Vías Mecanosensibles que definen los comportamientos celulares

MECANOTAXIS

(TENSOTAXIS O MECANOTÀXIA)

Motilidad Celular provocada por Señales Mecánicas que Participan en los procesos de Configuración y Composición de los Tejidos

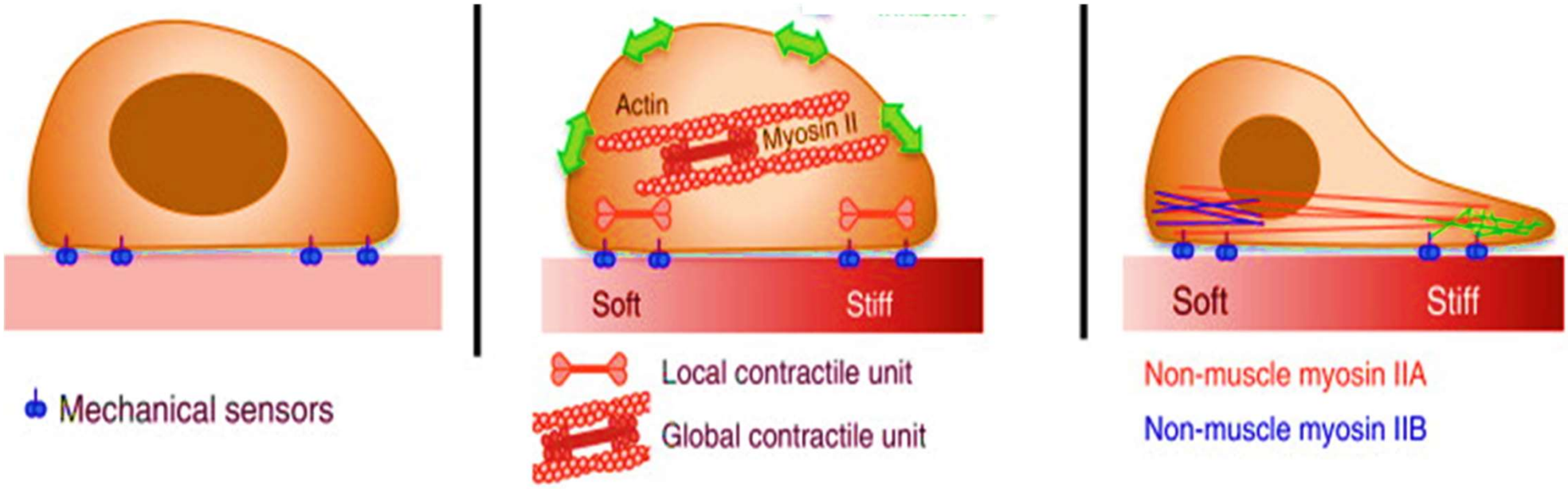
The role of the dynamics of focal adhesion kinase in the mechanotaxis of endothelial cells

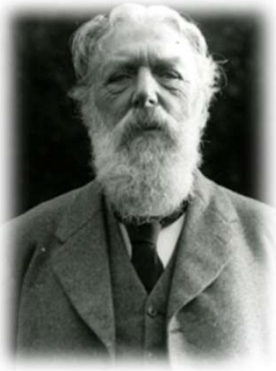
Li S., Butler P., Wang Y., Hu Y., Han D. C., Usami S., ... & Chien S.

Proceedings of the National Academy of Sciences, 99 (6), 3546–3551. 2002.

MECANOTAXIS

Se refiere al movimiento dirigido de la motilidad celular a través de Señales Mecánicas





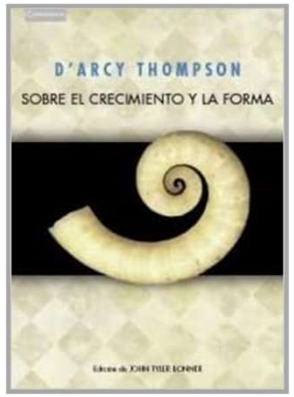
D'ARCY WENTWORTH THOMPSON GAMGEE

(1860 - 1948)

"**Primer Biomatemático**"

"SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA FORMA" (1917)

"Una Explicación Científica de la Morfogénesis"

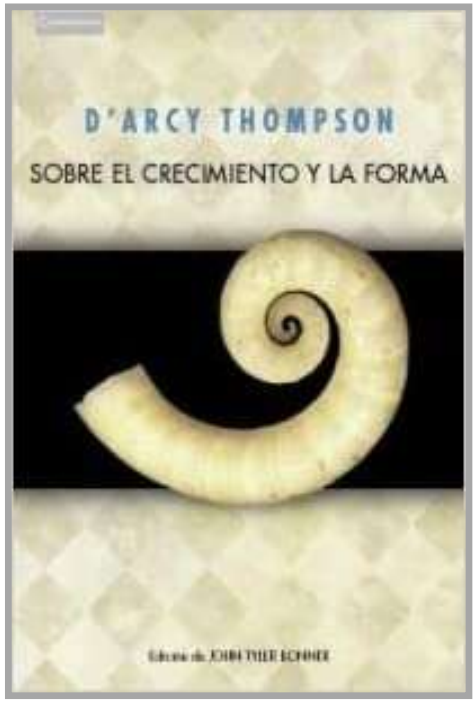


"Un organismo es una cosa tan compleja, y el crecimiento es un fenómeno tan sensible, que cualquier estímulo que actúe sobre él provocará que el crecimiento no sea uniforme ni constante en todas las partes como para permitir mantener inalterada la forma de sus estructuras"

"Las tasas de crecimiento varían, las proporciones cambian y, en consecuencia, toda la configuración de ese organismo o estructura se modificará"

LAS TENSIONES DEFINEN EL TAMAÑO Y LA FORMA DE LOS SERES VIVOS

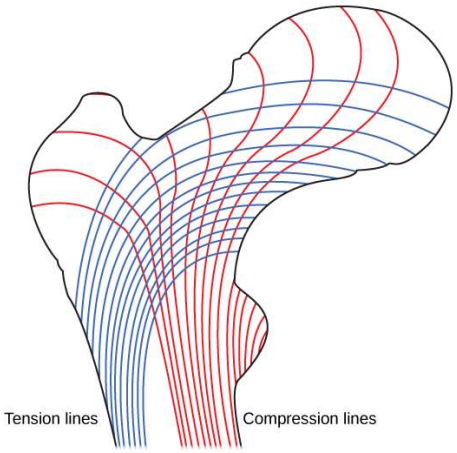
Las fuerzas que actúan sobre las células modelan su forma y también remodelan la configuración de cada tejido u organismo al que pertenecen

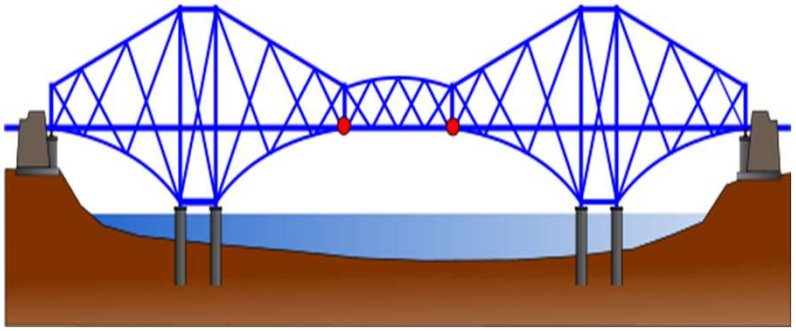


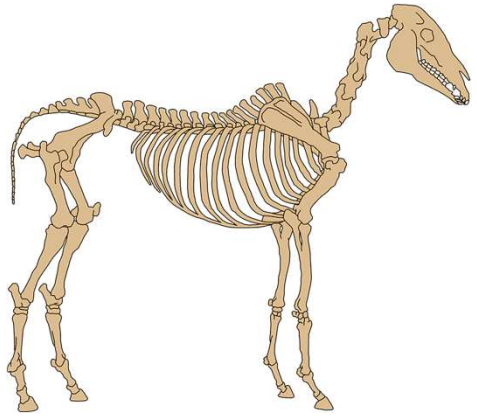
D'ARCY WENTWORTH THOMPSON GAMGEE
(1860-1948)
"SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA FORMA"

Ilustró la estructura "***esponjosa***" del Fémur humano con trabéculas delgadas que formaban "***un diagrama de líneas de tensión ….. dentro de la estructura cargada***".

Comparaba La **Columna Vertebral de un cuadrúpedo** con la estructura de un "**Puente Tipo Ménsula"** o "**cantílever"** donde una o más vigas principales actúan como ménsula, o voladizo, sujetas por columnas y tensores.







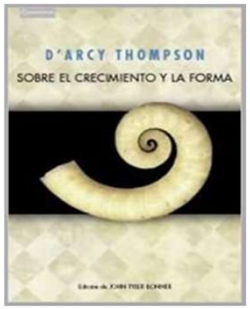
Quebec (1971) 548,64 m; Forth Escocia (1890) 521,21 m ; Minato Ohashi (1974) 509,93 m; Commodore Barry (1974) 501,09 m; Crescent City Connection 480,06 m; Howrah India (1943) 457,20 m; Gramercy, Veterans Memorial Bridge 445,01 m; Tokyo Gate (2012) 440 m; J. C. Van Horne Bridge (1961) 380 m; Bahía de San Francisco-Oakland 426,72 m



"SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA FORMA" (1917)

D'arcy Wentworth Thompson Gamgee

Cambridge University Press



La obra de **Thompson**, abrió el camino a la explicación científica de la morfogénesis, proceso por el cual se forman patrones y estructuras corporales en plantas y animales

El libro, plantea que los Biólogos de la época enfatizaban demasiado en la evolución como el determinante fundamental de la forma y la estructura de los organismos vivos, subestimando el papel de las Leyes de la Física y la Mecánica

Sobre el concepto **Alometría**, estudio de la relación entre Tamaño y Forma del Cuerpo, Thompson escribió:

Un organismo es algo tan complejo, y el crecimiento un fenómeno tan sensible, que para que se diera el caso de un crecimiento uniforme y constante en todas las partes manteniendo la forma general inalterada, las circunstancias deberían ser muy específicas, poco probables y casis seguro inusuales

LAS TASAS DE CRECIMIENTO VARÍAN, LAS PROPORCIONES CAMBIAN Y LA CONFIGURACIÓN DEL ORGANISMO SIEMPRE SE ALTERA

MORFOGÉNESIS
(GENERACIÓN DE LA FORMA)

D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948)



Alan Mathison Turing (1912-1954)



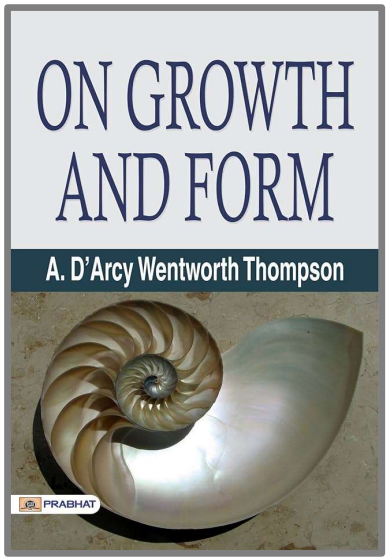
THOMPSON

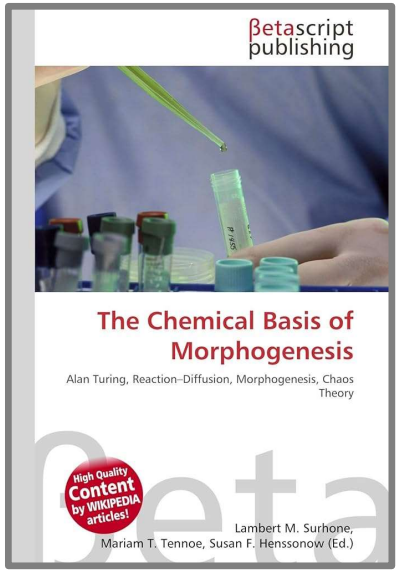
Explicó que las formas corporales se crean mediante tasas de crecimiento variables en diferentes direcciones

TURING

Predijo un mecanismo de morfogénesis por el que la difusión de dos señales químicas, una de activación y otra de desactivación del crecimiento, determinan los patrones de desarrollo del organismo

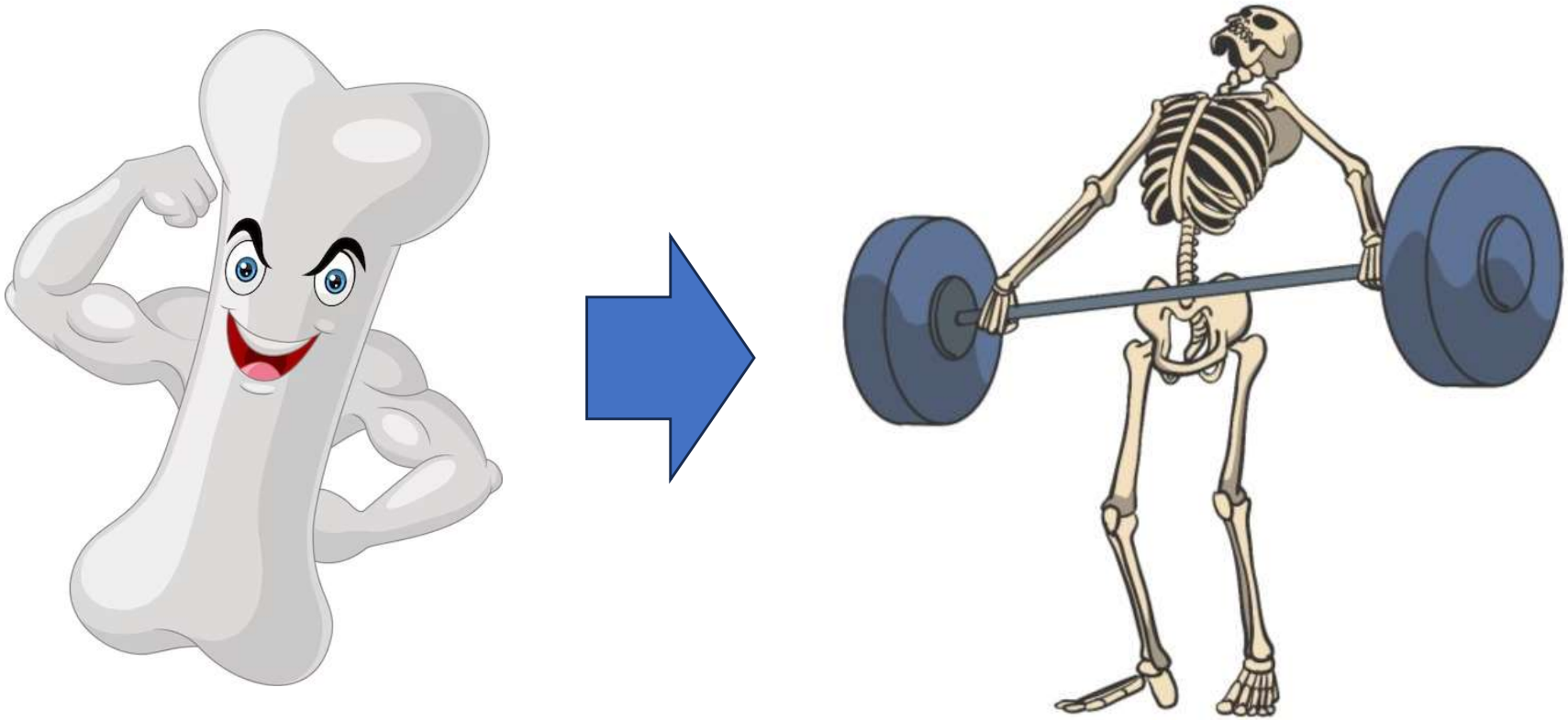
"On Growth and Form" (1917)



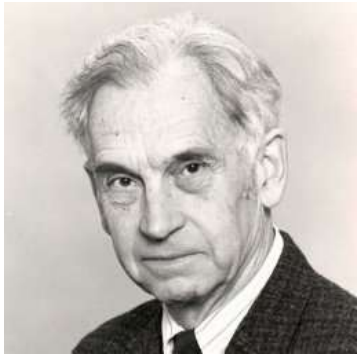


"The Chemical Basis of Morphogenesis" (1952)

RESISTENCIA DE LAS ESTRUCTURAS ÓSEAS EN RESPUESTA AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA



RIGIDEZ, TENACIDAD & RESISTENCIA ESTRUCTURAL



ESPECIACIÓN Y MACROEVOLUCIÓN

Ernst Mayr (1904-2005)

Evolution, 36, 1119-1132. 1982

HARVARD UNIVERSITY

LOS HUESOS SE DESARROLLAN COMO:

ESTRUCTURAS RESISTIVAS ANISOTRÓPICAS

(Es decir, estructuras que no se comportan igual en todas las direcciones)

(Muestran propiedades físicas distintas según la dirección e intensidad en que se activen)

Esta propiedad ha sido clave en la evolución, y permitió a los vertebrados acuáticos (los primeros que existieron) salir del agua y adaptarse mecánicamente a reptar, caminar, correr, saltar, trepar, cavar cuevas, nadar sin ser peces, y pararse en dos patas

Cargas Mecánicas a que se someten las diferentes **Estructuras Óseas** provocan la:

ANISOTROPÍA MECÁNICA DE LA ESTRUCTURA ÓSEA

Esto contribuye a determinar las características y el nivel de las PROPIEDADES ESPECÍFICAS LOCALES que posea el TEJIDO MINERALIZADO:

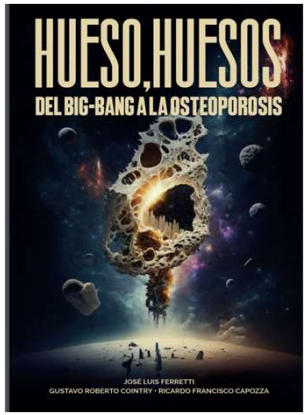
RESISTENCIA ESTRUCTURAL (ROBUSTEZ):

RIGIDEZ & TENACIDAD

HUESO, HUESOS DEL BIG BANG A LA OSTEOPOROSIS

José L. Ferretti, Gustavo R. Cointry & Ricardo F. Capozza

Fundación de Investigaciones Metabólicas (FIM). Buenos Aires (Argentina). 2023.



RESISTENCIA ESTRUCTURAL (ROBUSTEZ)

Condición "integral" del hueso de resistirse a su separación en diferentes fragmentos o de resistirse a su rotura

Factores Determinantes son la Resultante de combinar:

RIGIDEZ & TENACIDAD ESTRUCTURAL

(Factores excluyentes de Fragilidad Ósea)

FRACTURAS ÓSEAS

La FRACTURA se produce en el punto de la estructura en el que su RIGIDEZ resulte incapaz de evitar una DEFORMACIÓN suficiente como para que la energía liberada en el proceso supere la capacidad del tejido para oponerse a la separación de sus elementos (TENACIDAD)

Punto de Fractura ⇒ Yield Point

Activity-induced Musculoskeletal Stress Markers (MSM) and Subsistence Strategy Changes among Ancient Hudson Bay Eskimos

Diane E. Hawkey & Charlee F. Merbs

International Journal of Osteoarchaeology, 5, 324-338. 1998.

RESISTENCIA ESTRUCTURAL (ROBUSTEZ)

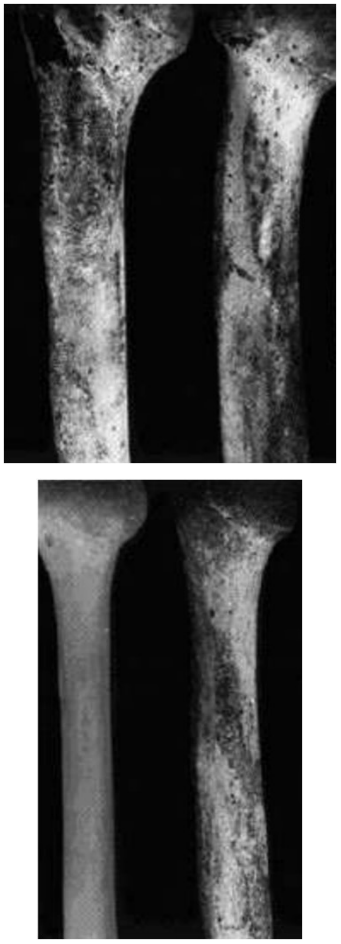
NIVELES DE ROBUSTEZ

R0 = AUSENTE.

R1 = SUAVE. La corteza está levemente redondeada y para su mejor observación se debe examinar bajo una luz fuerte. La elevación es aparente al tacto; sin embargo, no se presentan crestas o arrugas.

R2 = MODERADO. La superficie cortical es desigual, con una elevación prominente que es fácilmente observable. No hay crestas o arrugas formadas.

R3 = FUERTE. Se han formado crestas agudas o canales distintivos. Una ligera depresión entre las dos crestas se encuentra frecuentemente, sin embargo, no se extiende dentro de la corteza.



Grados de Robustez (R0, R1, R2 y R3) en la inserción del Pectoral Mayor en el Húmero

HUESO, HUESOS DEL BIG BANG A LA OSTEOPOROSIS

José L. Ferretti, Gustavo R. Cointry & Ricardo F. Capozza

Fundación de Investigaciones Metabólicas (FIM). Buenos Aires (Argentina). 2023.



FACTORES DETERMINANTES DE LA RESISTENCIA OSEA

RIGIDEZ ESTRUCTURAL (STIFFNESS):

Relación ***STRESS (CARGA)*** & ***STRAIN (DEFORMACIÓN)***

RIGIDEZ = Carga (*F*)/Deformación (*ΔL*)

TENACIDAD ESTRUCTURAL (CREEP FACTORS O STRESS RAISERS)

Resistencia a la formación y/o progreso de deformación del hueso o aparición de resquebrajaduras por exceso de deformación

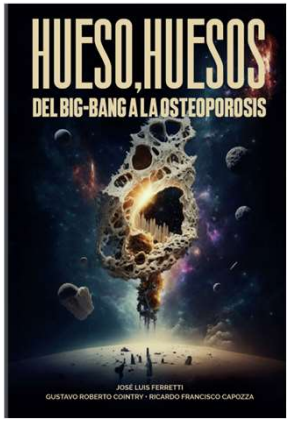
TENACIDAD implica atender a dos condiciones determinantes:

- **RESILIENCIA:** Resistencia a la deformación.

  STRAIN en el *Período Elástico* y ***DUCTILIDAD*** durante el *Período Plástico;*

- **CONCENTRACIÓN LOCAL DE STRESS (CONCENTRADOR DE TENSIÓN):**

  Punto donde la tensión local es mayor que la carga aplicada, impidiendo utilización de energía de deformación por aparición y progreso de fisuras a partir del punto en el que comienza a producirse un daño irreversible en el hueso (***Yield Point)***.



HUESO, HUESOS DEL BIG BANG A LA OSTEOPOROSIS

José L. Ferretti, Gustavo R. Cointry & Ricardo F. Capozza

Fundación de Investigaciones Metabólicas (FIM). Buenos Aires (Argentina). 2023.

PRINCIPALES COMPONENTES DETERMINANTES DE LA:
RIGIDEZ, TENACIDAD Y RESISTENCIA

FIBRILARES

Cantidad y Calidad del Colágeno

(+)

MINIRALES

Mineralización
Cristalinidad
Agua & Carbonato

(+)

RIGIDEZ DEL TEJIDO
(Resistencia a Deformación)

DESLIZAMIENTO

Cross Link Colágeno
Cristalinidad
Prots No-Colágenas
Agua & Carbonato

(+)

CONCENTRACIÓN DE *STRESS*

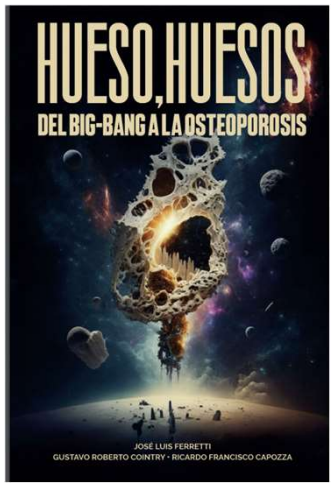
Microporos
(Lagunas de Howship, Canales, Osteonas o Sistema de Havers)
Líneas Cemento
Microdaños

(-)

TENACIDAD DEL TEJIDO
(Resistencia a Resquebrajarse)

(-)

RESISTENCIA DEL TEJIDO



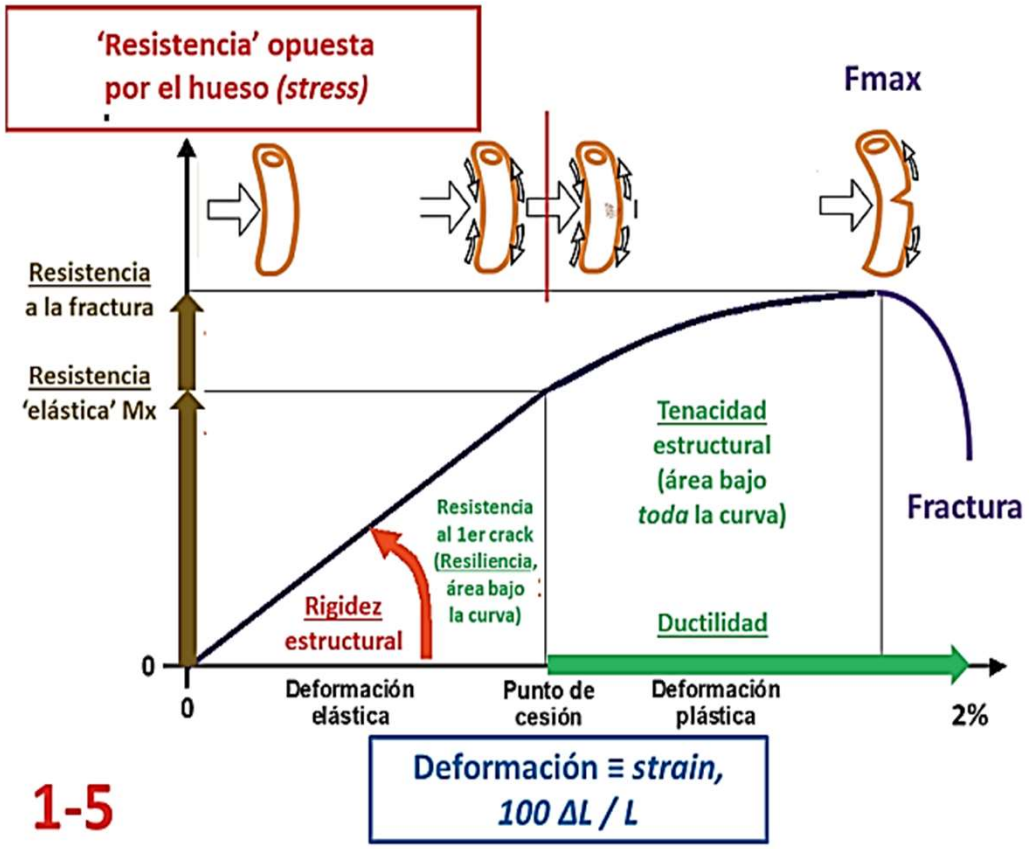
HUESO, HUESOS DEL BIG BANG A LA OSTEOPOROSIS

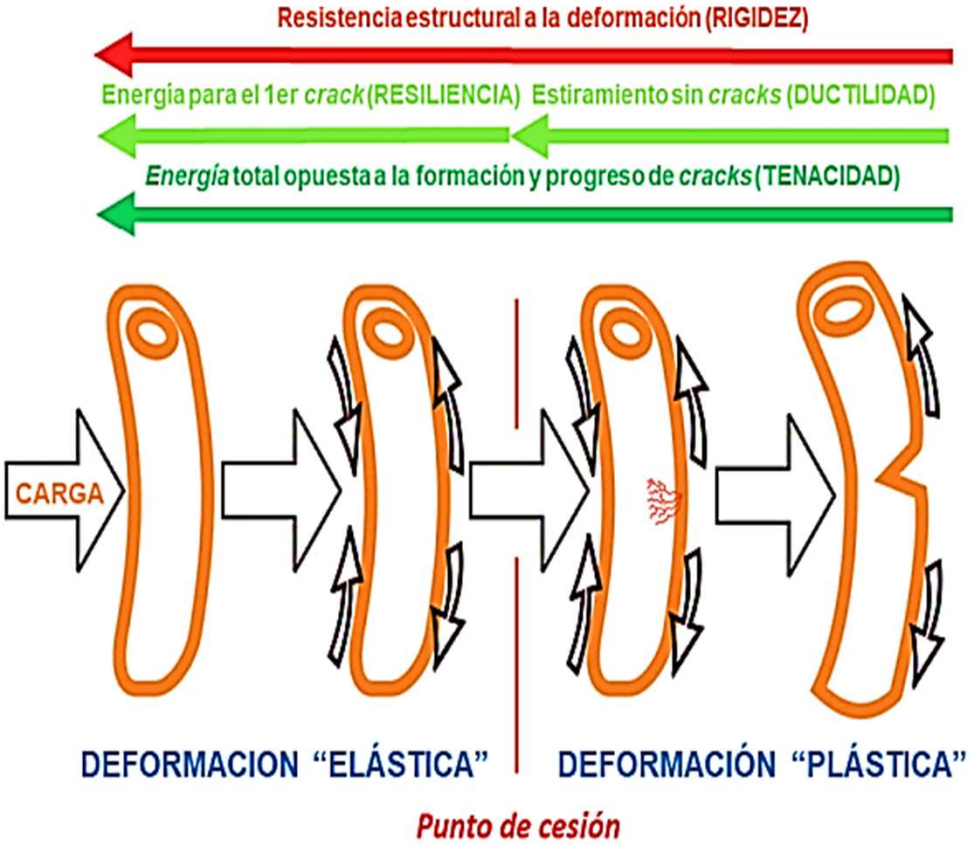
José L. Ferretti, Gustavo R. Cointry & Ricardo F. Capozza

Fundación de Investigaciones Metabólicas (FIM). Buenos Aires (Argentina). 2023.

RELACIÓN STRESS vs. STRAIN DE LAS ESTRUCTURAS ÓSEAS

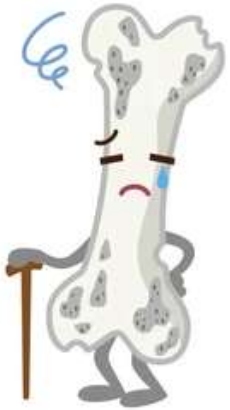
Comportamiento Mecánico de un hueso largo sometido a deformación por una carga creciente hasta la fractura





¿QUE DETERMINARÁ LA CONSISTENCIA DEL HUESO?
RESISTENCIA ESTRUCTURAL





GEOMETRÍA
(VOLUMEN)
Tamaño
Espesor Cortical
Densidad Trabecular

MICROARQUITECTURA
Porosidad Cortical
Organización del Tejido
Forma de Trabéculas
Conectividad de Trabéculas

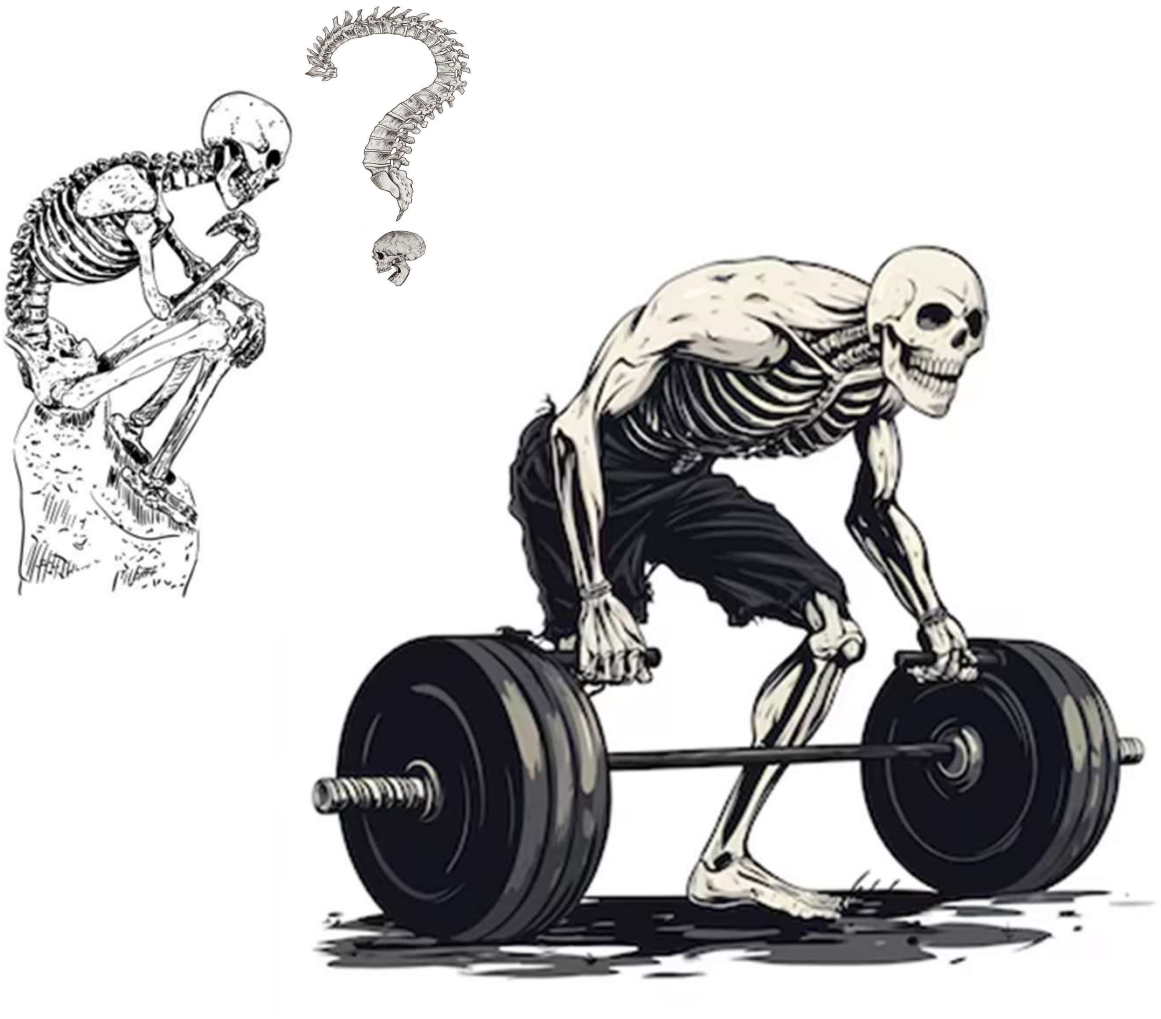
COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA
Densidad de Osteocitos
(Ratio Osteoclastos/Osteoblatos Activos)
Nivel de Mineralización
Hidratación
Contenido de Colágeno



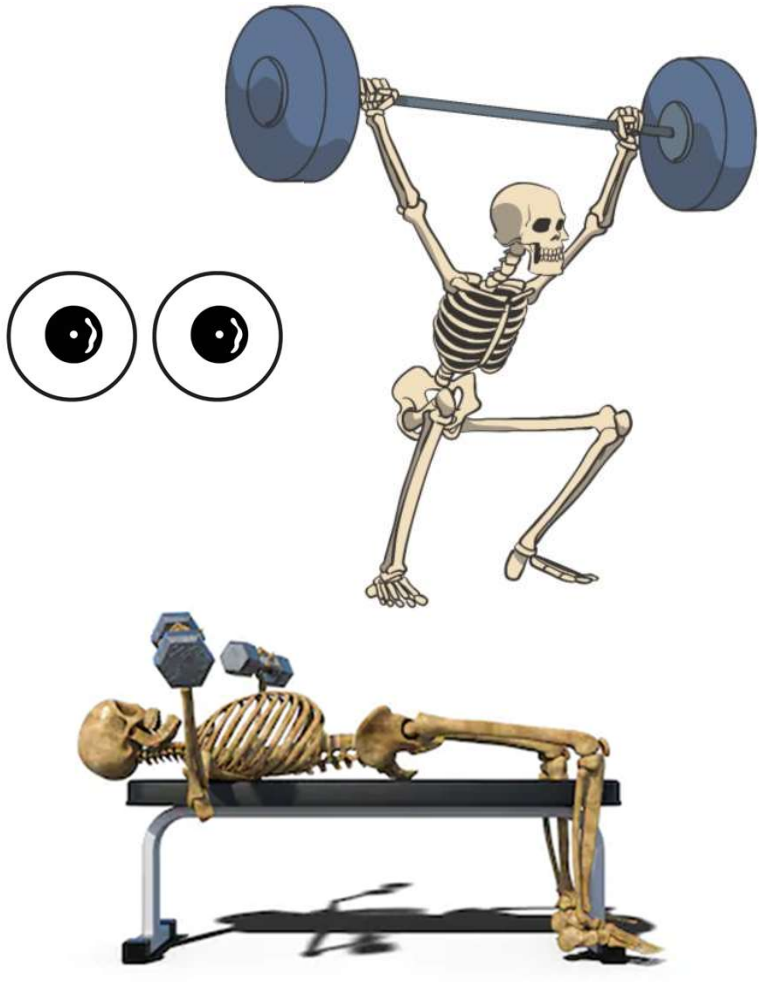


SU DETERIORO SE ASOCIA A OSTEOPENIA Y OSTEOPOROSIS (FRAGILIDAD)

ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA & ESTRUCTURAS ÓSEAS (ESQUELETO)

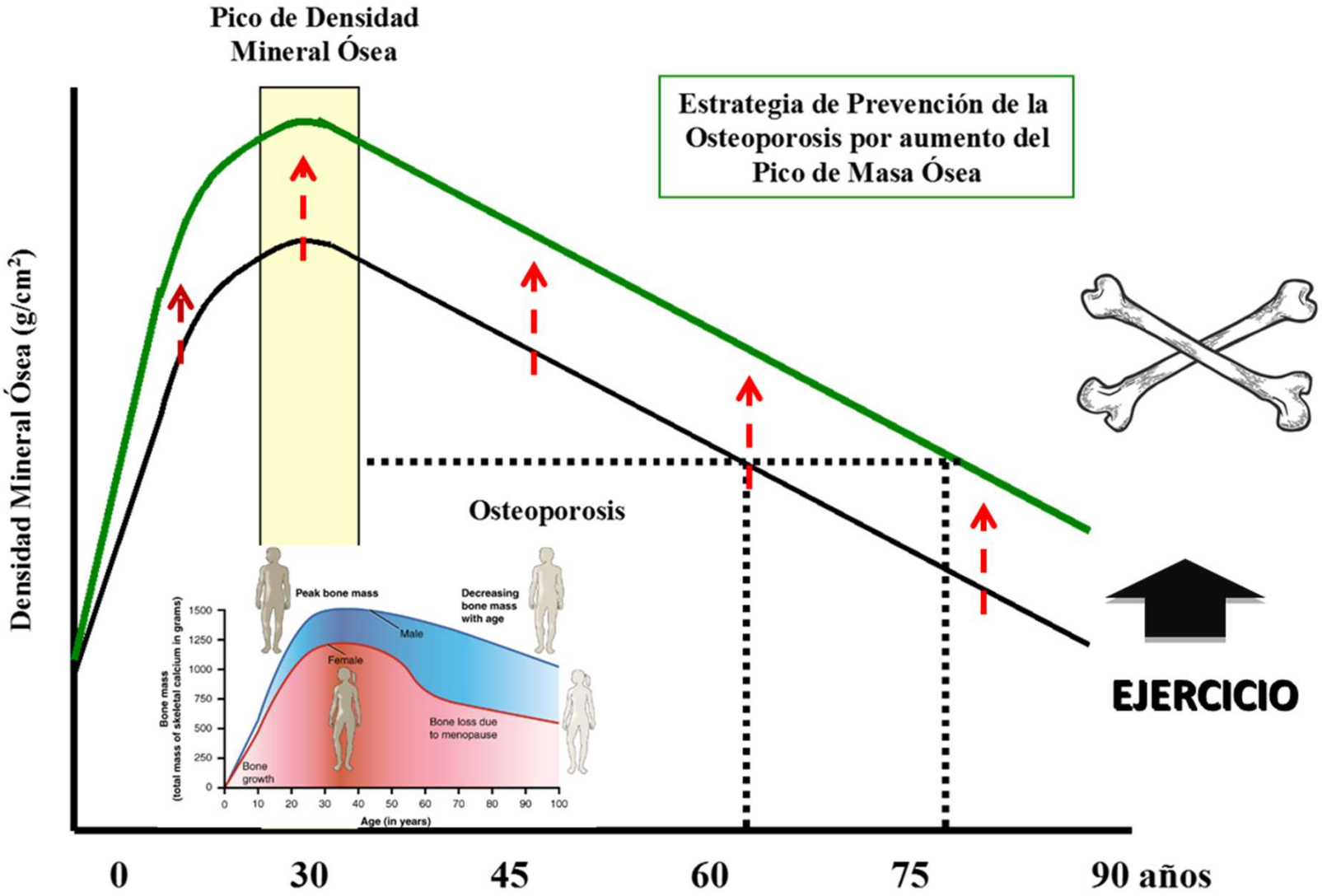


EFECTO ADAPTATIVO CRÓNICO DEL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA EN LAS ESTRUCTURAS ÓSEAS



Modificación de Estructuras Óseas

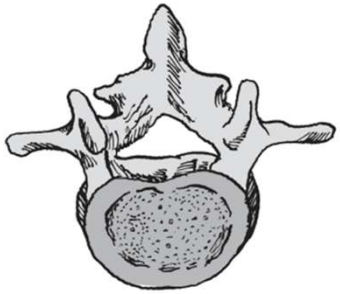
- **Metabolismo Óseo**
  - Contenido Mineral del Hueso (CMO)
  - Densidad Mineral Ósea (DMO)
- **Arquitectura & Tamaño del Hueso**
  - Longitud del Hueso
  - Diámetro del Hueso
  - Grosor Cortical
  - Contenido de Trabéculas
    - Tamaño de Trabéculas
    - Orientación de Trabéculas
- **Tamaño Eminencias Óseas**



- **Ejercicio, antes de la pubertad, provoca una respuesta Anabólica (Osteotrófica) mayor**
- **Tipo de ejercicio, y su magnitud, determina la intensidad y la forma de estructura ósea**
- **El trabajo de fuerza es el más eficiente para desarrollar una respuesta trófica elevada**



IMPORTANCIA DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL METABOLISMO OSEO EN ADULTOS & PERSONAS MAYORES



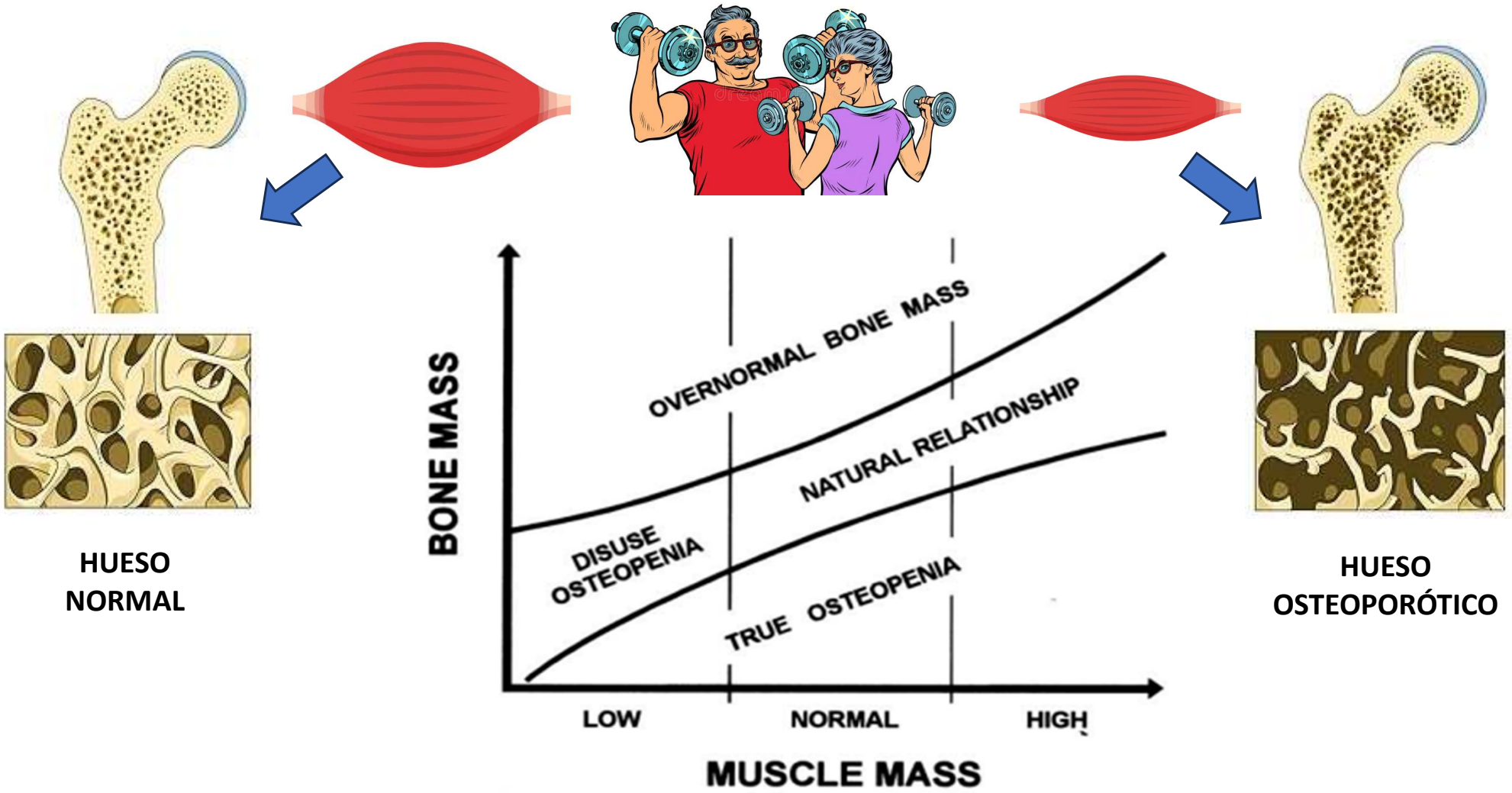
- **Los Indicadores Bioquímicos de Formación Ósea aumentan hasta ≈35% en Levantadores de Pesas respecto a Adultos Sanos de la misma edad.**

- Se han reportado **mayores aumentos** en las **Densidades (DMO) de Hueso Trabecular y Cortical** en **Vértebras** (13–42%), **Cuello Femoral/Trocánter** (12–24%), **Tibia** (9–12%) & **Radio** (10%) de **Levantadores de Pesas** en comparación con adultos no entrenados o sólo entrenados moderadamente.

- **Aproximadamente, 30 años después de abandonar el entrenamiento, los levantadores de 50-64 años exhiben una Masa Ósea significativamente mayor que sujetos sedentarios de la misma edad.**

  - **Sin embargo, los Levantadores necesitan también mantener un nivel adecuado de Actividad Física después de los 65 años para atenuar las disminuciones de la Masa Ósea que conlleva el Envejecimiento.**

ESTRUCTURA - MASA MUSCULAR
VS.
ESTRUCTURAS ÓSEAS
(TAMAÑO, FORMA, DENSIDAD & RESISTENCIA)

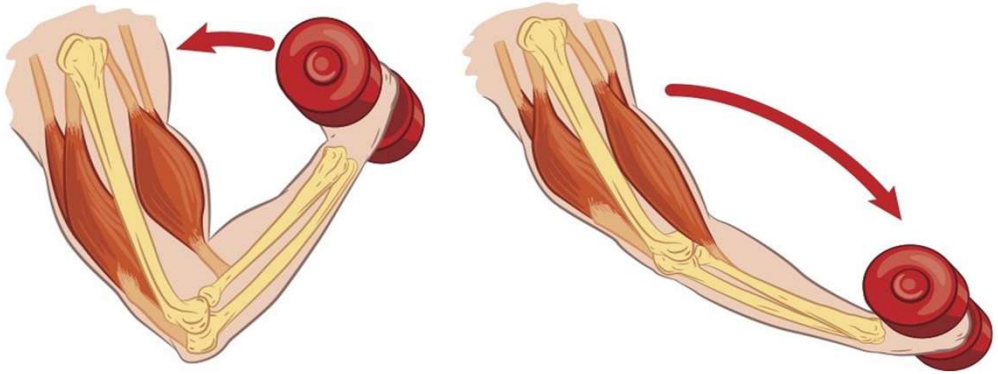


HUESO NORMAL

HUESO OSTEOPORÓTICO

MASA MUSCULAR, CONTRACCIÓN MUSCULAR & ESTRUCTURAS ÓSEAS

Mecánicamente, el músculo al contraerse ejerce fuerzas sobre el esqueleto con el fin de poder efectuar movimientos, reemplazando o complementando las habituales cargas gravitacionales a las que esas estructuras son sometidas



La contracción muscular, genera una:

Comunicación Cruzada Mecánica & Bioeléctrica

Entre Músculo & Hueso provocando la liberación de numerosos Factores Secretores capaces de modular el Metabolismo Óseo

(Reacción Bidireccional: Músculo a Hueso & Hueso a Músculo)

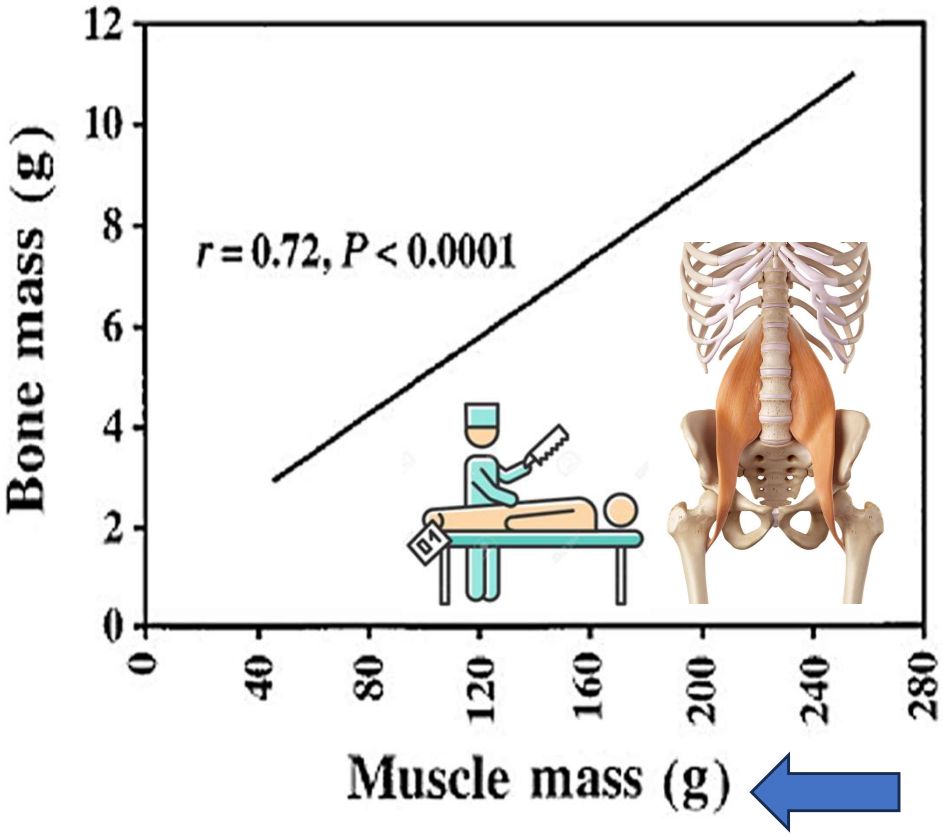
Estas señales, ANABÓLICAS o CATABÓLICAS, vienen condicionadas por el Tipo de Contracción, Volumen, Magnitud, Velocidad, Dirección & Duración

Hammersmith Hospital &
Royal Postgraduate
Medical School

Relation between bone mass and muscle weight

Frank Doyle, Jean Brown & Claude Lachance
The Lancet, 295(7643), 391-393. 1970.

LA MUSCULATURA COMO FACTOR CONDICIONANTE DE LA RESPUESTA DEL HUESO



PESO & VOLUMEN DEL MÚSCULO

Reflejan (*indirectamente*) las fuerzas que se pueden ejercer sobre los huesos en los que se inserta y sobre los que actúa

TAMAÑO DEL MÚSCULO
INDICADOR INDIRECTO DE MASA ÓSEA

MUESTRA: 46 necropsias

Peso (ceniza) de la 3ª Vertebra Lumbar &
Peso del Músculo Psoas Izquierdo
correlacionaron de forma significativa
($r=0.72$; $p \leq 0{,}001$)
cuando se tuvieron en cuenta

Masa Muscular (Hipertrofia) & Fuerza Muscular son Factores Determinantes para conseguir una Estructura Ósea Sólida y Saludable

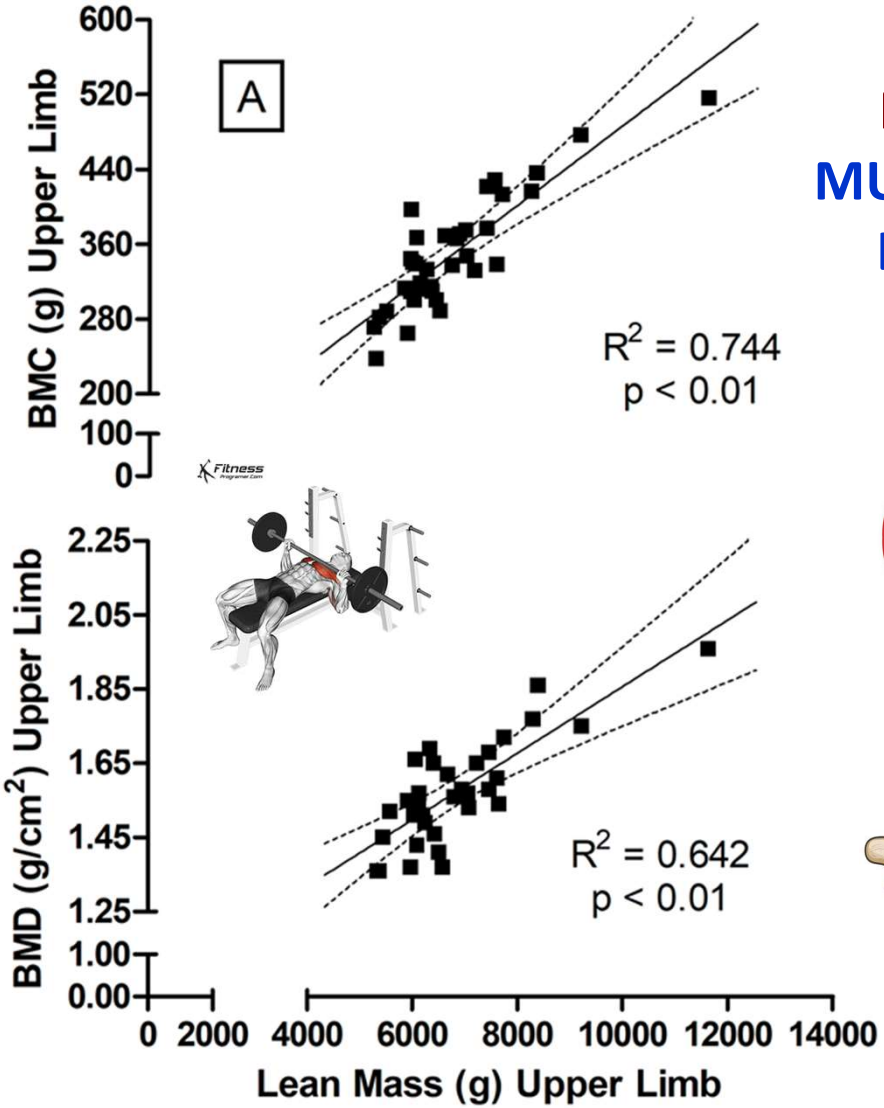
Muscle strength and regional lean body mass influence on mineral bone health in young male adults

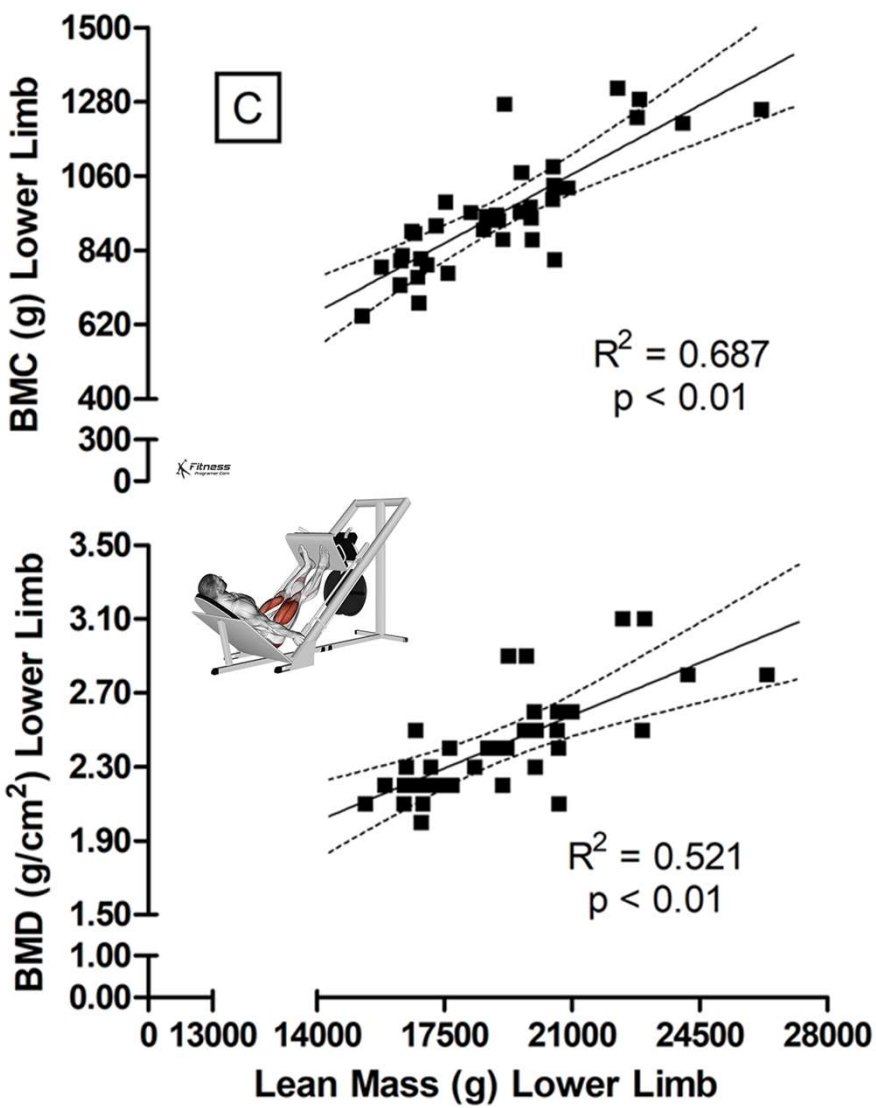
Guimarães BR, Pimenta LD, Massini DA, Dos Santos D, Siqueira L., Simionato AR, Almeida dos Santos LG, Neiva CM. & Pessôa Filho DM.

PLoS One, *13*(1), e0191769. 2018.



MASA MUSCULAR LOCAL





Kinanthropometry of Group I rugby players in Buenos Aires, Argentina

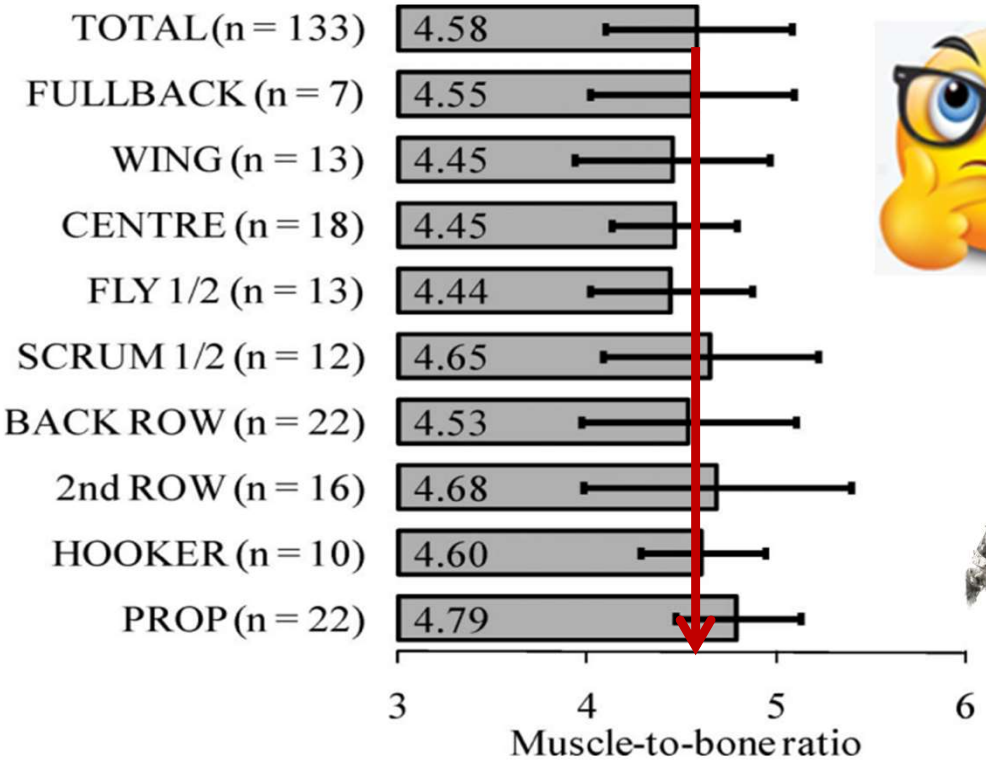
Francis E. Holway & Romina Garavaglia

Journal Sports Science, 27(11), 1211- 1220. 2009.

Buenos Aires Rugby Union

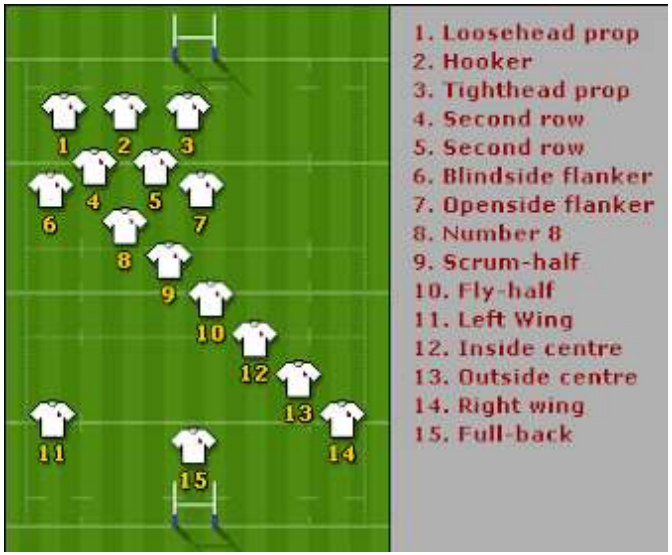
- **Cada kilogramo de Masa Ósea (♂) puede soportar un máximo de ≈ 5.0 kilos de Masa Muscular [1.0:4.5 a 5.0]**
  - **Deportistas de Fuerza pueden superar esta relación**
- **En el caso de las mujeres (♀) la relación es: ≈1.0:4.0 a 4.2**

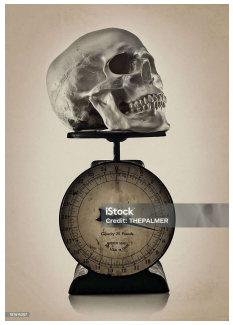


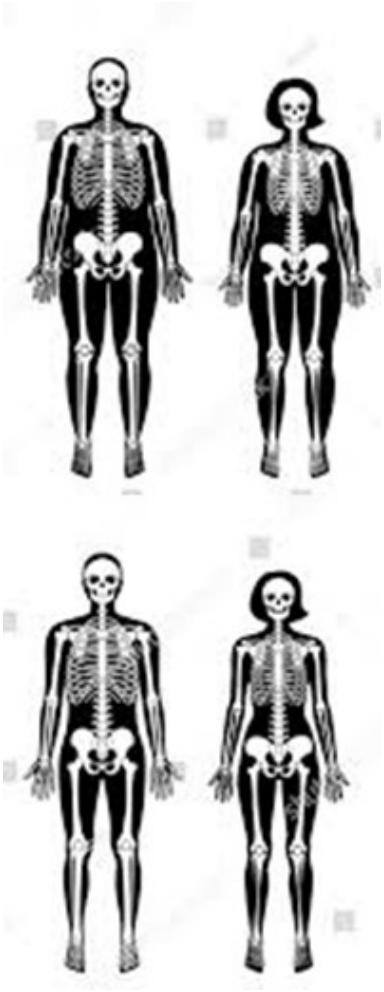






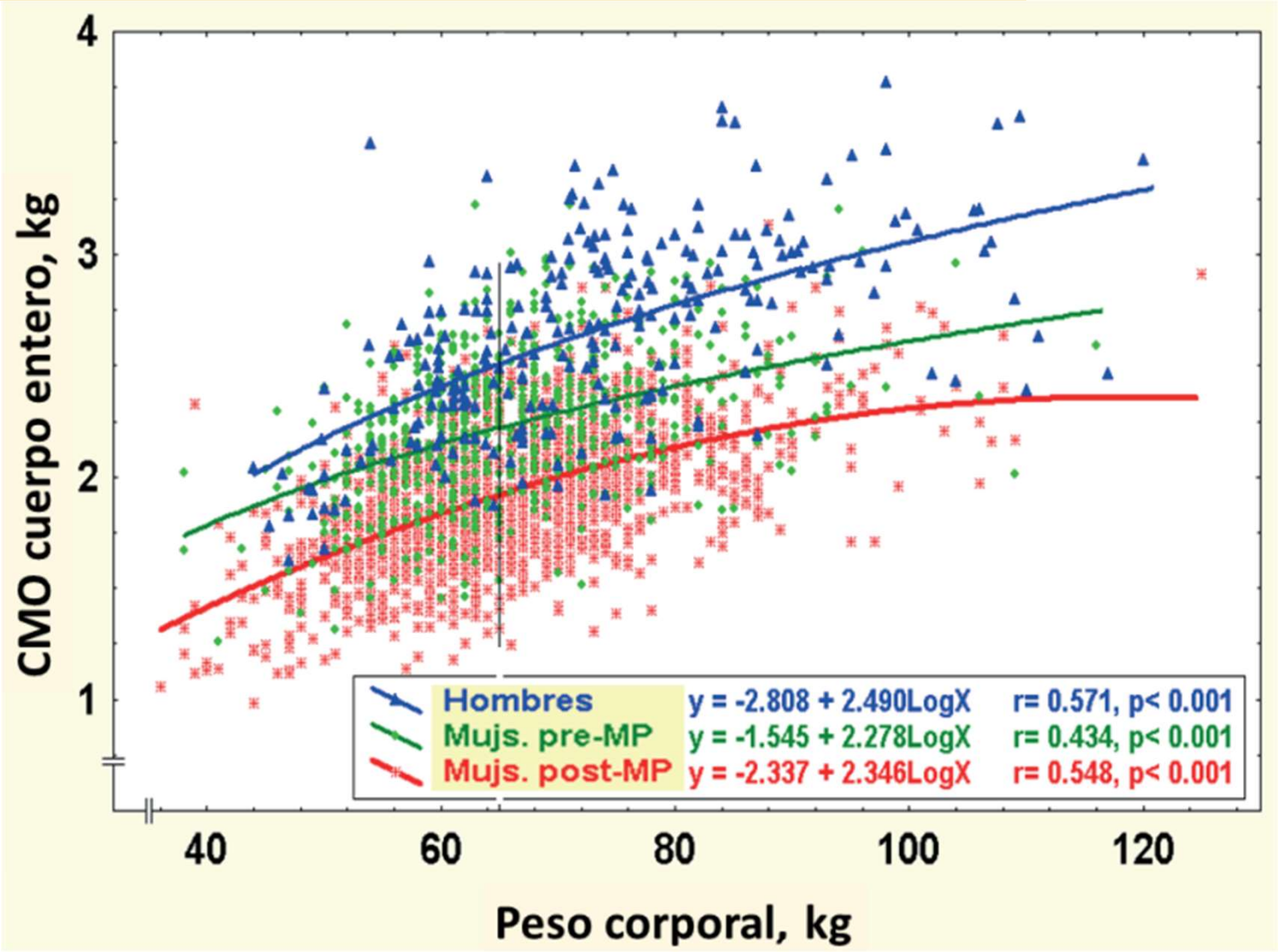






El Input y el Output del Mecanostato
Direccionalidad y Relaciones 'Músculo-Hueso'
En Hueso, Huesos. Del Big-Bang a la Osteoporosis

José L. Ferretti, Gustavo R. Cointry & Ricardo F. Capozza



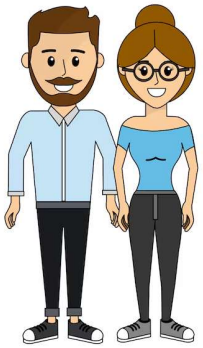
UNIVERSIDAD METROPOLITANA
BARRANQUILLA
Ciencias de la Salud

A DXA study of muscle-bone relationships in the whole body and limbs of 2,512 normal men and pre- and post-menopausal women

Capozza R, Cointry G, Cure-Ramírez R, Ferretti JL, Cure-Cure C

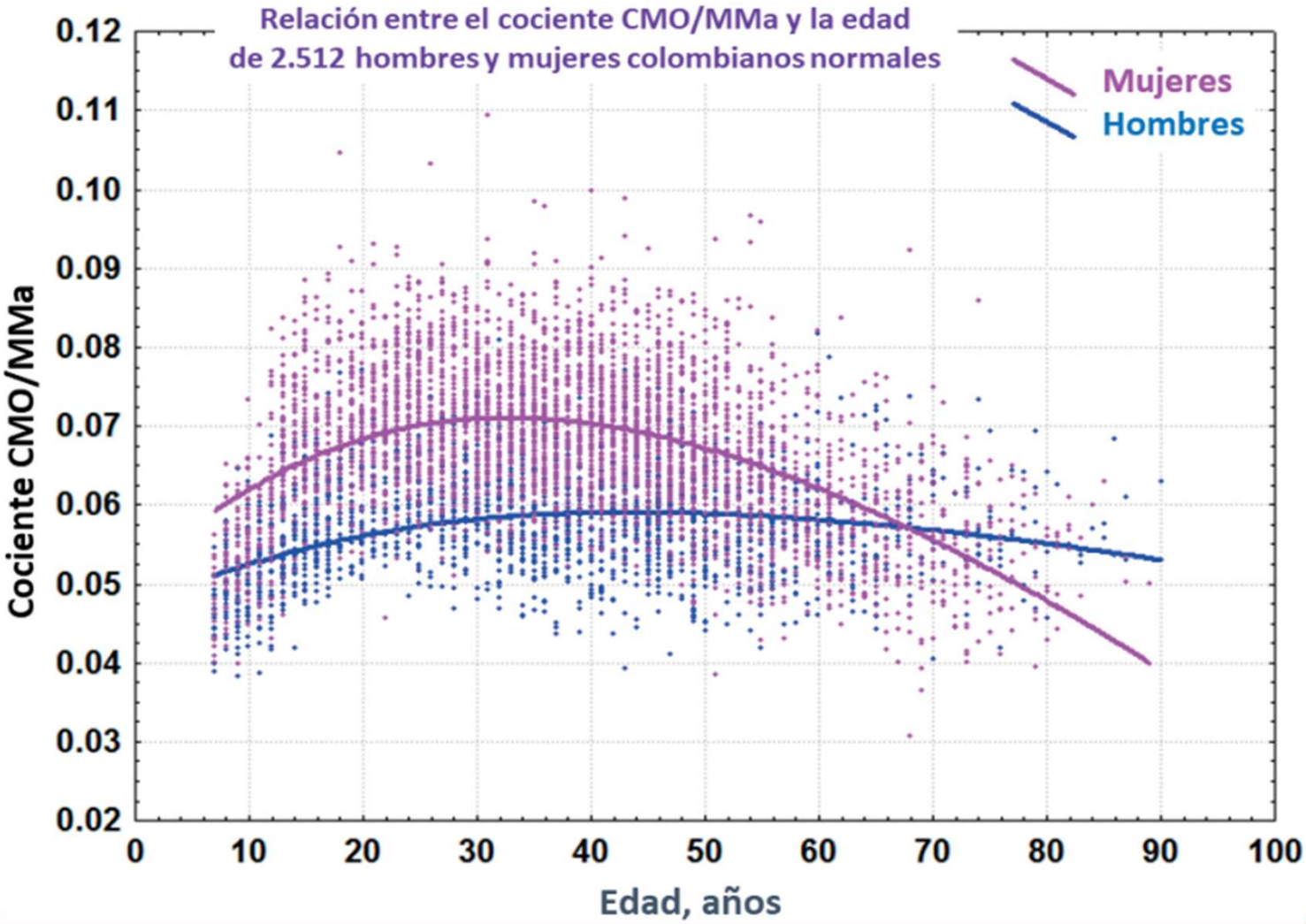
Bone, 35, 283-295, 2004.





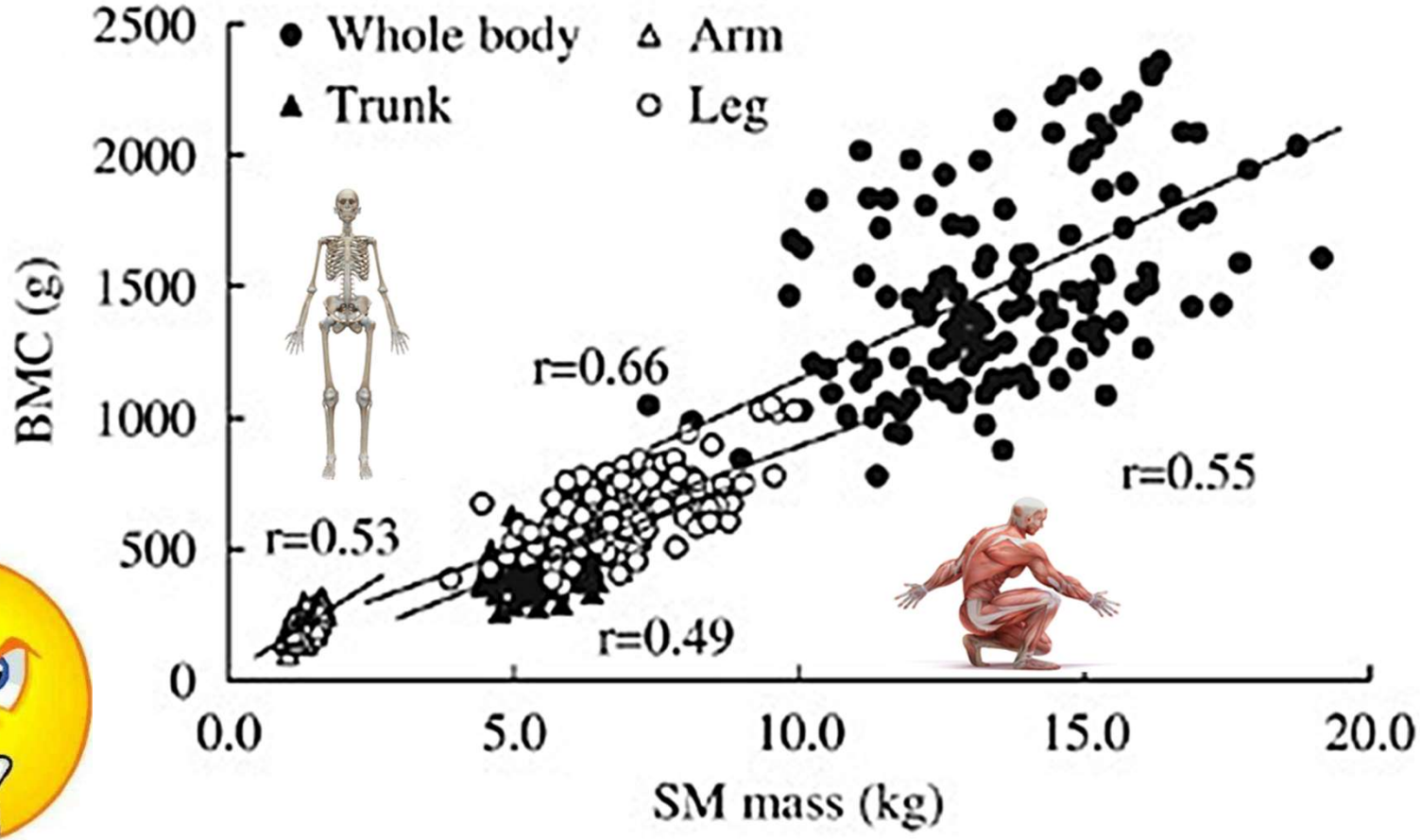


Evolución etaria del cociente CMO/Masa Magra (MMa)



WASEDA University
早稲田大学

Muscle mass and bone mineral indices:
does the normalized bone mineral content differ with age?
Sanada K, Miyachi M, Tabata I, Miyatani M, Tanimoto M, Oh TW, ... & Higuchi M.
European Journal of Clinical Nutrition, 63(4), 465-472. 2009.

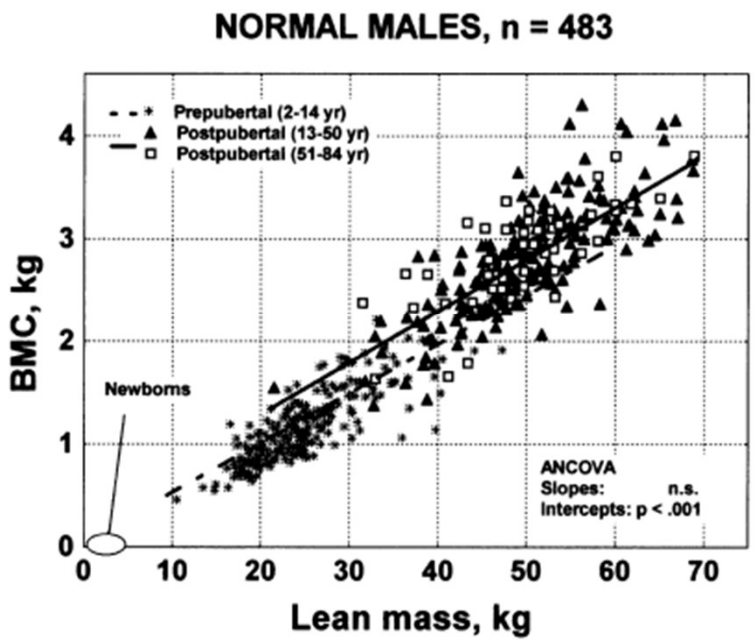


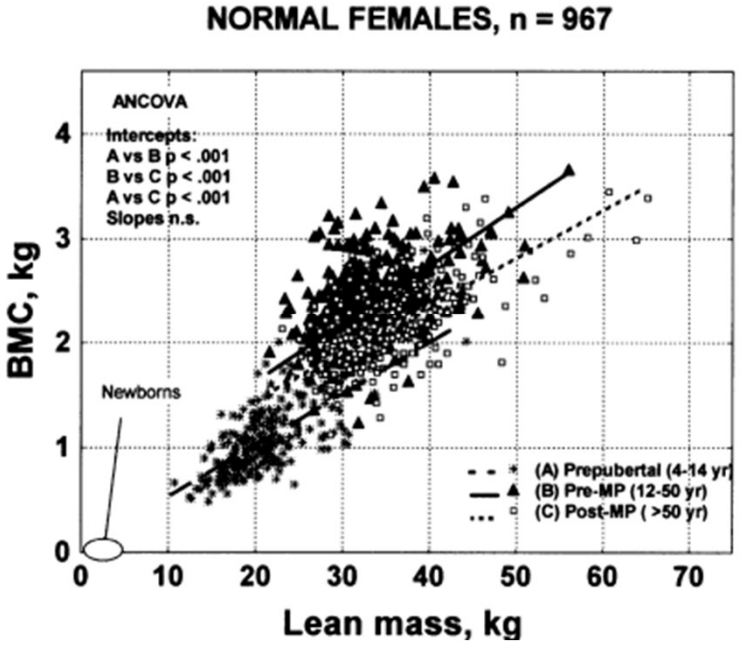


La Masa Muscular correlaciona significativamente con los Índices de Mineralización Ósea de la misma Zona

Bone mass, bone strength, muscle–bone interactions, osteopenias and osteoporoses

Ferretti, J. L., Cointry, G. R., Capozza, R. F., & Frost, H. M.
Mechanisms of ageing and development, 124(3), 269-279. 2003.





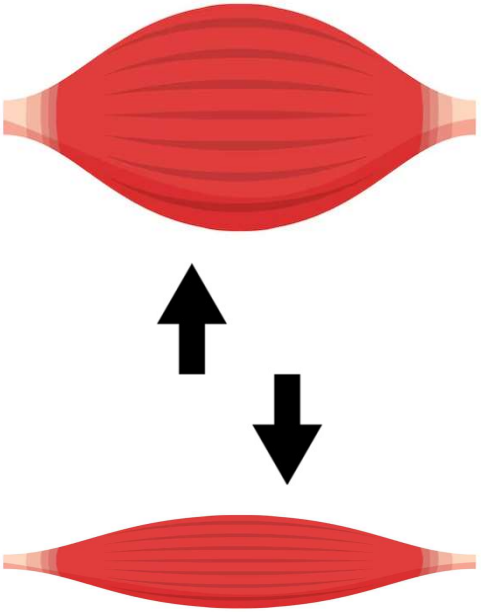
Para diagnosticar correctamente una Osteoporosis:

(1) Primero debemos diagnosticar el estado Osteopénico;
(2) Luego la Fragilidad Ósea eventualmente derivada;
(3) Diagnosticar la Interrelación Músculo-Hueso.

Relevante para diferenciar entre la naturaleza "primaria" o por "desuso" y la naturaleza "sistémica o secundaria" de esa condición

FUERZA MUSCULAR
VS.
ESTRUCTURAS ÓSEAS
(TAMAÑO, FORMA, DENSIDAD & RESISTENCIA)







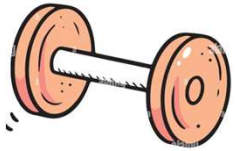
Powerlifting exercise performance and muscle mass indices and their relationship with bone mineral density

Daniel A. Hackett & Angelo Sabag

Sport Sciences for Health, 17, 735-743. 2021.

MUESTRA: 54 ♂ (24.0 años) con experiencia en Entrenamiento de Fuerza (5 años) realizaron Test de 1RM en Press-Banca, Sentadilla y Peso Muerto

Índices de Masa Muscular & **Densidad Mineral Ósea** (**DEXA**)





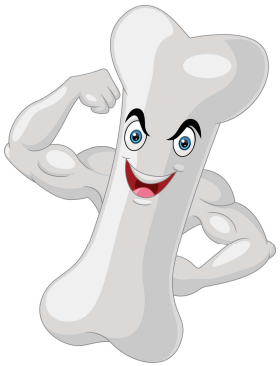
ÍNDICES DE MASA MUSCULAR

(i.e. Masa Libre de Grasa & Masa Magra Apendicular)

RELACIONES POSITIVAS

(Pequeñas a Fuertes; $r = 0{,}28–0{,}65$; $p < 0{,}05$)

con **DENSIDAD MINERAL ÓSEA**



También relaciones pequeñas a fuertes entre

RENDIMIENTO (BP, SQ & DL) & **DENSIDAD MINERAL ÓSEA**

(en la mayoría de las regiones corporales)

($r = 0{,}29–0{,}65$, $p < 0{,}05$)

Rendimiento en Powerlifting & Masa Muscular Relación Positiva con la Densidad Mineral Ósea

Muscle strength and regional lean body mass influence on mineral bone health in young male adults

Guimarães BR, Pimenta LD, Massini DA, Dos Santos D, Siqueira L., Simionato AR, Almeida dos Santos LG, Neiva CM. & Pessôa Filho DM.

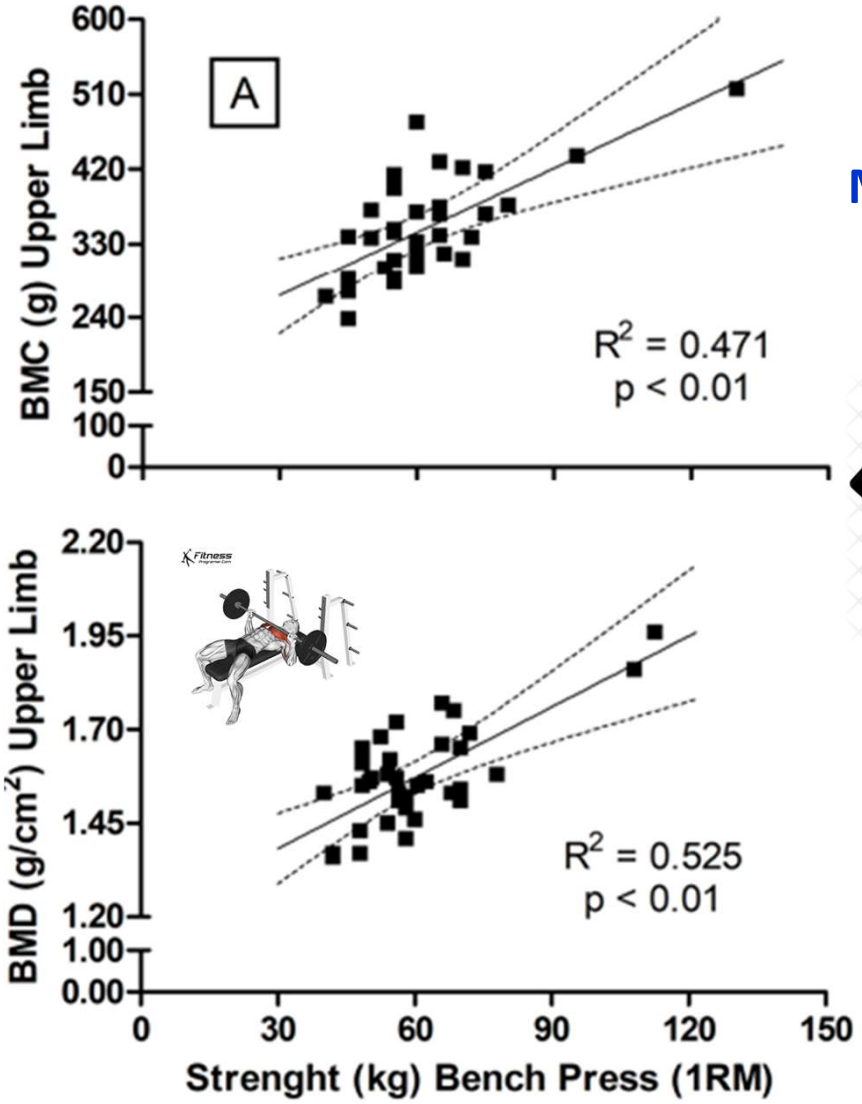
PLoS One, *13*(1), e0191769. 2018.

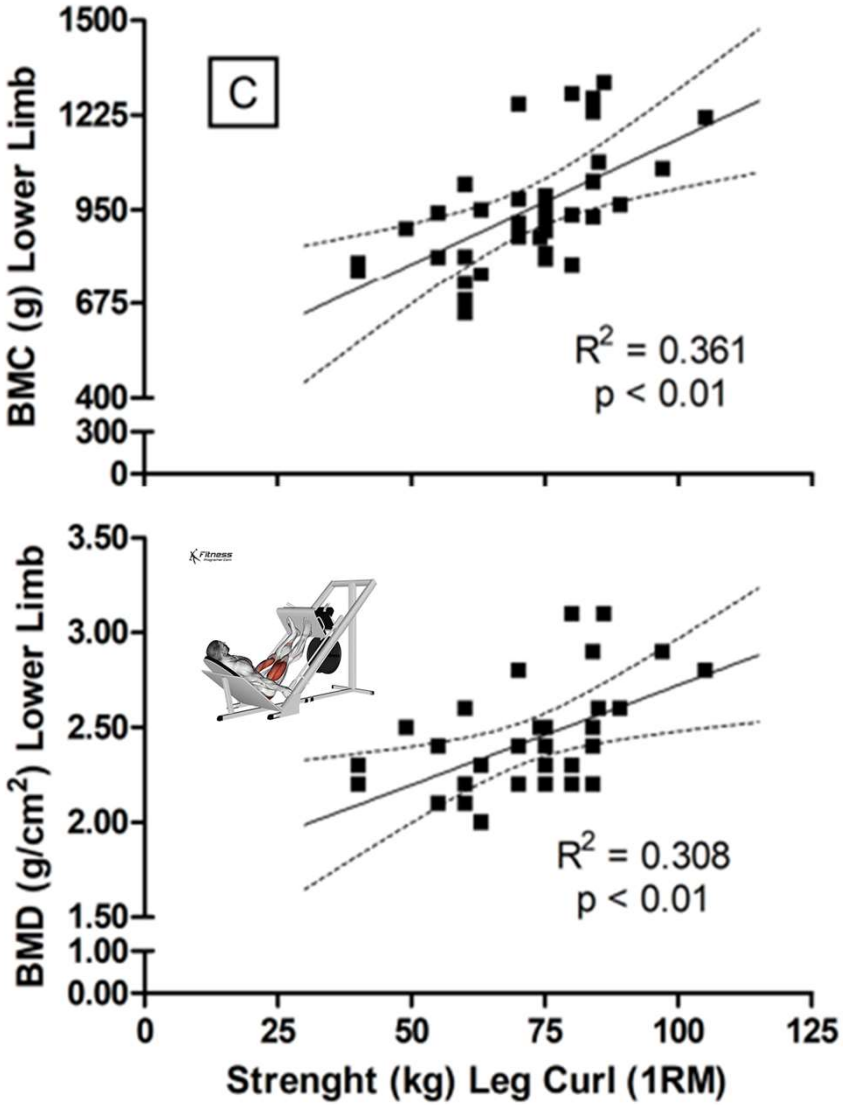


FUERZA MUSCULAR LOCAL











When size does matter
Body Size, Body Composition and Sport Performance

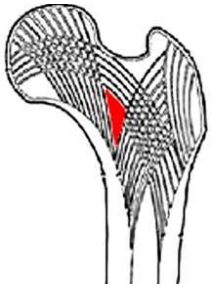
Juan Manuel García-Manso (2016)



Variable	Grupo Resistencia (n=10)	Grupo Fuerza (n=11)	*p-Value*	E.S.
VO_{2max} (ml/kg/min)	66.5 ± 5.1	45.8 ± 5.0	0.000	0.90
FIM (N)	834.5 ± 159.4	2054.2 ± 501.4	0.000	0.85
DMO (g/cm^2)	1.16 ± 0.06	1.33 ± 0.12	0.000	0.69
CMO (g)	1997.4 ± 246.7	2624.4 ± 423.5	0.001	0.67

Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters

Conroy BP, Kraemer WJ, Maresh CM, Fleck SJ, Stone MH, Fry AC, Miller PD. & Dalsky GP. Medicine and Science in Sports and Exercise, 25(10), 1103-1109. 1993.



DENSIDAD MINERAL ÓSEA (DMO) (g/cm²)

PARÁMETRO	Levantadores (N: 25) (17.4 ± 1.4 años)	G.C. (N:11) (16.9 ± 1.9 años)	DIFERENCIA Respecto Adultos Referencia	DIFERENCIA Respecto Jóvenes Referencia
L2- L4	**1.41** ± 0.20	1.06 ± 0.21	↑ 13%	↑ 33%
Cuello del Fémur	**1.30** ± 0.15	1.05 ± 0.12	↑ 31%	↑ 24%
Trocánter Mayor	**1.06** ± 0.13	0.89 ± 0.12	↑ 19%	↑ 19%
Triángulo de Ward	**1.26** ± 0.20	0.99 ± 0.16	↑ 18%	↑ 27%

Los valores de **DMO** para los levantadores jóvenes era significativamente mayor en todos los puntos evaluados en comparación con el GC de la misma edad

También los valores de **DMO** de la L2-L4 y el Cuello del Fémur de los levantadores jóvenes era significativamente mayor que el de adultos (hombres de 20-39 años)

Université du Québec Montréal

Body Composition and Maximal Strength of Powerlifters: A Descriptive Quantitative and Longitudinal Study

Ferland P. M., Charron J., Brisebois-Boies M., St-Jean Miron F. & Comtois A.S.

International Journal of Exercise Science, 16(4), 828-845. 2023.



MUESTRA: 34 Powerliftings Nivel Medio (♂ = 21; ♀ = 13)

(**Edad** = 28,8 ± 8,7 años)









VARIABLES (DEXA)	POWERLIFTERS (♂)	POWERLIFTERS (♀)
Squat (kg)	216,9 ± 42,7	126,6 ± 25,0
Press Banca (kg)	141,3 ± 26,0	70,0 ± 17,0
Peso Muerto (kg)	244,9 ± 38,8	145,2 ± 25,6
Estatura (cm)	174,0 ± 0,06	163,0 ± 0,04
Peso Corporal (kg)	92,2 ± 15,9	71,0 ± 19,0
Body Fat (%)	20,4 ± 8,5	27,0 ± 11,7
BMC (kg)	**3,55 ± 0,48**	**2,63 ± 0,35**
BMD (g/cm²)	**1,35 ± 0,07**	**1,24 ± 0,06**

Maximal muscle strength and body composition are associated with Bone Mineral Density in chinese adult males

Fei Chen, Qi Su, Yulan Tu, Jun Zhang, Xinji Chen, Tingxiao Zhao, Yazeng Huang & Guokang Xu

Medicine (Baltimore). 99(6), e19050. 1-5. 2020.

MUESTRA: 147 Varones Adultos (20-47 años) Chinos

CORRELACIONES ENTRE LA FUERZA MÁXIMA Y LA D.M.O.			
ZONA/EJERCICIO	**BP – 1RM**	**DL – 1RM**	**SQ – 1RM**
Antebrazo	**0.41**	0.19	0.16
Columna	0.23	0.37	0.36
Cadera	0.21	**0.43**	**0.43**
Total	0.27	**0.51**	**0.51**









Lean Mass, Fat Mass & **Fuerza Máxima** correlacionan con **DMO**

Sentadilla & **Peso Muerto** pueden servir como estrategia simple y eficiente para optimizar la DMO Total, mientras que el **Press Banca** se ajusta mejor a la DMO del antebrazo

Universidad Orleans

Relationships between muscle mass, strength and regional Bone Mineral Density in young men

Sutter T., Toumi H., Valery A., El Hage R., Pinti A. & Lespessailles E.
PloS One, 14(3), https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213681. 2019.



MUESTRA: 100 hombres jóvenes
(**Edad**: 24,4 ± 2,8 años - **BMI**: 23,4 ± 2,81 kg/m^2)

BMD se asocia positivamente con la Masa Magra Apendicular (ALM) (Suma de Masa Magra del MI & MS)





VARIABLE	BMD (Cuerpo Completo)	BMD (Cuello Fémur)	BMD (Cadera)	BMD (Columna Lumbar)
BMI (kg/m²)	0,40 (0,232 - 0,561)	0,32 (0,141 – 0,493)	0,40 (0,227 – 0,557)	0,42 (0,249 – 0,573)
ALM (kg/m²)	**R = 0,62** (0,514 – 0,747)	**R = 0,54** (0,339 – 0,675)	**R = 0,64** (0,538 – 0,761)	**R = 0,56** (0,466 – 0,717)
Fuerza Mano (kg)	**R = 0,35** (0,166 – 0,512)	**R = 0,28** (0,180 – 0,421)	**R = 0,36** (0,177 – 0,521)	**R = 0,29** (0,100 – 0,460)
Fat Mass Index (kg/m²)	-0,15 (-0,336-0,047)	-0,12 (-0,316-0,069)	-0,14 (-0,336-0,047)	-0,12 (-0,294-0,094)

ESTRUCTURAS ÓSEAS
(TAMAÑO, FORMA, DENSIDAD & RESISTENCIA)
VS.
RENDIMIENTO DEPORTIVO



ESTRUCTURAS ÓSEAS VS.
FUNCIÓN Y/O PUESTO ESPECÍFICCO

Chronic adaptive bone and muscle structure response in adult male tennis

Castillo F, Garcia-Manso JM, Valverde, T & Rodríguez-Ruíz D.

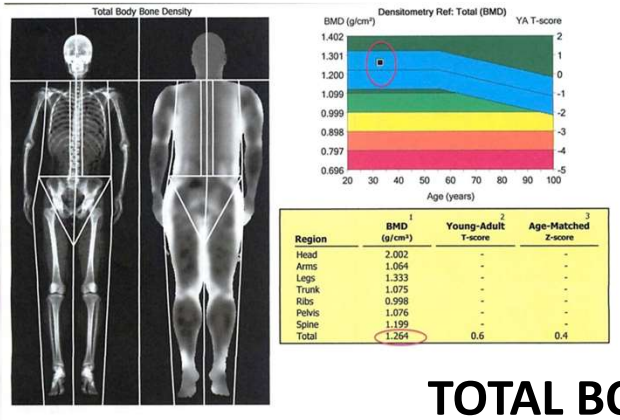
Gazzetta Medica Italiana - Archivio per le Scienze Mediche, 172(9), 677-685. 2013.

SAMPLE: 13 Spanish Tennis players

(**Age**: 21.1 ± 3.8 years; **Height**: 178.3 ± 5.5 cm; **Weight**: 74.3 ± 7.3 kg; **Fat**: 12.9 ± 6.2%)

Body composition analysis: Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (DEXA)

RESULTS. Significant differences between dominant vs. non-dominant:



Region	1 BMD (g/cm²)	2 Young-Adult T-score	3 Age-Matched Z-score
Head	2.002	-	-
Arms	1.064	-	-
Legs	1.333	-	-
Trunk	1.075	-	-
Ribs	0.998	-	-
Pelvis	1.076	-	-
Spine	1.199	-	-
Total	1.264	0.6	0.4

BMC (dominant *vs*. non-dominant arm):
(**220.1** ± 19.3 g *vs.* **177.3** ± 19.8 g; p≤0.01)

BMD (dominant *vs*. non-dominant arm)

(**0.99** ± 0.08 g *vs*. **0.91** ± g 0.07; p≤0.05)

TOTAL BONE MASS (dominant *vs*. non-dominant arm)
(4345.3 ± 477.4 *vs*. 3924.7 ± 485.7; p≤0.05)



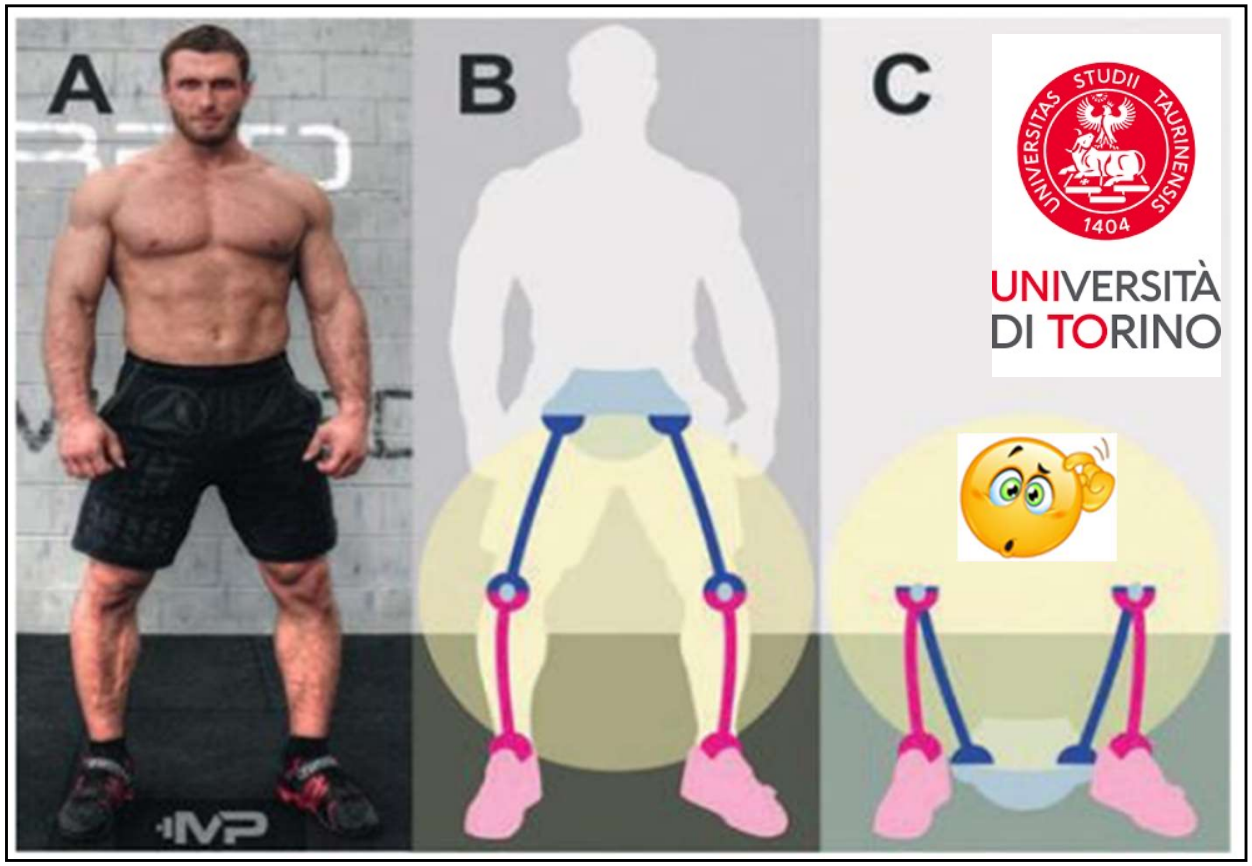
LOCAL REGULATORY MECHANISM

CONCLUSION

Existe una respuesta adaptativa crónica asimétrica en BMC & BMD en individuos que realizan un alto volumen de entrenamiento en tenis durante varios años

Knowledge Frontiers
The Concepts of Mechanobiology Applied to Strength Training
Donato Formicola
The Official Journal of the European Weightlifing Federation
5(13), 58-69. 2019.

Estructura morfológica de Miembro Inferior de Dmitry Vjačeslavovič Klokov (RUS) (Nacido 1983)
(PC: 105 kg; Estatura: 183 cm; Snatch: 169 kg; C&J: 232 kg)



A) Consecuencia de las altas cargas levantadas a lo largo de su carrera deportiva (36 años), sus extremidades inferiores han sufrido una remodelación anatómica significativa y específica.

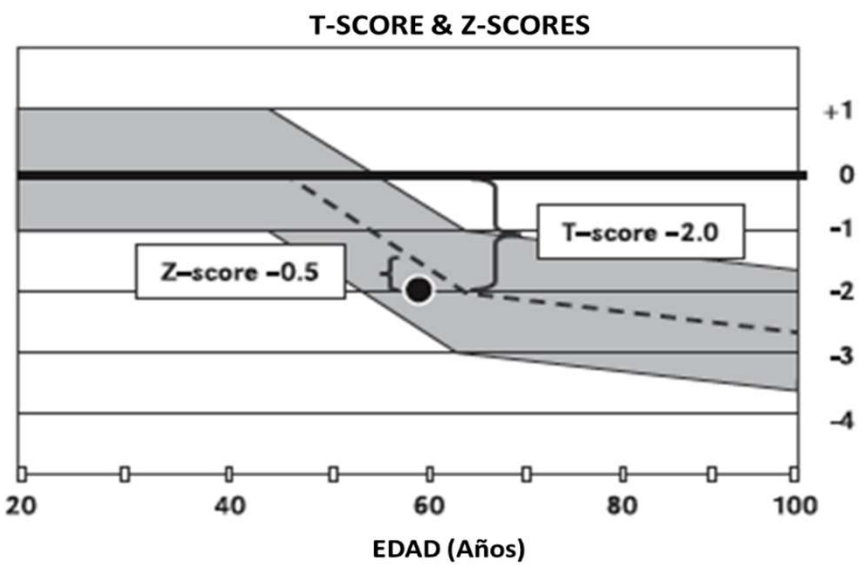
- **Si se observa, los ejes anatómicos de las tibias están curvados hacia afuera, mientras que los fémures lo están hacia adentro.**

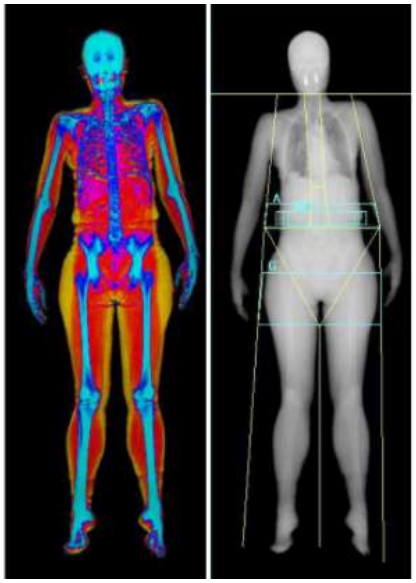
B) Esta adaptación morfológica le permite optimizar el rendimiento mecánico y la estabilidad de la pelvis que se requiere en los movimientos que implican el levantamiento de pesas.

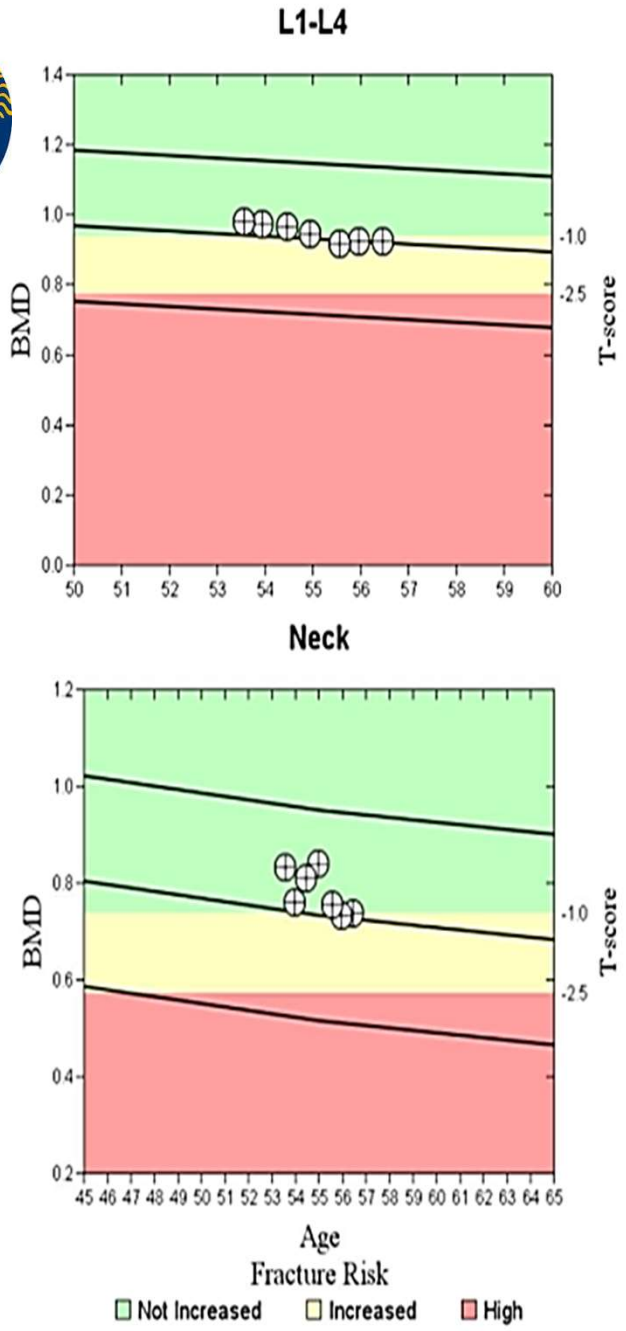
Long-Term Benefits of Tailored Exercise in Severe Sarcoidosis: A Case Report

Herrera-Olivares, A. M., García-Manso, J. M., Rodríguez-Gómez, I., Ara, I., Lucia, A. & Santalla, A.

International Journal of Environmental Research and Public Health 17(24), 9512. https://doi.org/10.3390/ijerph17249512. 2020.







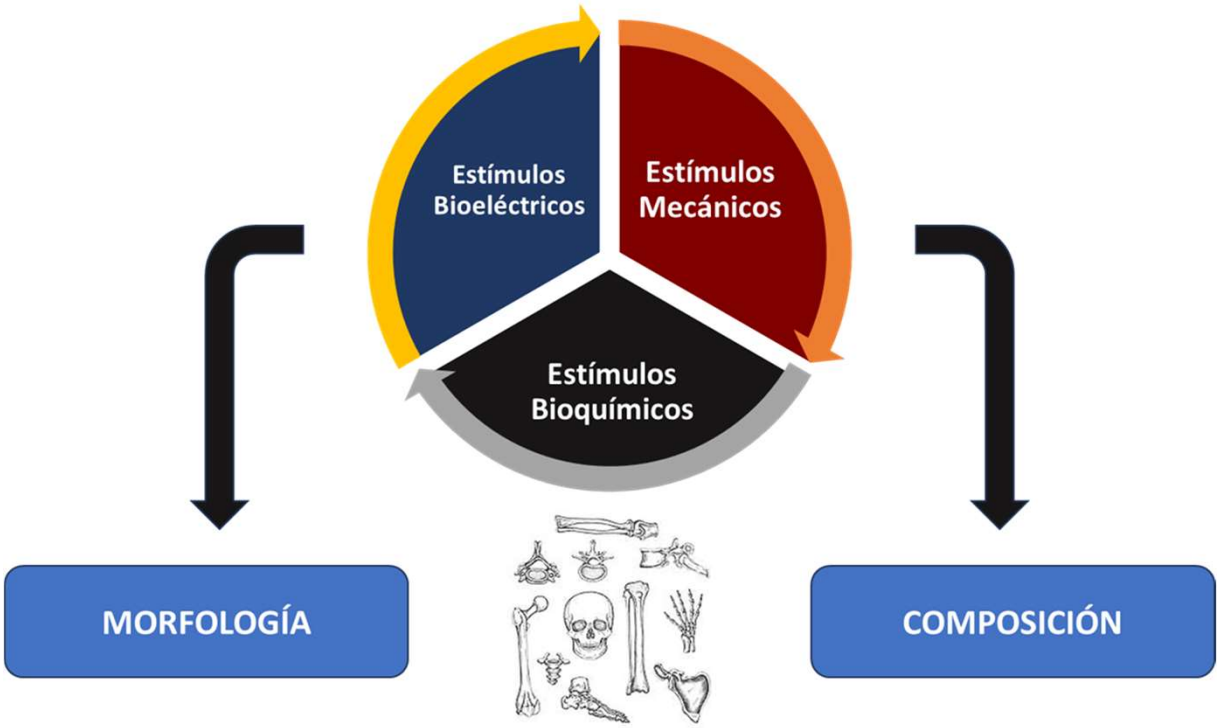
- **Valoración de Composición Corporal (DXA) de mujer posmenopáusica (57 a.) sometida a tratamiento de corticoides durante varios años.**

DMO está en valores medios para su Edad, Género y PC

- **Posiblemente debido a que ya poseía una buena DMO por el entrenamiento acumulado durante su vida.**
- **Posiblemente también se deben, al régimen de Trabajo de Fuerza que incluyó en su protocolo de recuperación de su SARCOIDOSIS.**

ENTORNO ANABÓLICO MOLECULAR DEL HUESO





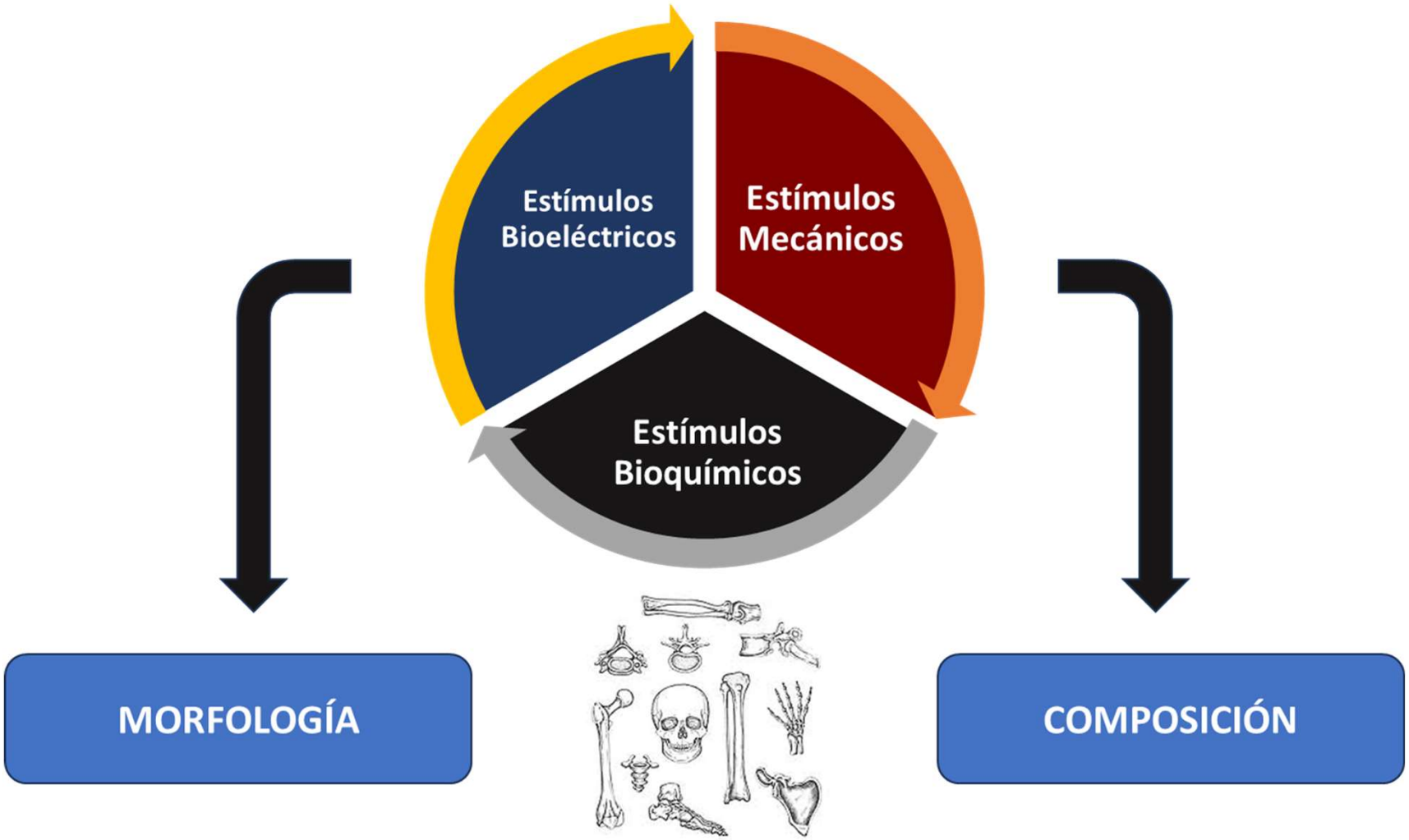
Crecimiento, Reparación y Mantenimiento del Esqueleto están bajo el control y dependencia de un

ENTORNO ANABÓLICO

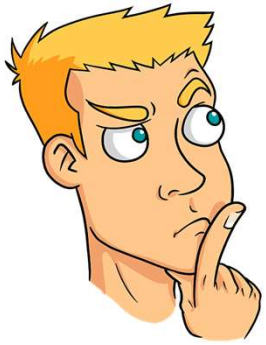
Estímulos Mecánicos, Nutrientes, Hormonas Circulantes, Efectores Generados Localmente (Moleculares) y Condicionantes Genéticos que regulan su Modelado & Remodelado

ENTORNO ANABÓLICO

SEÑALES QUE DETERMINAN TAMAÑO, FORMA Y COMPOSICIÓN DEL HUESO



EFECTOS QUE PROVOCAN LOS ESTÍMULOS MECÁNICOS EN EL ESQUELETO







HUESO

MECANORRECEPTORES

TENSIÓN

MÚSCULO

Estructura Ósea

Osteocitos

REGULAN PROCESOS

Construcción/Remodelación

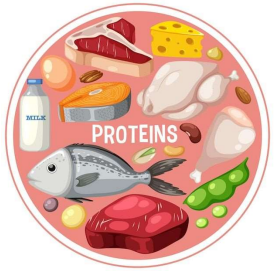
(Osteoclastos/Osteoblastos)

Respuesta Molecular Específica

Pool Mineral



EJERCICIO



RESPUESTA HORMONAL ANABÓLICA

(Hormonas Reproductivas, GH, IGF1 y Calcicotrópicas)

HOMEOSTASIS MINERAL

ESTÍMULOS MECÁNICOS

(ENTRENAMIENTO DE FUERZA)

ENTORNO ANABÓLICO/CATABÓLICO ESTRUCTURAS ÓSEAS

ALIMENTACIÓN

DIETA
(TIPO DE NUTRIENTES)

INGESTA ENERGÉTICA
(VALOR CALÓRICO)

MINERALES & VITAMINAS ADECUADAS



RESPUESTA HORMONAL ANABÓLICA

ANDRÓGENOS (+)

ESTRÓGENOS (+)

CALCIOTRÓPICAS (+/-)

GLUCOCORTICOIDES (-)

PARATIROIDEAS (-)

CCN3 (+)



MECANISMOS MOLECULARES DE FEEDBACK (MUSCULO-HUESO)

MIOCINAS
(IL-6, IL-7, IL-15)

FACTORES CRECIMIENTO
(TGFβ, FGF, GDF8)

METALOPROTEINAS DE MATRIZ
(MMP2, SPARC)

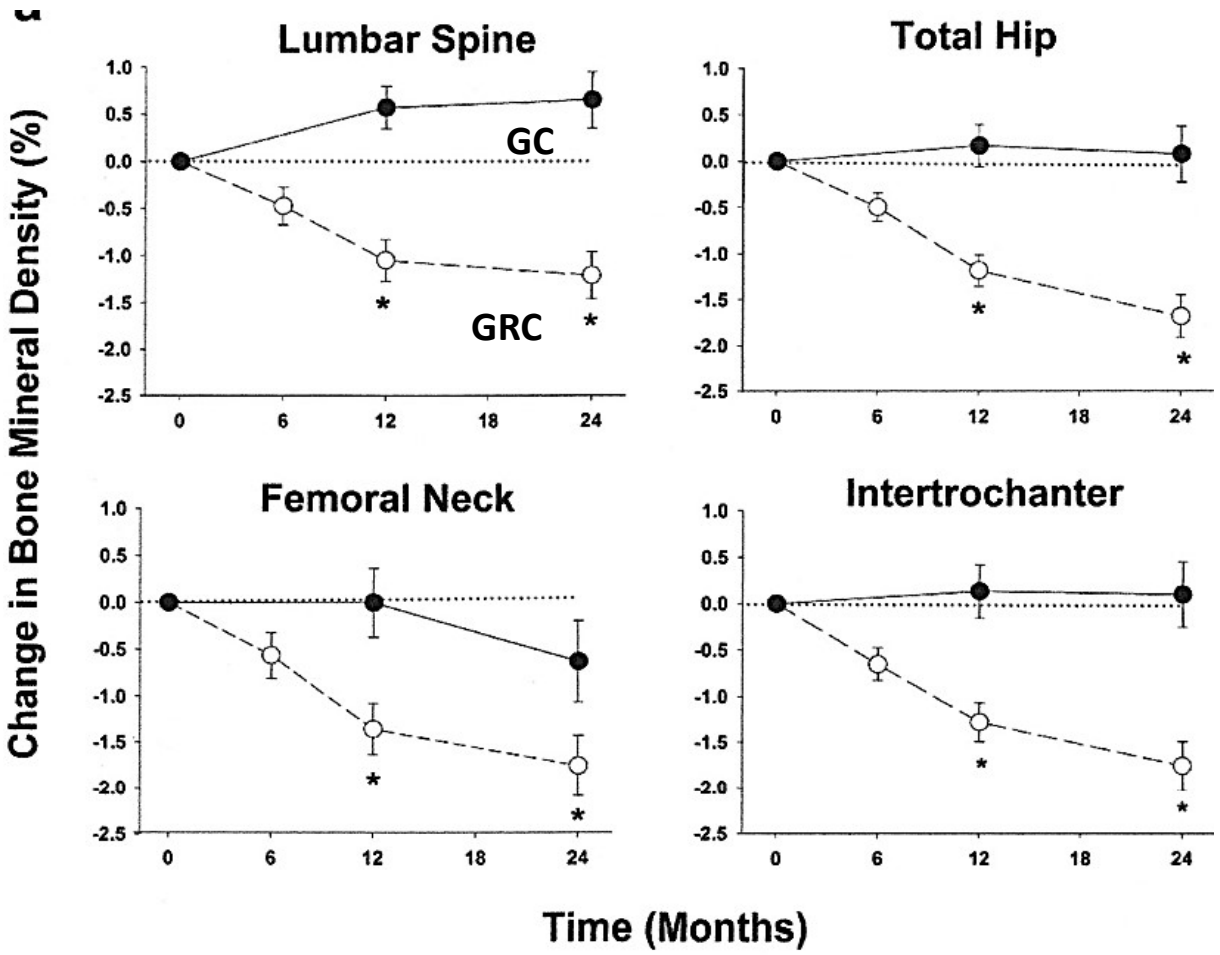
Effect of two-year caloric restriction on bone metabolism and bone mineral density in non-obese younger adults: a randomized clinical trial.

Villareal D.T., Fontana L., Das S. K., Redman L., Smith S.R.,... & CALERIE Study Group

Journal of Bone and Mineral Research, 31(1), 40-51. 2016.



Grupo Control (GC) vs. Grupo Restricción Calórica (GRC)



RESTRICCIÓN CALÓRICA: podría mejorar la expectativa de vida saludable, pero también causa pérdida de peso asociada a una REDUCCIÓN DE LA MASA ÓSEA.

En este estudio se observa una reducción significativa de la DMO en columna lumbar, cadera y cuello femoral, por aumento en la resorción ósea y por disminución en la formación ósea

Disminuciones en DMO de columna y cadera se pueden predecir a partir de la disminución del PC.

Hormonal Regulation of the Positive and Negative Effects of Exercise on Bone

Whitney R.D. Duff & Philip D. Chilibeck. En Hackney A & Constantini N. Endocrinology of Physical Activity and Sport (pp. 229-247). Humana, Cham. 2020.

ENTRENAMIENTO (FUERZA) Y DIETA

Dieta Equilibrada +

Calcio, Fósforo, Magnesio, Vitaminas (D, K, A y C) & ¿Fitoestrógenos?

SON ASPECTOS CLAVES PARA GARANTIZAR UNA BUENA SALUD ÓSEA

EJERCICIO SIN INGESTA DE ENERGÍA ADECUADA (↓ RATIO INGESTA/GASTO ENERGÉTICO)

HORMONAS REPRODUCTIVAS, GH-IGF1 y/o HORMONAS CALCIOTRÓPICAS



REDUCE NIVELES ESTRÓGENOS & TESTOSTERONA

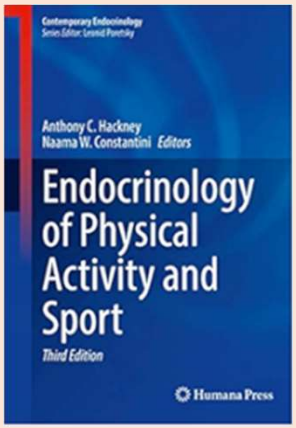
⇓ ⇓ ⇓ ⇓

IMPACTO NEGATIVO SOBRE LOS HUESOS

ENTRENAMIENTO SIN INGESTA ADECUADA DE CALCIO

↑↑ LIBERACIÓN PARATHORMONA (PTH) ⇒

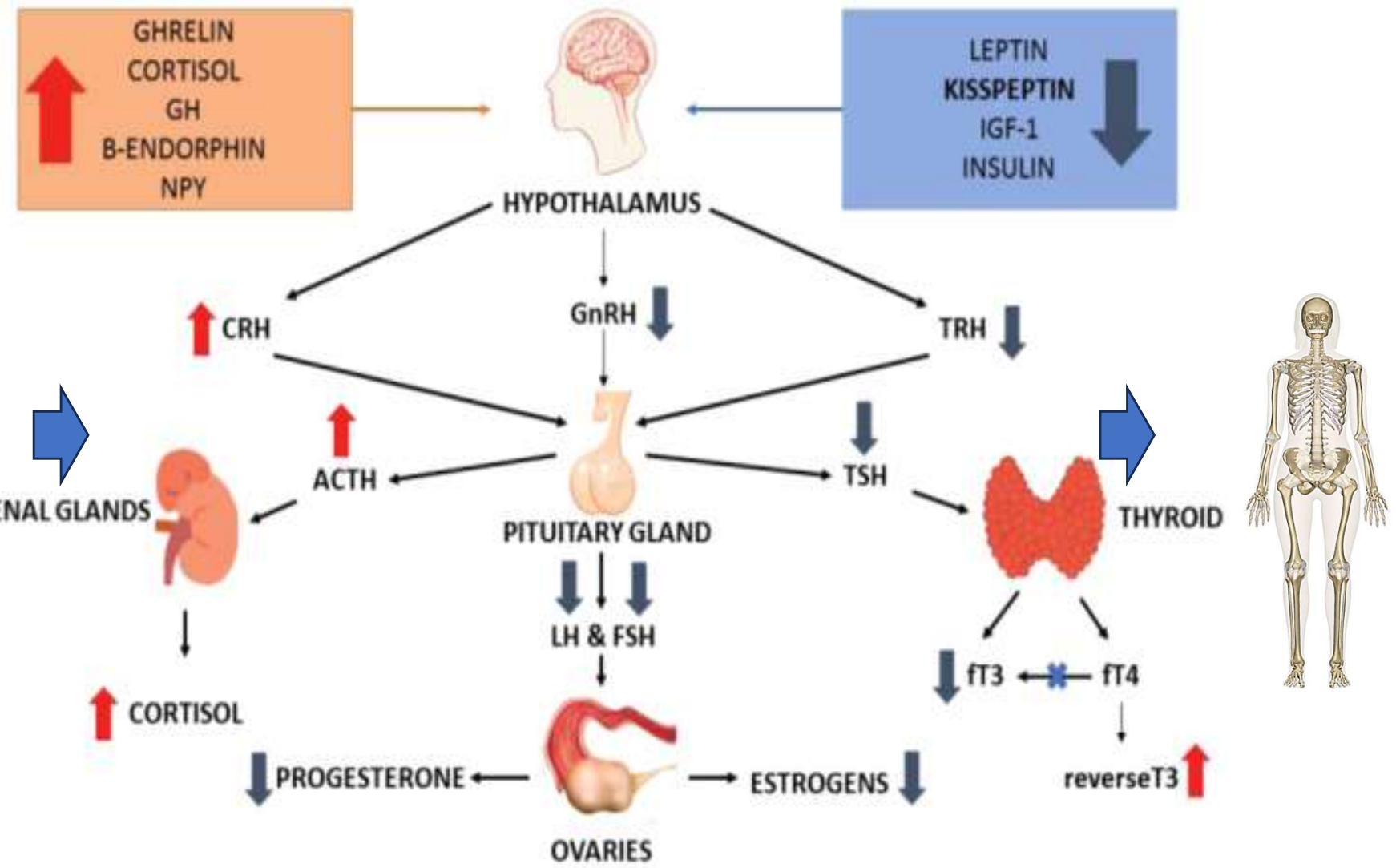
REABSORCIÓN ÓSEA & PÉRDIDA DE TEJIDO ÓSEO



ENTRENAMIENTO DE FUERZA & ENTORNO HORMONAL vs. ESTRUCTURAS ÓSEAS

(TAMAÑO, FORMA, DENSIDAD & RESISTENCIA)



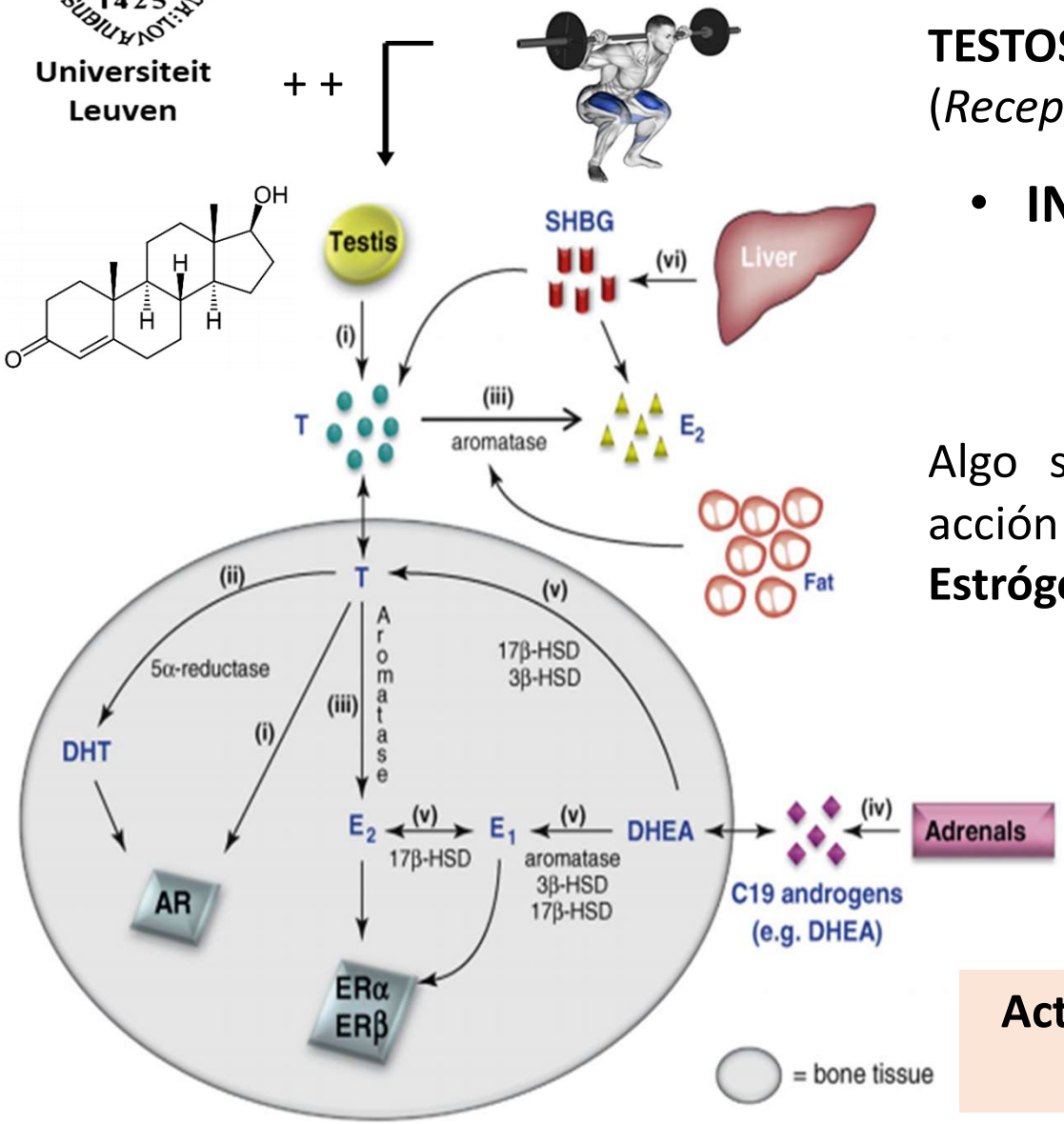


Sex steroids and the male skeleton: a tale of two hormones

Callewaert, F., Boonen, S. & Vanderschueren, D.

Trends in Endocrinology & Metabolism, 21(2), 89-95. 2010.

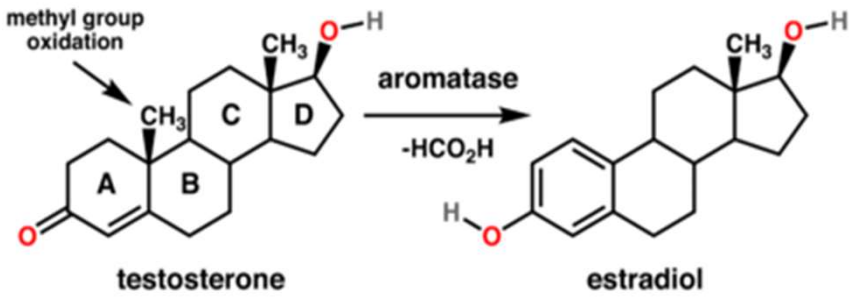
Universiteit Leuven



TESTOSTERONA: actúa sobre su receptor (*Receptor de Andrógenos*) en las Células Óseas.

- **INCREMENTA BMD**
  - Estimula Osteoblastos
  - Inhibe Osteoclastos

Algo similar ocurre con la ***Tt*** cuando, por acción de **Aromatasa**, es transformada en **Estrógenos**.

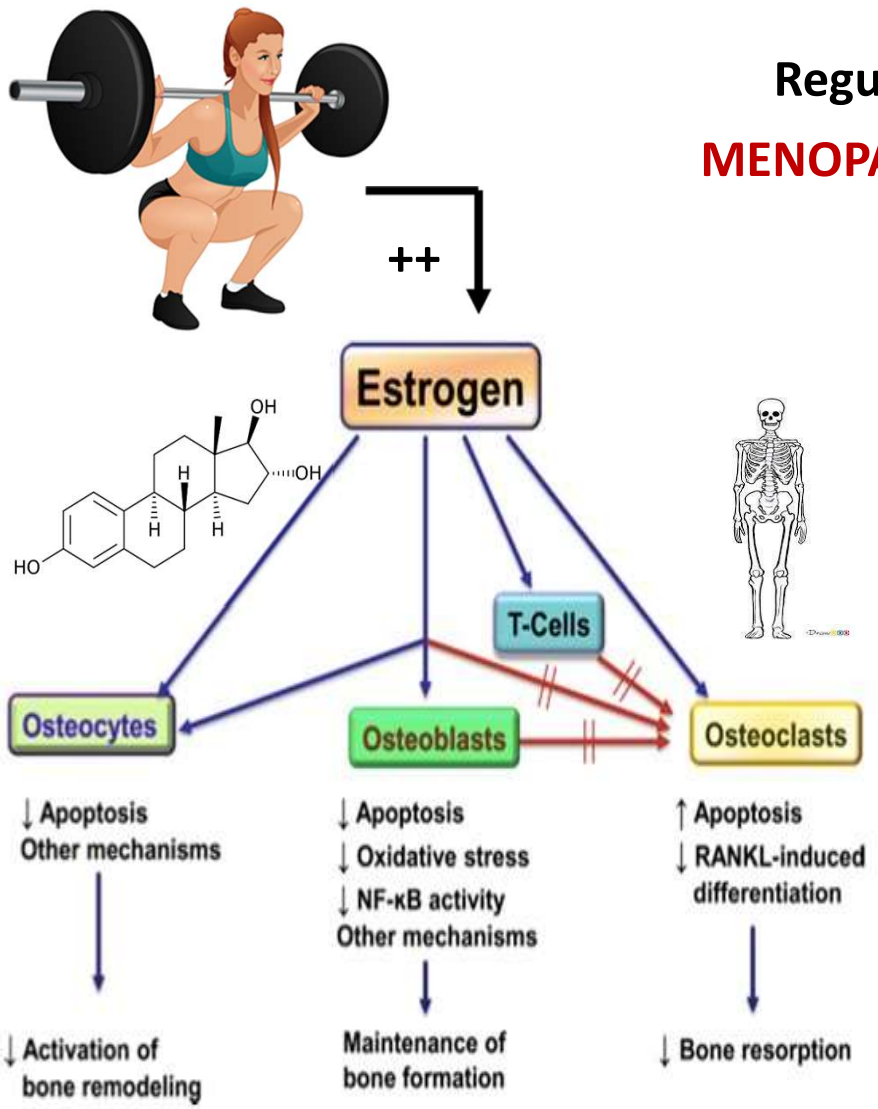


Actúan sobre el Crecimiento Longitudinal, Hueso Trabecular y Hueso Cortical

Estrogen and bone health in men and women

Jan Cauley (University of Pittsburgh)

Steroids, 99, 11-15. 2015.



ESTRÓGENOS (27 y 161 pg/ml)

Reguladores claves del Metabolismo Óseo (♂ & ♀)

MENOPAUSIA, y la consiguiente pérdida de ESTRÓGENOS, va asociada a una disminución de la DMO

- **Niveles Estradiol bajos (<5 pg/ml), se asocian con aumento en las Fracturas Vertebrales y Cadera (2,5 veces) en ♀.**
  - Asociación independiente de Edad y P.C.
  - Existen asociaciones similares en ♂
- **Aumento moderado de Estrógenos con Entrenamiento de la Fuerza**

Entrenamiento de Fuerza parece tener efectos aditivos o sinérgicos con:

Terapia de Reemplazo de ESTRÓGENOS

埼玉医科大学
Saitama Medical University

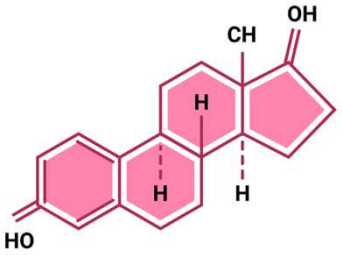
Functions of estrogen and estrogen receptor signaling on skeletal muscle

Kazuhiro Ikeda, Kuniko Horie-Inoue & Satoshi Inoue.

The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology, 191, 105375. 2019.

ESTRÓGENOS

Importantes reguladores del metabolismo óseo, que afecta al:
proceso de remodelación ósea a través de mecanismos:



DIRECTOS e INDIRECTOS

Afectan a la **HOMEOSTASIS del CALCIO** al:

- Aumentar la absorción de calcio
- Disminuye la excreción urinaria de calcio

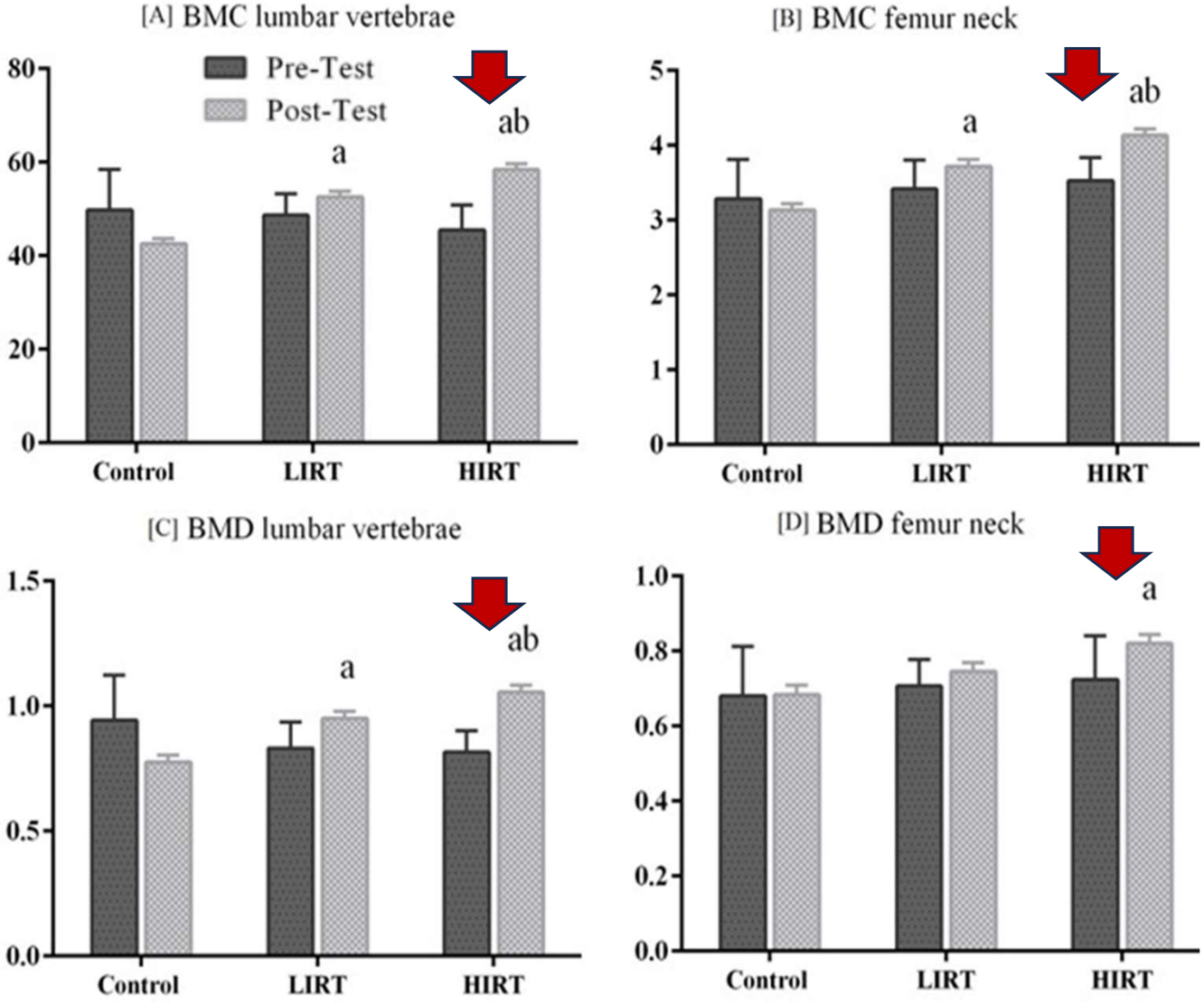
- **Disminución de estrógenos asociada con la AMENORREA ATLÉTICA, puede provocar debilidad ósea y fracturas por fatiga.**
- **Aunque la producción endógena de estrógeno disminuye tras la MENOPAUSIA, se ha demostrado que el estrógeno biodisponible está asociado, positivamente, con la DMO en mujeres posmenopáusicas**
  - **Esto sugiere que incluso niveles bajos de estrógenos pueden ser importantes y suficientes para frenar la pérdida ósea**

دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

High versus Low-Intensity Resistance Training on Bone Mineral Density and Content Acquisition by Postmenopausal Women with Osteopenia: A Randomized Controlled Trial

Eslamipour, F., Gheitasi, M., Hovanloo, F. & Yaghoubitajani, Z.

Medical Journal of the Islamic Republic of Iran, 37(126). doi: 10.47176/mjiri.37.126. 2023.



MUESTRA

45 mujeres posmenopáusicas

EDAD: 50 a 60 años

PROTOCOLO

3 días/semana (24 Semanas)

HIRT: 8 x 70→85% 1RM

LIRT: 16 x 40→60% 1RM



BRAIN-DERIVED CELLULAR COMMUNICATION NETWORK FACTOR 3 (CCN3)

A maternal brain hormone that builds bone

Babey M.E., Krause W.C., Chen K., Herber C.B., Torok Z., Nikkanen J., ... & Ingraham H.A.

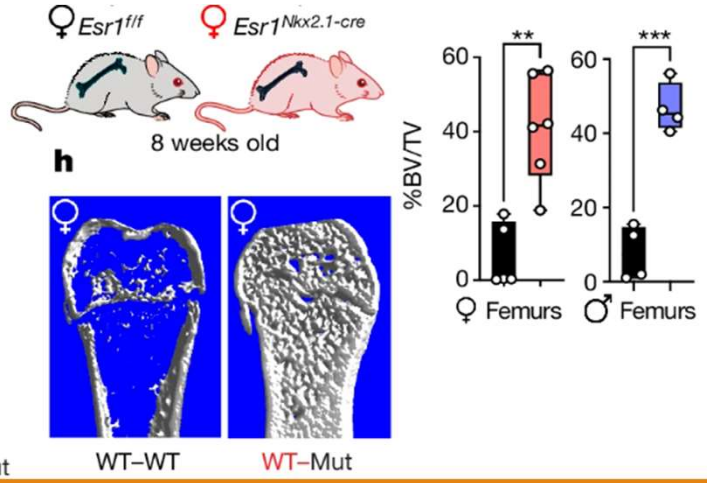
Nature, 632, 357–365. 2024.

En madres lactantes, la elevada demanda de calcio (Ca^{2+}) para producir leche **desencadena una pérdida ósea significativa**

HORMONA CCN3, producida en el cerebro por las "Neuronas ARCKISS1" ⇒ ⇒ ⇒
Estimula la actividad de Células Madre Esqueléticas ⇒
Aumenta la remodelación ósea y acelera la reparación de fracturas
(ratas jóvenes y viejas de ambos sexos)

Los estrógenos normalmente contrarrestan la resorción ósea excesiva al promover la formación ósea (aumenta)

Este esteroide cae durante el posparto



En la actualidad se desconoce cual es la respuesta de la CCN3 con el ejercicio



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

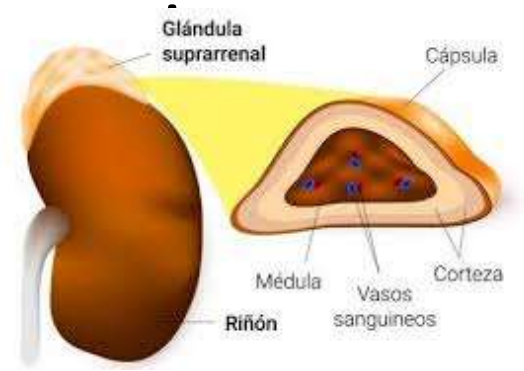
Elevated hair cortisol concentrations in endurance athletes

Skoluda, N., Dettenborn, L., Stalder, T., & Kirschbaum, C.

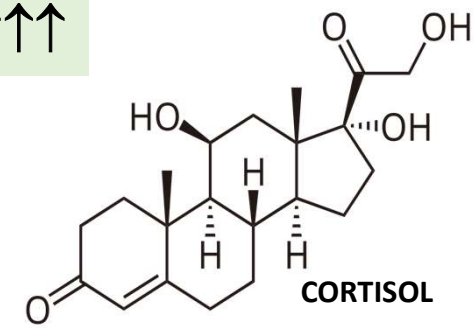
Psychoneuroendocrinology, *37*(5), 611-617. 2012.

El Estrés Mecánico que provocan el Entrenamiento y/o la participación en Pruebas de Resistencia de predominio AERÓBICO, se asocia con una exposición elevada al CORTISOL durante períodos prolongados de





↑↑↑



NIVELES FISIOLÓGICOS DE CORTISOL:

Promueven la **FORMACIÓN ÓSEA** a través de la inducción de diferenciación osteogénica de las células progenitoras.

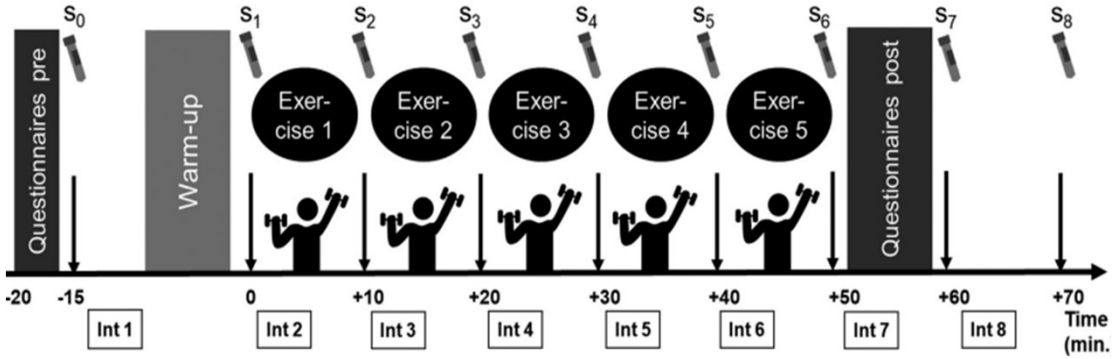
NIVELES ELEVADOS DE CORTISOL:

INHIBEN: Proliferación, Diferenciación y **Apoptosis** de **OSTEOBLASTOS**, lo que podría **FRENAR** el proceso de **FORMACIÓN ÓSEA** y conducir a una **MENOR Densidad Ósea**.

Resistance training as an acute stressor in healthy young men: associations with heart rate variability, alpha-amylase, and cortisol levels

Linda Becker, Lucas Semmlinger & Nicolás Rohleder

Stress, 24(3), 318-330. 2021.



Entrenamiento: 5 ejercicios (4 series x 10 repeticiones)

Muestra: 45 ♂ (**Edad:** 22,4±2,0 años; **IMC**: 23,7±1,8 kg/m^2

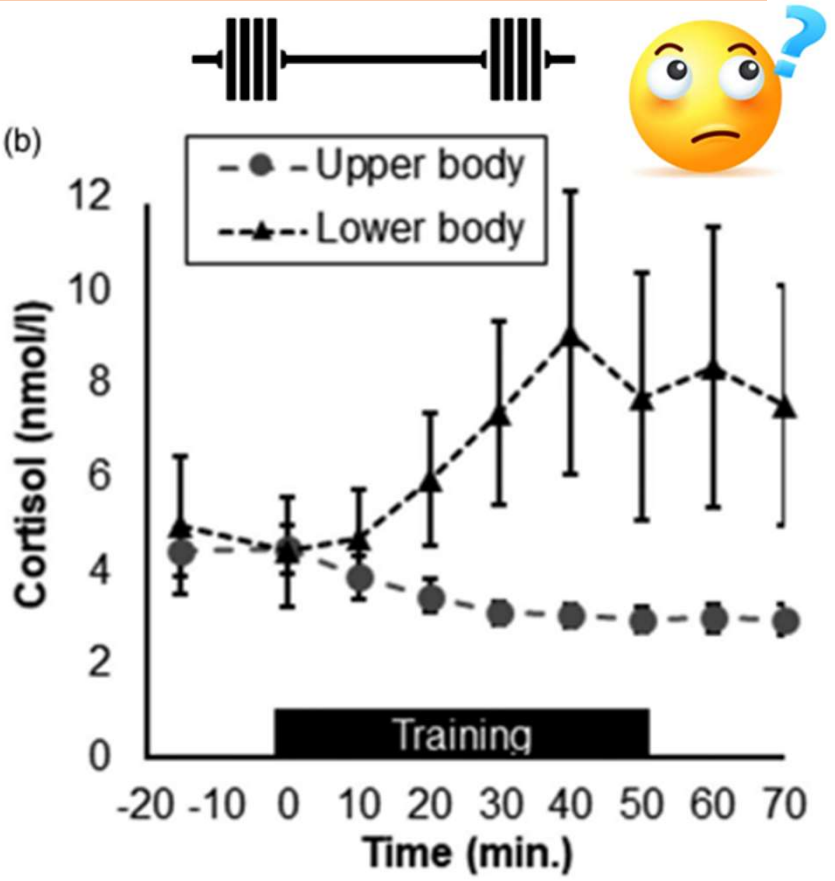
Los resultados de estudios anteriores son contradictorios y dan resultados no concluyentes:

Izquierdo et al 2009: los niveles de cortisol en hombres sanos aumentan.

Kohanpour et al., 2013: disminuyen en mujeres sanas.

Fry & Lohnes, 2010: no describen cambios en hombres sanos.

ENTRENAMIENTO DE FUERZA vs. NIVELES DE CORTISOL



Becker et al. 2021.

Principales Hormonas que regulan Metabolismo Óseo:
Paratohormona (PTH), Calcitonina y Vitamina D3

HORMONAS CALCICOTRÓPICAS & ENTRENAMIENTO DE FUERZA

PTH

Principal regulador del Metabolismo Óseo manteniendo la concentración Ca^{2+} de fluidos extracelulares en límites fisiológicos

Con el ejercicio crónico los niveles de PTH pueden reducirse

Atletas Entrenados en Fuerza (♂ & ♀) tienen niveles de PTH sérica más bajos que los Sujetos Sedentarios

Esto se ha asociado con valores de DMO más elevados

↓ PTH tiene Efectos Anabólicos en hueso por estimulación de Osteoblastos



CALCITONINA

Ayuda a prevenir la Reabsorción Ósea





VITAMINA D_3

Permite una mayor absorción intestinal de Calcio y una mayor Masa Ósea (CMO)

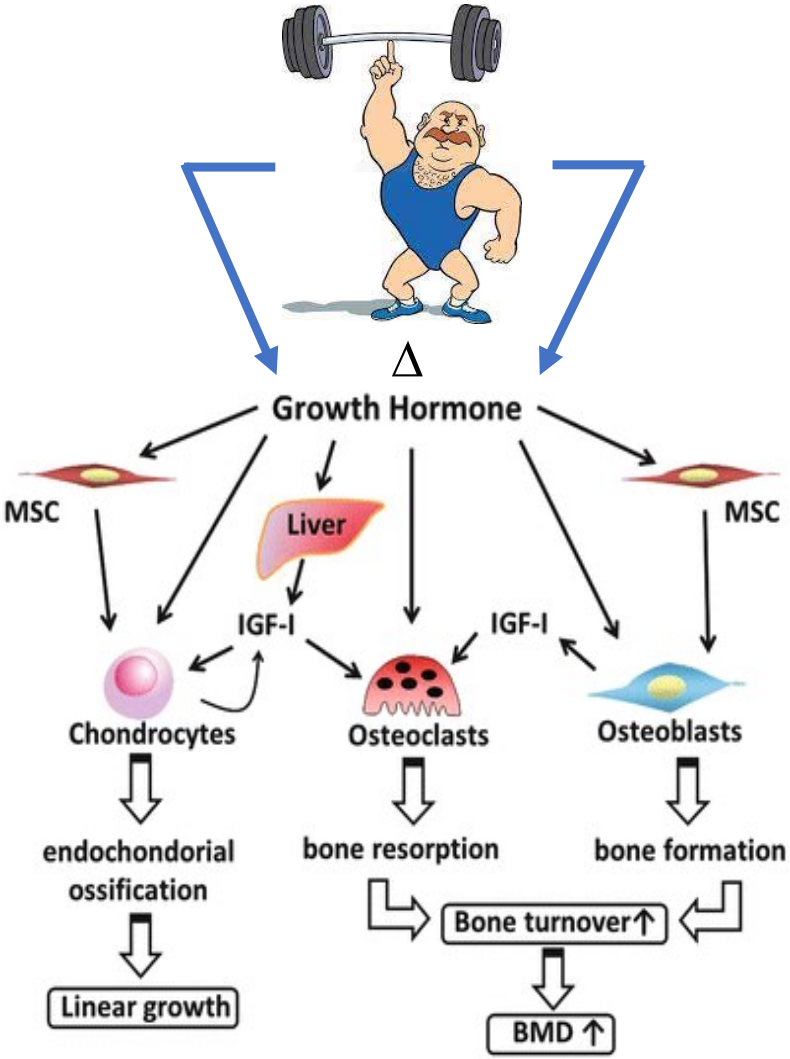
HORMONA CRECIMIENTO

Estimula la producción de Vitamina D3

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

Daily hormonal and neuromuscular responses to intensive strength training in 1 week

Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. International Journal of Sports Medicine, 9(06), 422-428. 1988.



ENTRENAMIENTO DE FUERZA

Eleva niveles de GH después del ejercicio de manera similar en ♂ y ♀

Eje GH - IGF-1:

Tiene efectos en el esqueleto al influir en el Metabolismo Óseo (↑ Vitamina D3)

(Regula Formación y Reabsorción Ósea)

DEFICIENCIA DE GH:

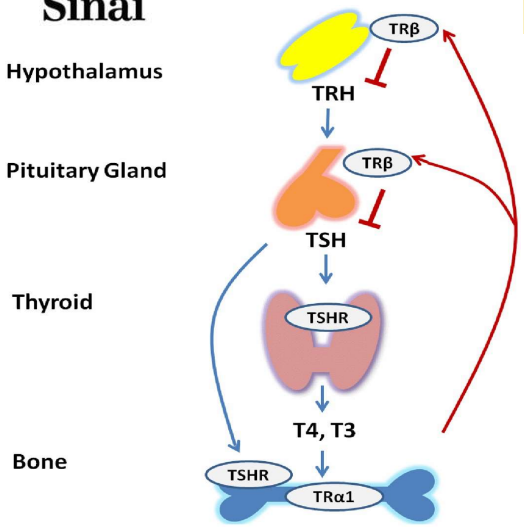
NIÑOS:

Disminuye recambio óseo y retrasa el crecimiento

ADULTOS:

Baja Masa Ósea & Aumenta Riesgo Fracturas

Mount Sinai



Thyrotropin, hyperthyroidism, and bone mass

Kim, S. M., Ryu, V., Miyashita, S., Korkmaz, F., Lizneva, D., Gera, S., ... & Zaidi, M.
The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 106(12), e4809-e4821. 2021.

HIPERTIROIDISMO

(Crisis Tirotóxica, Tirotoxicosis o Tormenta Tiroidea)

(niveles excesivos de hormonas tiroideas circulantes en el plasma sanguíneo)

Estimula el remodelado causando pérdida de hueso por balance óseo negativo, con expansión de las cavidades de resorción & aumento de las perforaciones trabeculares

Provoca Osteopenia, Osteoporosis y aumenta el Riesgo de Fracturas Óseas

Serum thyroid hormones, thyrotropin and thyroxine binding globulin during prolonged strength training

Pakarinen, A., Alén, M., Häkkinen, K. & Komi, P.
European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 57, 394-398. 1988.

UNIVERSITY OF OULU

Entrenamiento intenso y prolongado de fuerza, puede reducir ligeramente las Concentraciones Séricas de T4 (total & libre)

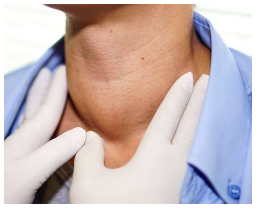
Concentraciones de T4 disminuyen y regresan a niveles previos con el desentrenamiento



↓ T4



↑ T4



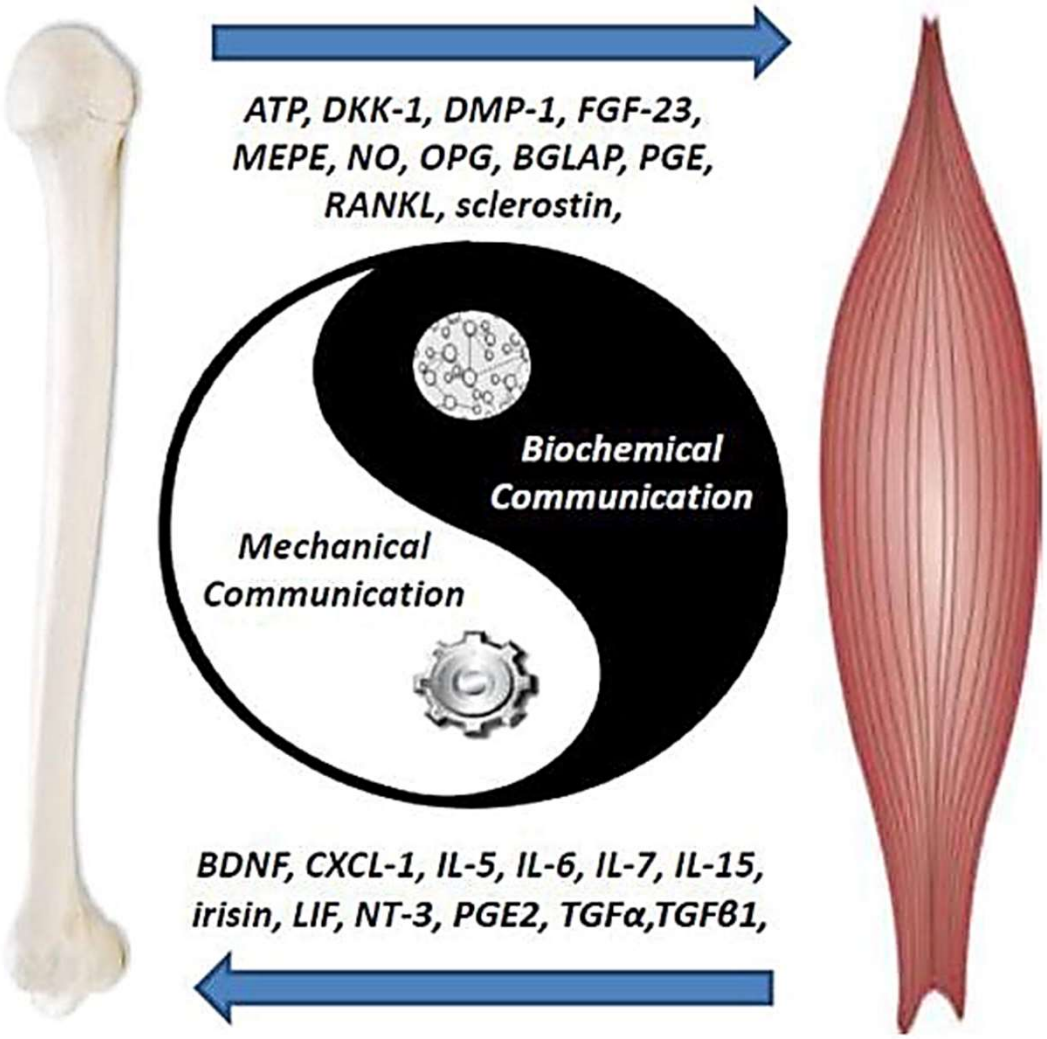


UMKC
School of Nursing and Health Studies

Bone and muscle: interactions beyond mechanical

Marco Brotto & Lynda Bonewald

Bone, 80, 109–114. 2015.



Músculos & Huesos

Órganos Secretores/Endocrinos

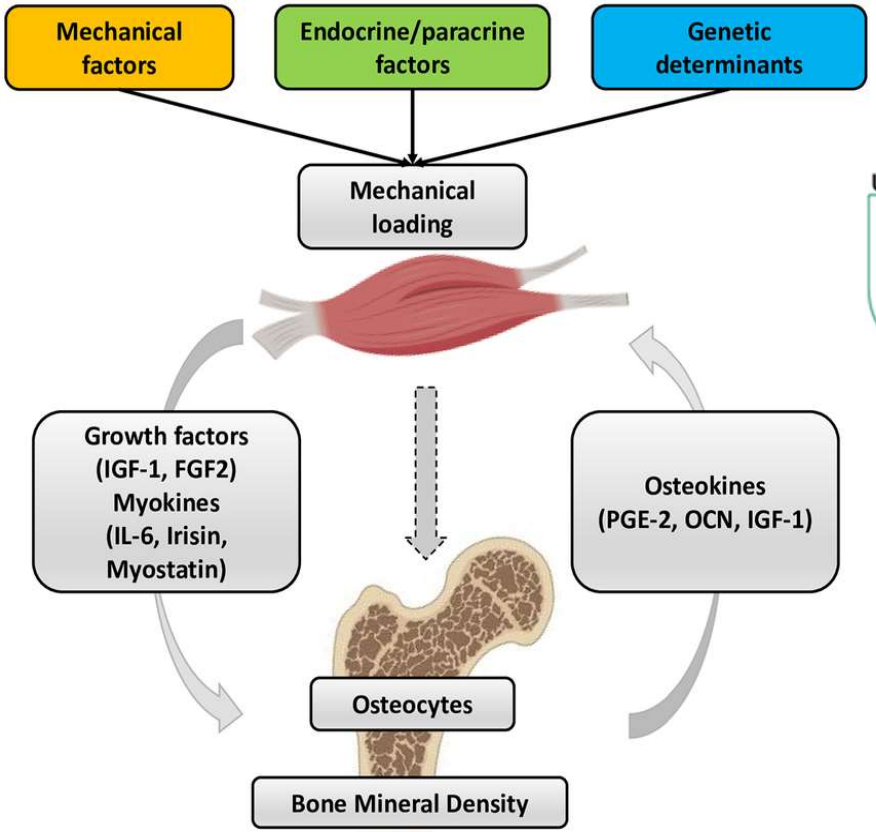
Comunicación entre Músculo & Tejido Óseo depende de un proceso de: MECANOTRANSDUCCIÓN mediante el cual las Fuerzas Mecánicas que se producen en todo el cuerpo se transducen a nivel de órganos y tejidos y, finalmente, también a nivel celular

Sarcopenia and bone health: new acquisitions for a firm liaison

Tarantino, U., Greggi, C., Visconti, V. V., Cariati, I., Bonanni, R., Gasperini, B., ... & Iundusi, R.

Therapeutic Advances in Musculoskeletal Disease

14, 1759720X221138354. 2022.



La percepción del Estímulo Mecánico por los Osteocitos activa una cascada de eventos que culminan en la regulación de Genes Mecanosensibles

Università di Roma Tor Vergata

FACTORES DE COMUNICACIÓN ENTRE HUESO Y MÚSCULO:

Factores Biomecánicos, Condicionantes Genéticos & Factores Paracrinos/Endocrinos

MECANISMOS MOLECULARES DE FEEDBACK (BIDIRECCIONALES) (SECRETOMAS)

Permiten interacción Bioquímica

MÚSCULO-HUESO

- **Factores de Crecimiento;**
  IGF-1, FGF & GDF8, TGFβ1 (-)
- **Miocinas:**
  IL-6, IL-7, IL-15, Inhibina-A & Miostatina
- **Metaloproteínas de Matriz:**
  SPARC & MMP2



HUESO-MÚSCULO

- **Osteocinas:**
  Prostaglandina E2 (PGE-2), Osteocalcina e IGF-1

A role for myokines in muscle-bone interactions

Mark W. Hamrick

Exercise and Sport Sciences Reviews, 39(1), 43-47. 2011.

SEÑALES DEL MÚSCULO ⇒⇒ AL HUESO

Mioquinas secretadas por los músculos que influyen en la composición de los huesos

Mecanismos que estimulan la liberación y los resultados del metabolismo óseo

MIOCINAS	ESTÍMULO DE SECRECIÓN	METABOLISMO ÓSEO
MIOCINAS		
IL-6	Contracción Muscular	Reabsorción Formación Ósea
IL-7	Contracción Muscular	Reabsorción Ósea
IL-15	Entrenamiento de Fuerza	Aumento del Hueso

El músculo es fuente de factores secretados (MIOCINAS) que pueden influir en la Masa Ósea (CMO y DMO) de forma positiva o negativa.

University of Technology Sydney

Mechanical basis of bone strength:
influence of bone material, bone structure and muscle action

Hart NH, Nimphius S, Rantalainen T, Ireland A, Siafarikas A. & Newton RU.
Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interaction. 17(3), 114-139. 2017.

SEÑALES DEL MÚSCULO ⇒⇒ AL HUESO

MIOCINAS	ESTÍMULO DE SECRECIÓN	METABOLISMO ÓSEO
METALOPROTEINAS DE MATRIZ (MMP)		
SPARC	Entrenamiento de Fuerza	Promueve Mineralización
MMP-2	Entrenamiento de Fuerza	Promueve Curación Promueve Remodelación

Osteonectina (SPARC) & Metaloproteinasa de Matriz (MMP-2)

Tienen efectos Anabólicos sobre el Hueso en respuesta a la actividad física, el ENTRENAMIENTO DE FUERZA, el daño muscular o un traumatismo

Role of muscle-derived growth factors in bone formation

Mark W. Hamrick, Paul L. McNeil & Stella L. Patterson

Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions, 10(1), 64–70. 2010.

DEÑALES DEL MÚSCULO ⇒⇒ AL HUESO

MIOCINAS	ESTÍMULO DE SECRECIÓN	METABOLISMO ÓSEO
FACTORES DE CRECIMIENTO		
IGF-1	Trabajo de Fuerza	Estimula Formación Ósea
FGF	Trabajo Excéntrico	Estimula Formación Ósea
TGFβ-1	Daño Muscular Atrofia Muscular	Suprime Curación/Formación Ósea
GDF-8 (Miostatina)	Daño Muscular Atrofia Muscular	Suprime Curación/Formación Ósea

Factor de Crecimiento Similar a la Insulina (IGF-1), Factor de Crecimiento de Fibroblastos (FGF-2), Factor de Crecimiento Transformante (TGF-β1) & Miostatina (GDF-8)

Tienen efectos Anabólicos o Catabólicos sobre el Hueso en respuesta a la actividad física, el ENTRENAMIENTO DE FUERZA, daño muscular o traumatismo

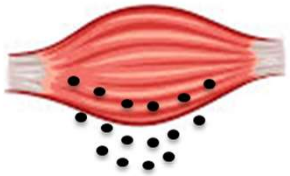
German Institute of Human Nutrition Potsdam-Rehbruecke

The myokine decorin is regulated by contraction and involved in muscle hypertrophy

Kanzleiter T, Rath M, Görgens SW, Jensen J, Tangen DS, Kolnes AJ, Kolnes KJ, Lee S, Eckel J, Schürmann A & Eckardt K.

Biochemical and Biophysical Research Communications, 450(2), 1089-1094. 2014.





↑↑ DECORINA
(M.E.C.)

↑ FOLISTATINA

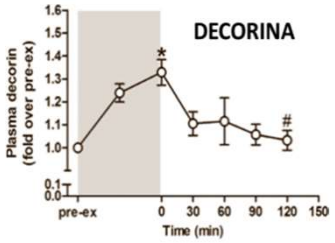


mTORC1/S6K
mediada por
PI3K/Akt

HIPERTROFIA MUSCULAR



VEJEZ & SEDENTARISMO



MIOSTATINA
SISTEMA UBIQUITINA
FOXO3
Atrogin-1
MuRF-1

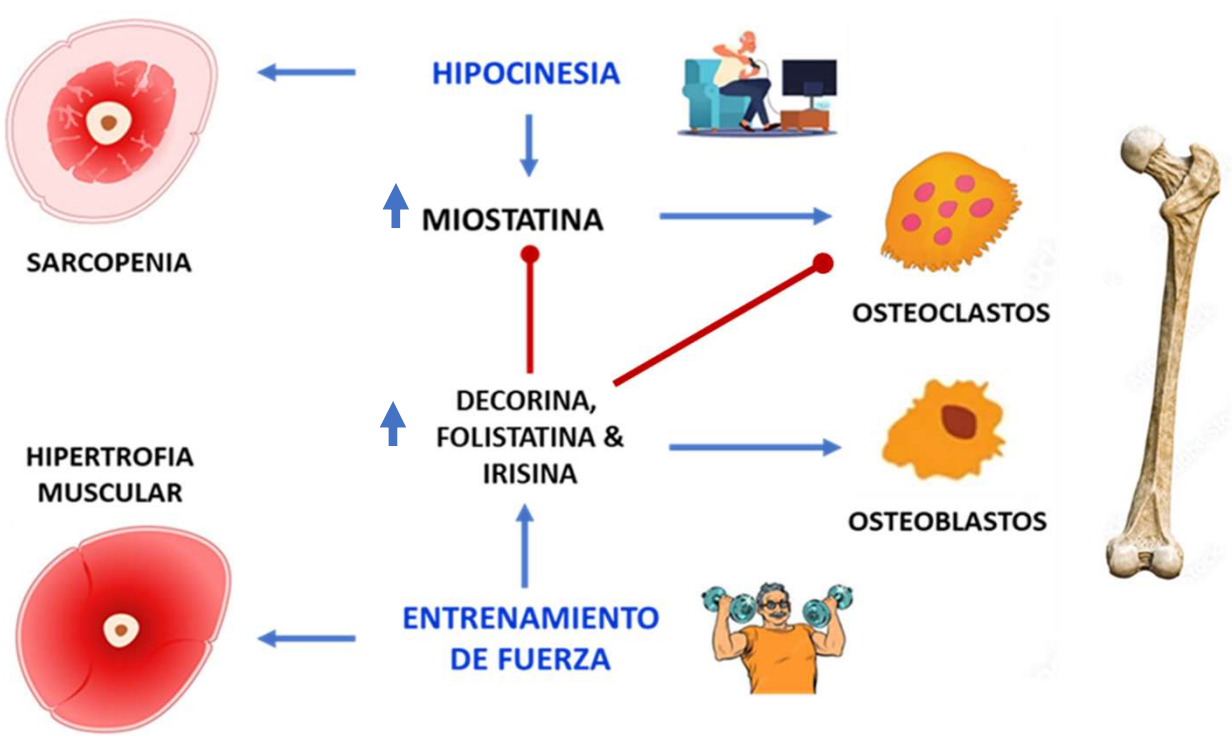
Activina A



ATROFIA MUSCULAR

Ejercicio (especialmente ENTRENAMIENTO EXTENSIVO DE FUERZA):
Produce DECORINA, activando la FOLISTATINA
(Ambas inhiben a MIOSTATINA & ACTIVINA-A)
Convirtiéndose en factores claves para:
CRECIMIENTO MUSCULAR (HIPERTROFIA MUSCULAR)

Relación entre el Entrenamiento de Fuerza y las Miocinas que afectan la Reabsorción y/o la Formación Ósea



MIOSTATINA

Aumenta con el descanso incrementando la reabsorción ósea

DECORINA & FOLISTATINA aumenta con la contracción e hipertrofia muscular, suprimiendo la reabsorción ósea inducida por la **MIOSTATINA**

FOLISTATINA e **IRISINA** pueden inhibir la **Osteoclastogénesis** (24 genes)

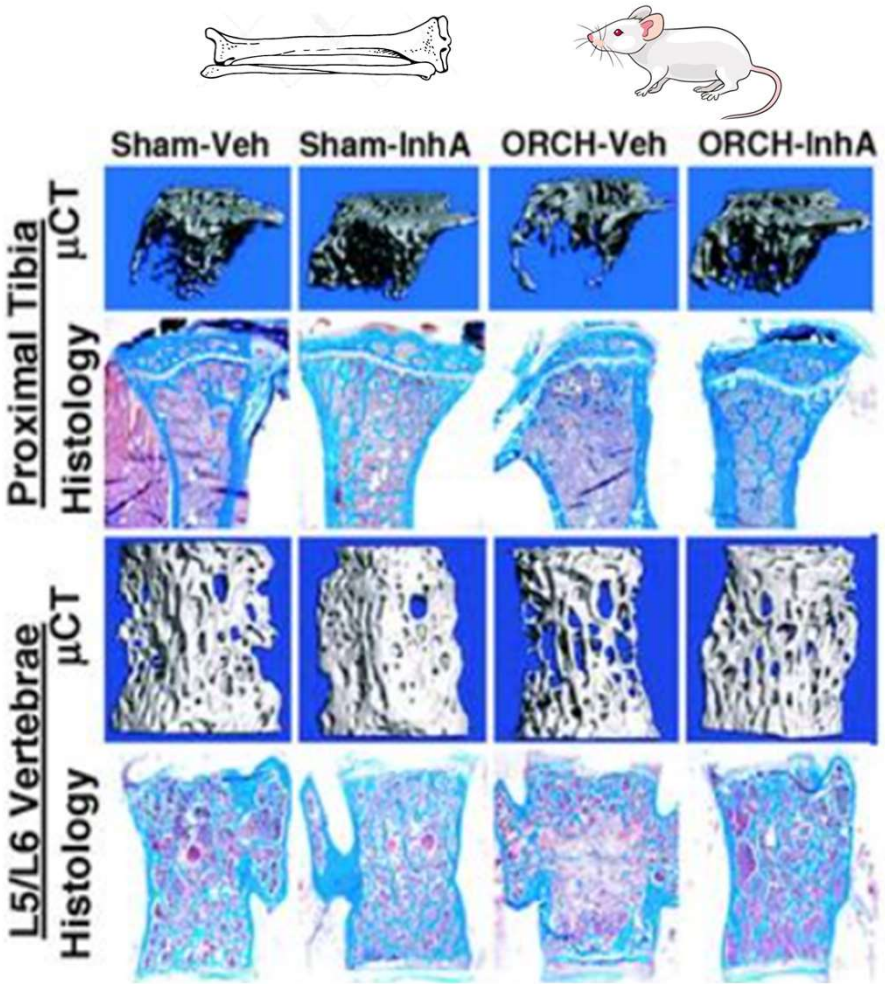
IRISINA estimular la **Osteogénesis**

Inhibin A is an endocrine stimulator of bone mass and strength

Perrien DS, Akel NS, Edwards PK, Carver AA, Bendre MS, Swain FL., ... & Gaddy D. Endocrinology, 148(4), 1654-1665. 2007.

Inhibina-A & Inhibina-B: Proteínas de la superfamilia TGFβ

INHIBINA-A: POTENTE AGENTE ANABÓLICO DEL TEJIDO ÓSEO

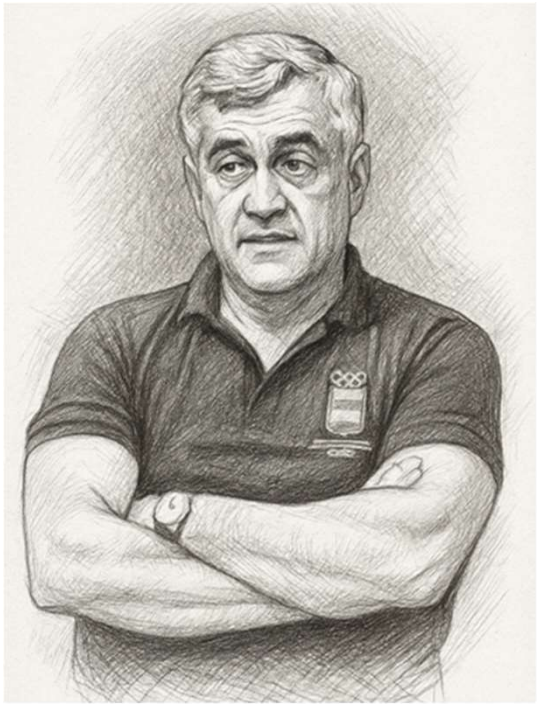


INHIBINA-A

- **Estimula: Masa Ósea (CMO & DMO)** & **Fuerza** de Estructuras Óseas.
- **Aumenta: DMO** Total Corporal.
- **Previene:** Pérdida de Tejido Óseo.
- **Evita:** Pérdida de **DMO**, **Volumen** y **Fuerza** ósea en Columna y Tibia Proximal.
- **Mejora:** Propiedades Biomecánicas de Tibia proximal en ratones.
- **Aumenta**: **Tasa de Aposición Mineral**, niveles de **Osteocalcina sérica** & **Osteoblastogénesis** sin afectar al número o actividad de los osteoclastos.

Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo

Dr. Juan Manuel García Manso



"ENTENDIENDO LA FUERZA"

ADAPTACIONES NEURONALES

ENTRENAMIENTO DE FUERZA

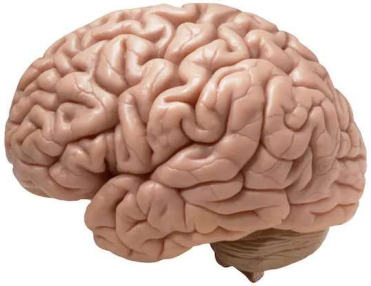
Los Niveles de Fuerza Muscular NO SOLO dependen de:

Cantidad y Calidad de las Estructuras Musculares que Activamos cuando realizamos una Acción Motriz o Gesto Deportivo

TAMBIÉN DEPENDE:

Capacidad del Sistema Nervioso (Central & Periférico) para activar, adecuadamente, las estructuras musculares implicadas en el movimiento







Un entrenamiento correctamente diseñado debe Provocar Respuestas Adaptativas & Generar Mecanismos de Autoorganización en los Sistemas Nerviosos Central & Periférico que permitan activar, de forma precisa, Patrones de Movimiento específicos para cada Gesto Deportivo, coordinando la acción de los músculos involucrados en el movimiento, logrando una tensión óptima que desarrolle la Fuerza necesaria en el momento y dirección correcta en cada Fase del Gesto

Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas

Azahara Fort Vanmeerhaeghe & Daniel Romero Rodríguez

Apunts. Medicina de l'Esport, 48, 109–120. 2013.

IMPLICACIÓN NEURONAL EN LOS GESTOS DEPORTIVOS

Ejecución de Patrones Motores Precisos y Eficientes Involucra a Mecanismos de:

⇓ ⇓ ⇓ ⇓ ⇓

PROPIOCEPCIÓN & CONTROL NEUROMUSCULAR ESPECÍFICOS

VÍAS AFERENTES (SENSORIALES) & VÍAS EFERENTES (MOTORAS)

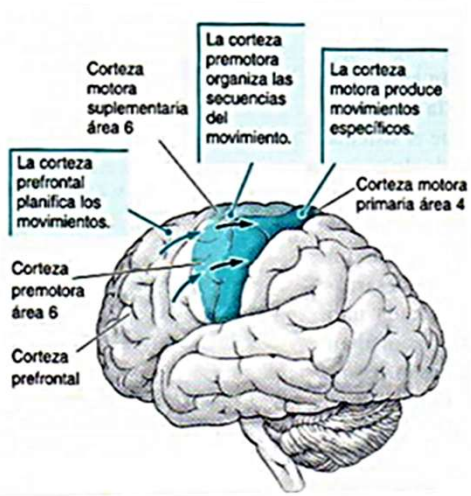
PROPIOCEPCIÓN: INTEROCEPCIÓN & EXTEROCEPCIÓN:

"Activación del sistema somatosensorial que es el responsable de detectar con las variaciones espaciales y temporales del entorno, así como la presión, tensión y longitud a las que se somete a las diferentes estructuras músculo/esqueléticas implicadas en un cualquier gesto o movimiento, adaptándose a las demandas del entorno y el objetivo a ejecutar"

CONTROL NEUROMUSCULAR:

"Activación muscular concreta, precisa y exacta, que posibilita el desarrollo coordinado y eficaz de la acción motriz deseada a través de creación de patrones de movimiento específicos, su ejecución y su permanente corrección"

JERARQUÍA DE LA ACCIÓN MOTORA

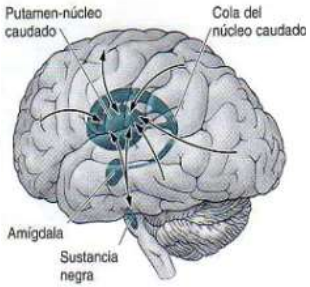


ENCÉFALO

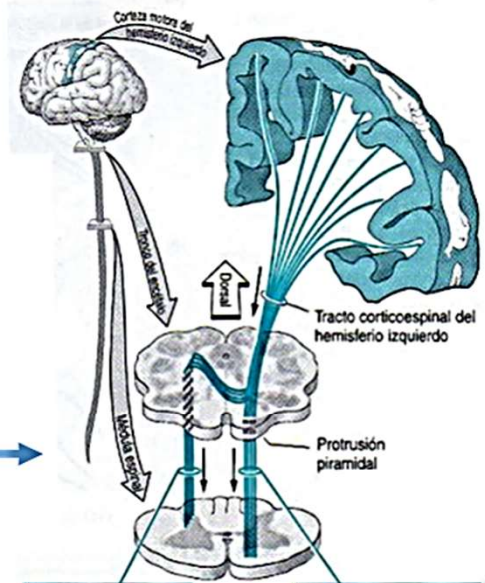
Cerebelo

Corteza premotora
Corteza suplementaria motora

Ganglios basales

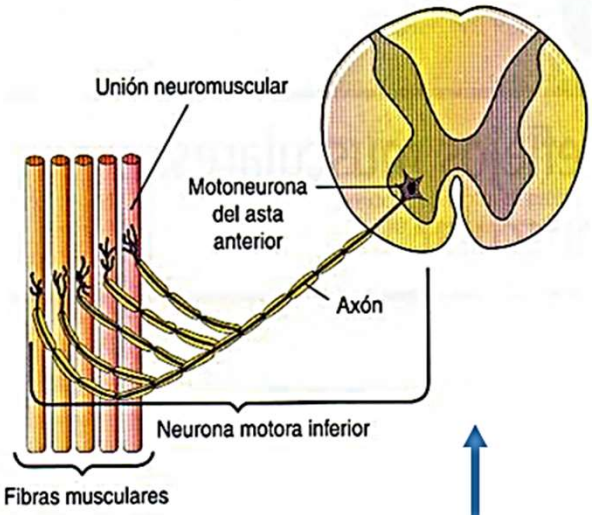


Corteza motora primaria



Tronco encefálico

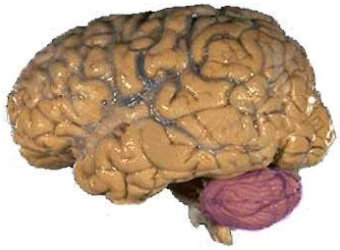
Mesencéfalo, Puente y Bulbo Raquídeo



MÉDULA ESPINAL

U.M.

Aparato locomotor



DISEÑO PERCEPTIVO-MOTORA DE LA TAREA MOTRIZ

Relación Motricidad *vs*. Sistema Sensoriomotor



Subsistemas que afectan al S.N.C.

VÍA AFERENTE

PROPIOCEPCIÓN

(INTERO & EXTEROCEPCIÓN)

Mecanorreceptores

Aferencias Periféricas

- Receptores Articulares
- Receptores Musculares
- Receptores Cutáneos

Receptores Visuales

Receptores Vestibulares

Niveles de Control & Ejecución Motora

VÍA EFERENTE

CONTROL NEUROMUSCULAR

DECODIFICACIÓN Y/O PROGRAMACIÓN COGNITIVA

CORTICALES & SUBCORTICALES

- Corteza Motora Primaria
- Corteza Motora Suplementaria
- Área Prefrontal (Premotora)
- Ganglios Basales
- Cerebelo

Tronco Encefálico

(Mesencéfalo, Puente & Bulbo Raquídeo)

Núcleos Cerebelosos Profundos

Tracto Reticuloespinal

Reflejos Espinales

COORDINACIÓN, AJUSTE & CONTROL MOTOR



Respuesta Neuromuscular

(Potenciales de Acción)

ADECUADA

Respuesta Neuromuscular

(Potenciales de Acción)

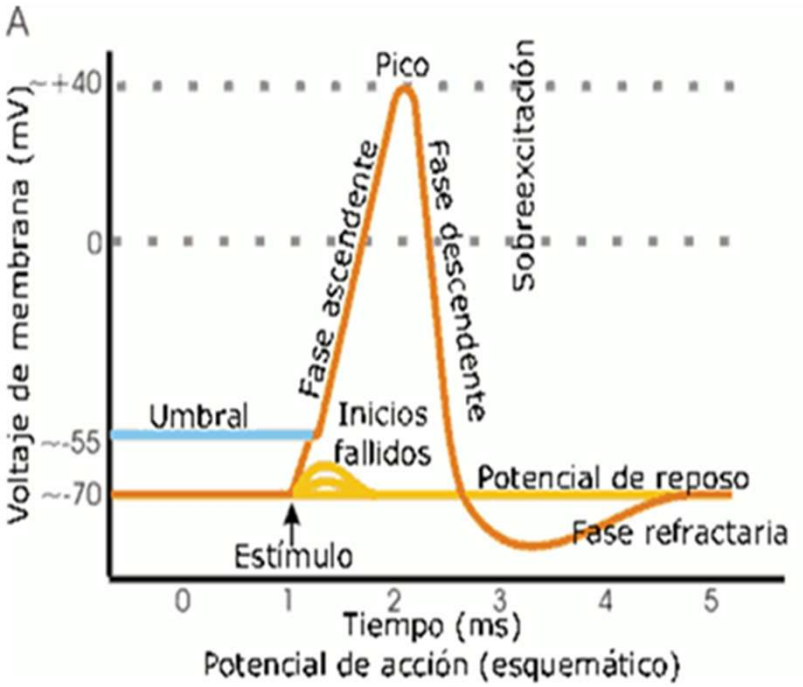
INAPROPIADA

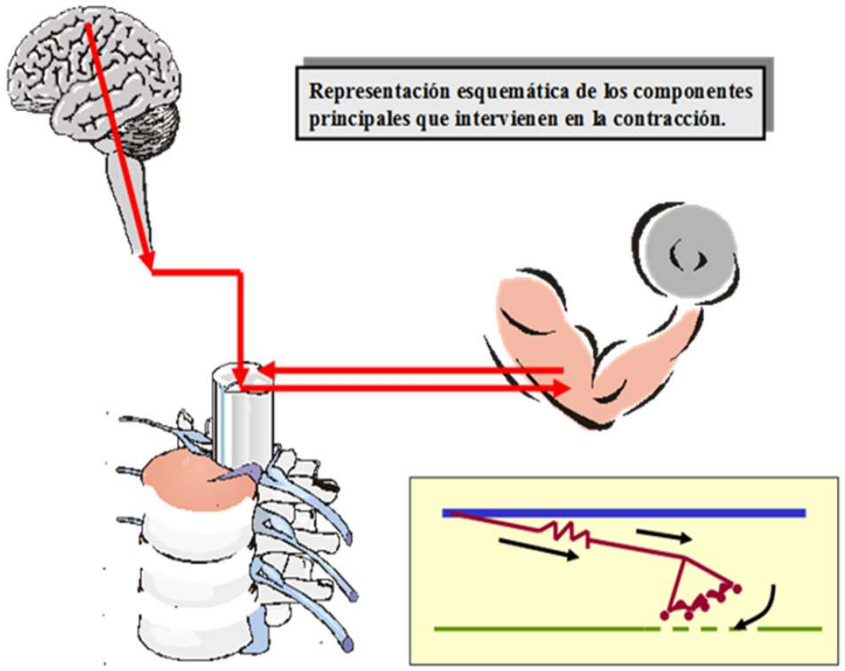


"GROSSO MODO"

NIVELES DE TENSIÓN Y CALIDAD DE RESPUESTA GENERADA DEPENDERAN DE:

- **Potenciales de Acción Generados (Cambio de Excitabilidad Neuronal)**
- **Tipo de α-Motoneuronas Activadas**
- **Número de U.M. Reclutadas**
  - **Sincronización U.M.**
- **Coordinación Intermuscular**
  - **Sinergias & Bloqueos**
- **Capacidad de Ajuste & Regulación**
- **Activación Mecanismos Reflejos Primarios**
  - **Mecanismos Reflejos Activos**
    - Husos Musculares
    - Corpúsculos de Golgi
  - **Mecanismos Reflejos Pasivos**
    - Corpúsculos de Ruffini
    - Corpúsculos de Pacini





POTENCIALES DE ACCIÓN



⇒ Activación



Activación

TIPO & FRECUENCIA
DE ESTIMULACIÓN
(Despolarización, Sobreexcitación
& Repolarización)

NÚMERO DE U.M.
RECLUTADAS

Estado del Músculo

Umbral de Excitación Sináptica
(Ley de Todo o Nada: -50 A -55 mV)
(Keith Lucas)

TIPO DE U.M.
ACTIVADA

SINCRONIZACIÓN U.M.

¿Ley de Henneman: ST ⇒ FTa ⇒ FTb?

Sumación Espacial & Temporal
(↑ Frecuencia ⇒ Integración de Potenciales Postsinápticos)

MAGNITUD & MOMENTO EN QUE
SE ALCANZA EL PICO DE FUERZA
Gradientes de Fuerza (*F-t*)

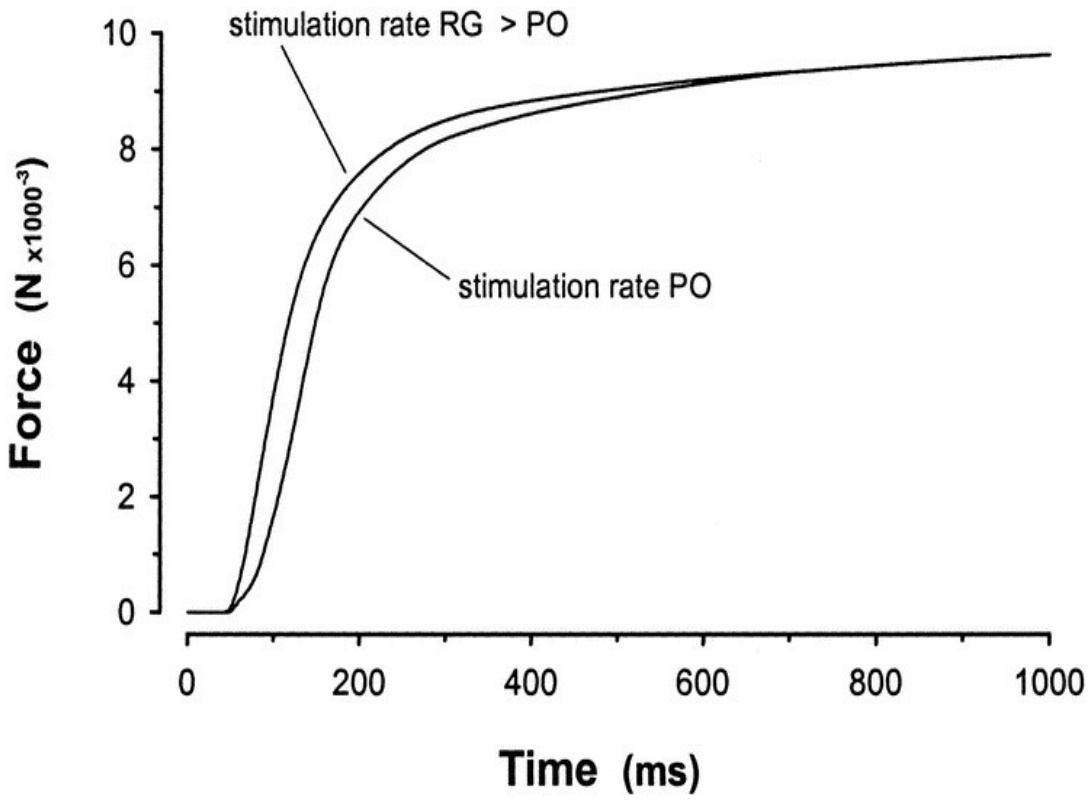
Supramaximal activation increases motor unit velocity of unloaded shortening

Arnold G. “Arnie” Nelson (1921-2015)

Journal Applied of Biomechanics, 12, 285-291. 1996.

La Tasa de Generación de Tensión (dP/dt) aumenta con el aumento de las Tasas de Estimulación, incluso después de haber alcanzado la Tensión Tetánica Máxima

Dado que **dP/dt** es directamente proporcional a la **velocidad de acortamiento sin carga**, se plantea si las tasas de estimulación supramáximas aumentarían la velocidad de acortamiento



La Activación Supramáxima aumenta la Velocidad de la Unidad Motora

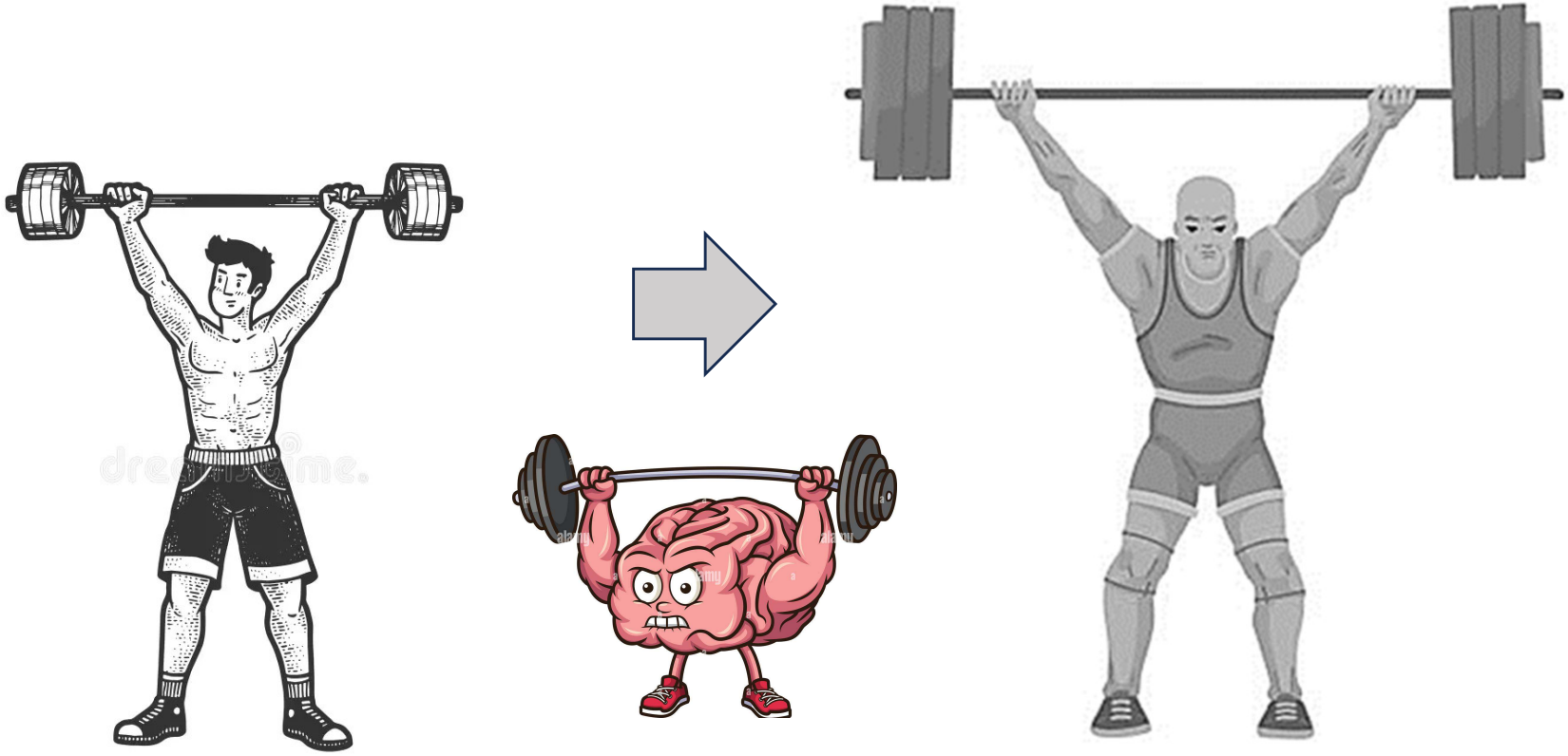
Curvas de Fuerza-Tiempo para Unidades Motoras del sóleo de la rata cuando se activan a la frecuencia mínima necesaria para provocar la Fusión Tetánica Máxima **(PO)**, y cuando se activan a una Frecuencia Supramáxima **(RG)** que también provoca **Fusión Tetánica Máxima**

La **Tasa de Desarrollo de la Fuerza** es mayor a una **Frecuencia de Estimulación Supramáxima**

SISTEMA SENSORIOMOTOR & NEUROMUSCULAR

VS.

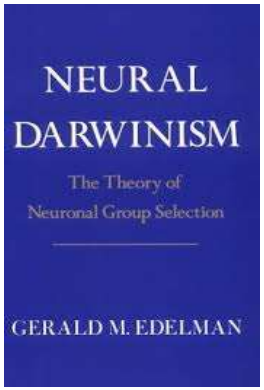
NIVEL DE RENDIMIENTO & APLICACIÓN DE FUERZA



LA CLAVE PARA EL DESARROLLO ADECUADO DE FUERZA ÚTIL

TEORÍA DE LA SELECCIÓN DEL GRUPO DE NEURONAS

NEURAL DARWINISM:
The theory of neuronal group selection
Gerald Maurice Edelman
New York (USA). Basic Books. 1987.



El Sistema Nervioso funciona como un sistema selectivo similar a la selección natural en la evolución, pero con mecanismos diferentes de funcionamiento

El sistema nervioso es fruto de la selección natural:
sus estructuras y funciones responden a ventajas adaptativas y fruto de la selección neuronal

Edelman sostiene que durante el desarrollo ontogenético del S.N. resultan seleccionados aquellos elementos que ofrecen mejores perspectivas adaptativas

El código genético sería insuficiente para especificar la organización acabada del cerebro: éste ve reducida su influencia sobre opera la selección de interconexiones y grupos neuronales más adecuados para la conducta adaptada.

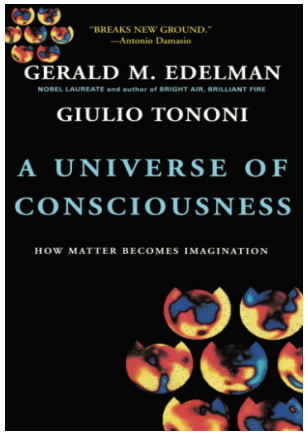
El código genético trae consigo una serie de constricciones que no implican que individuos idénticos genéticamente hayan de desarrollar idénticos diagramas de conexiones, ya que un proceso de selección epigenética tiene lugar en el plano individual:
el cerebro del embrión estaría débilmente determinado por su herencia genética

La memoria juega un destacado papel en la propuesta de Edelman



HIPÓTESIS DEL NÚCLEO DINÁMICO

A universe of consciousness:
How matter becomes imagination
Gerald Maurice Edelman & Giuliu Tononi
New York (USA). Basic Books. 2000.



Es planteada como una explicación biológica de la conciencia, y podemos entenderla como el punto de partida de la selección de grupos neuronales

El **Núcleo Dinámico** correspondería a la activación colectiva, dinámica y coordinada, en milisegundos, de **Grupos Neuronales Concretos** en procesos de reentrada entre diferentes mapas

El Núcleo Dinámico sustenta toda nuestra vida consciente

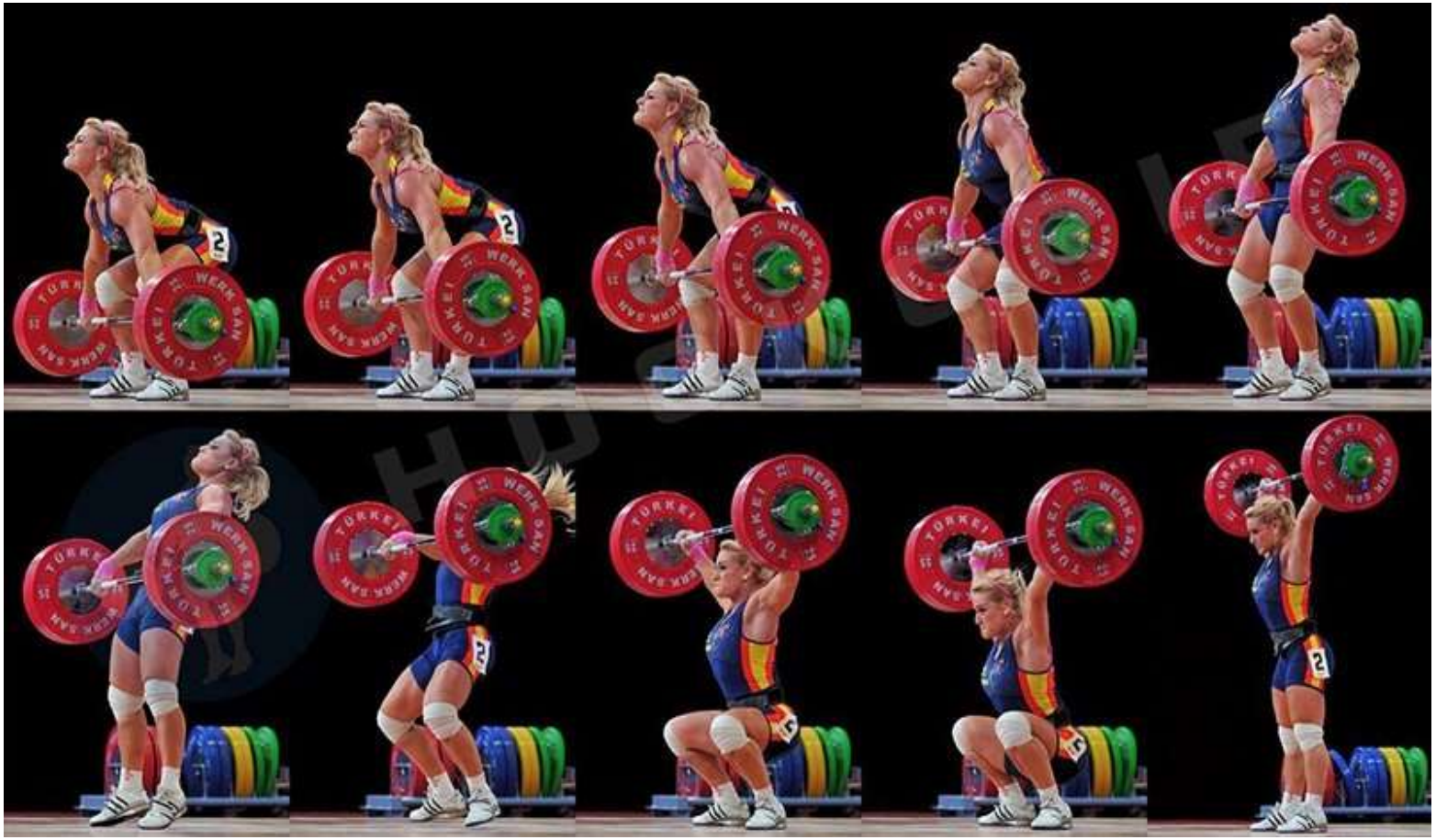
La actividad de un grupo neuronal puede contribuir a la experiencia consciente si forma parte de una agrupación funcional caracterizada por la presencia de fuertes interacciones mutuas durante períodos de centenares de milisegundos

Tal agrupación (Núcleo Dinámico) tendría una composición cambiante y siempre integrada, localizándose, principalmente, en el sistema talamocortical

Utilizamos todo el cerebro, pero no podemos utilizarlo todo al mismo tiempo

Sólo podemos utilizar al mismo tiempo ≈2% de los recursos cognitivos

FUERZA *VS.*
TAREAS CERRADAS



RESPUESTA NEURAL SEGÚN FASE DE DESARROLLO APRENDIZAJE DE TÉCNICAS DEPORTIVAS BÁSICAS

LEVELS OF CONSTRUCTION OF MOVEMENTS



NIKOLAI ALEKSANDROVICH BERNSTEIN

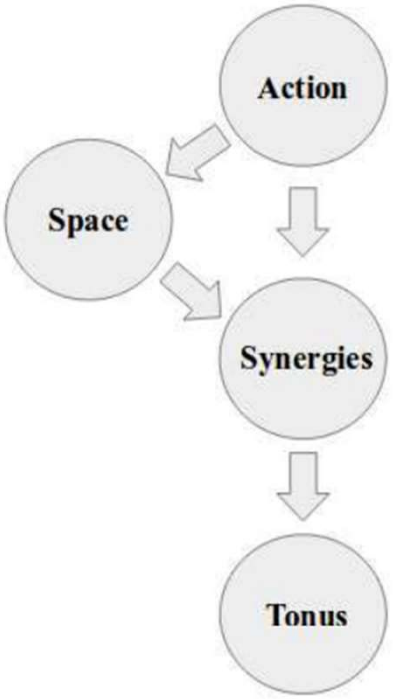
(1896-1966)



CONSTRUCCIÓN JERÁRQUICA DEL MOVIMIENTO

(METÁFORA DE LA ESCALERA EVOLUTIVA)

"El nivel superior del sistema de movimiento está constituido por parámetros topológicos, quedando los aspectos métricos y la selección de grupos musculares a utilizar, a merced de los niveles inferiores de dicho sistema"



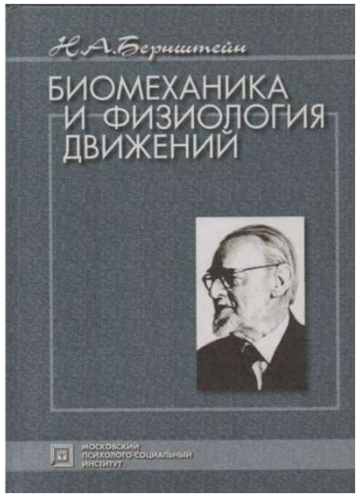
Construcción Jerárquica del Movimiento

Teoría del Aprendizaje Motor desde una perspectiva Ecológica & de Sistemas Complejos Sustentada en Conceptos Organizativos de la Cibernética

***Contracción Muscular de Base* (*Nivel de Tono & Postura*):** Nivel medular. preparación básica en el sustento y construcción de patrones de movimiento a realizar.

Sinergias & Espacio

Acción. Desde la corteza frontal se controlan secuencias de movimientos organizados para responder a un patón que requiere diferentes pasos y ajustes para su correcta ejecución.



О построении движений
(Sobre la construcción del movimiento)
Nikolai Aleksandrrovich Bernstein
Лечебная физкультура и спортивная медицина, (6), 3-7. 2009.

NIVELES DE ESTRUCTURA DE MOVIMIENTO

(A, B, C, D y E)

ESCALERA EVOLUTIVA



A. **Nivel de Tono Muscular & Postura;**
B. **Nivel de Sinergia (Contracciones Musculares Coordinadas);**
C. **Nivel de Campo Espacial;**
D. **Nivel de Acciones Objetivas (Cadenas Semánticas);**
E. **Nivel de los Actos Motores Intelectuales o Nivel Cortical Superior de Coordinación Simbólica (escritura, habla, etc.).**

Cada nivel corresponde a determinadas formaciones anatómicas del sistema nervioso central y correcciones sensoriales características únicamente de él

El grado de desarrollo de los niveles de coordinación individual puede variar de una persona a otra. Por lo tanto, uno u otro grado de desarrollo y entrenamiento no es característico de movimientos individuales, sino que debe ser entendido y abordado como contingentes enteros de movimientos controlados por uno u otro nivel

CONSTRUCCIÓN JERÁRQUICA DEL MOVIMIENTO

(NIKOLAI ALEKSANDROVICH BERNSTEIN: *ESCALERA EVOLUTIVA*)

NIVEL DE TONO. Nivel medular. Establece el vínculo entre los sistemas neuronal y muscular. Su función es preparar estructuras músculo-articulares para responder adecuadamente a las órdenes de los niveles superiores de construcción del movimiento (S.N.C.) cambiando la excitabilidad de células sensoriales y motoras.

NIVEL DE SINERGIAS (Vínculos Musculares-Articulares). Al residir en el cerebro medio, limita los *grados de libertad* del aparato motor y garantiza la coherencia de los movimientos controlando los diferentes grupos musculares. Están determinadas por la información propioceptiva de todo el organismo. Su función es corregir los detalles de los movimientos.

NIVEL DEL ESPACIO. Ejecución de un movimiento dirigido a un objetivo concreto. Tiene un aporte de estimulación óptica, acústica y táctil que genera el entorno. Percepción del espacio exterior basada en percepciones sensoriales y experiencias previas.

Importante destacar que, cuando se actúa sobre el *Nivel de Sinergias*, el *Nivel del Espacio* no afecta en cómo se produce un movimiento; en cambio, informa al *Nivel de Sinergias* si un determinado movimiento dirigido a un objetivo concreto es posible.

NIVEL DE ACCIONES OBJETIVAS. Reside en corteza frontal. Responsable de controlar secuencias de movimientos organizados para adaptarse a un problema de conducta que requiere muchos pasos para su ejecución correcta.



University of Economics in Katowice

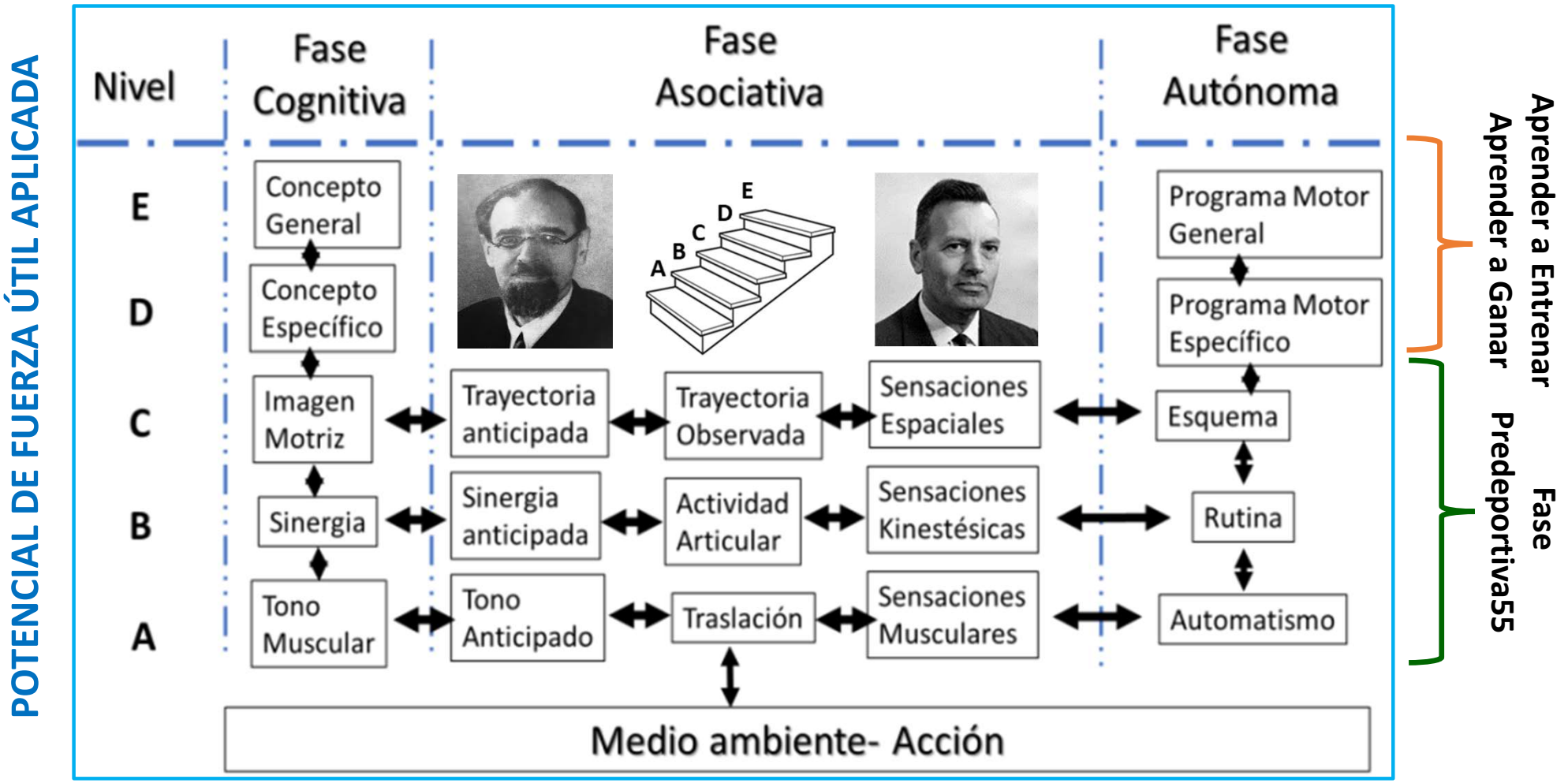
The motor learning process in Humans: Down and Up Bernstein's ladder

Waclaw Petrynsky (2010)

En Luis Miguel Ruiz. "***A Propósito de Bernstein Reflexiones sobre el aprendizaje de habilidades motrices y deportivas***" Pp. 43. 2024.

Modelo de Nikolai A. Bernstein y Fases del Aprendizaje Motor según Paul Morris Fitts

ESCALERA EVOLUTIVA DEL APRENDIZAJE MOTOR



APLICACIÓN DE LA ESCALERA EVOLUTIVA AL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA





Las capacidades motoras naturales de un organismo en crecimiento están determinadas por el proceso de maduración y mejora de las funciones de las estructuras motoras del sistema nervioso central

- **La formación de todas las partes del cerebro responsables del movimiento y las vías nerviosas que transportan la información elaborada finaliza a los 2 años de edad.**
- **A partir de este momento comienza un trabajo a largo plazo para mejorar sus funciones, para adaptar entre sí todos los niveles de construcción del movimiento, cuyas características más significativas ocurren entre los 2 y los 14 años, la edad de maduración final.**
  - Esta etapa, y muy especialmente a partir de los 7-10 años, es cuando habitualmente comienza el proceso de formación más especializada del futuro deportista de alto nivel. En este periodo se incrementan los niveles de fuerza y precisión gestual.
  - Después de 10 a 11 años, y hasta los 14-15 años, comienza un período difícil para la motricidad del adolescente, donde los niveles de construcción de los movimientos se ven significativamente alterados.

FASES EN EL PROCESO FORMATIVO DE LOS PRINCIPALES GESTOS TÉCNICOS



- **PRIMERA ETAPA:** es la formación de una idea holística de cada acción motora y su desaprendizaje inicial. En ella se forman los requisitos previos para la asimilación de una acción motora y surge la habilidad motora inicial, que permite realizar una acción motora en términos generales.

- **SEGUNDA ETAPA;** se caracteriza por un aprendizaje profundo y detallado de las acciones técnicas. Como resultado, en esta etapa la habilidad motora se perfecciona progresivamente y se convierte parcialmente en una habilidad.

- **TERCERA ETAPA;** es el proceso de lograr el dominio de la técnica de la acción motora que se está dominando. Corresponde a la consolidación y mejora adicional de la acción motora, como resultado de lo cual se forma una fuerte habilidad. La habilidad se adapta a diversas condiciones de su implementación práctica y competitiva.

CLAVES PARA DESARROLLAR FUERZA MUSCULAR ÚTIL

APRENDIZAJE INICIAL DEL DESARROLLO MOTOR ESPECÍFICO

(Fases de Coordinación & Control)

(CONOCIMIENTO, FAMILIARIZACIÓN, ESTABILIZACIÓN & PERFECCIONAMIENTO)









ETAPAS DE TONO, MEJORA DE SINERGIAS E INICIO DE ORGANIZACIÓN ESPACIAL

LA IMPLICACIÓN SENSOMOTORA, EN LAS PRIMERAS ETAPAS, SUPONE:

Conocer & Entender el Gesto

Visualizarlo & Crear una Imagen Correcta del Gesto

Aprender Patrón Motor más Eficiente

Automatizarlo & Pulirlo

Desarrollar Habilidades de Autocontrol que permitan:
Regularlo & Corregirlo durante su ejecución

What muscle variable (s) does the nervous system control in limb movements?

Richard B. Stein (1940-2020)

Behavioral and Brain Sciences, 5(4), 535-541. 1982.



Para controlar la fuerza con precisión, el Sistema Nervioso Central necesitaría una **representación detallada** y continuamente actualizada del estado de cada músculo (y la carga contra la que actúa) o bien una **retroalimentación** de la fuerza con una ganancia suficiente para hacer frente a las variaciones en las propiedades de los músculos y las cargas

La "**Hipótesis de Morton"**, que propone que la longitud está controlada por un servomotor de seguimiento, tiene una serie de dificultades relacionadas con los retrasos, las ganancias, la variabilidad y la especificidad de las vías de retroalimentación que comprenden posibles bucles del proceso

Las neuronas motoras y dinámicas pueden proporcionar una entrada adicional para el control adaptativo de los diferentes tipos de movimientos

La **retroalimentación** se utiliza para compensar los **cambios en la rigidez muscular**

Los **reflejos** tienden a aumentar en lugar de disminuir la **variación de la rigidez muscular** durante algunos movimientos cíclicos.

PRINCIPALES ERRORES METODOLÓGICOS EN EL APRENDIZAJE Y DESARROLLO DE LAS HABILIDADES TÉCNICAS DEL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

ERRORES FRECUENTES

- Introducción de movimientos adicionales innecesarios en el acto motor;
- Rigidez de movimientos, desproporción de esfuerzos musculares, reclutamiento innecesario de grupos de músculos adicionales;
- Desviaciones en la dirección y amplitud de los movimientos;
- Distorsión del ritmo general específico de la acción motora;
- Realizar los gestos a una velocidad inferior a la necesaria.



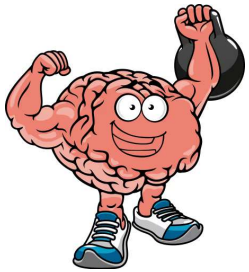
PRINCIPALES RAZONES DE ESTOS ERRORES:

- Comprensión Incorrecta o Insuficientemente de la estructura motora del gesto que se está entrenando;
- Poca Experiencia Motora previa del atleta;
- Preparación Física insuficiente o deficiente del atleta;
- Incertidumbre, miedo, sensación de fatiga, etc.;
- Organización incorrecta del proceso de aprendizaje y dominio de una acción motora.





CLAVES PARA DESARROLLAR LA FUERZA MUSCULAR ÚTIL EN EL ALTO RENDIMIENTO



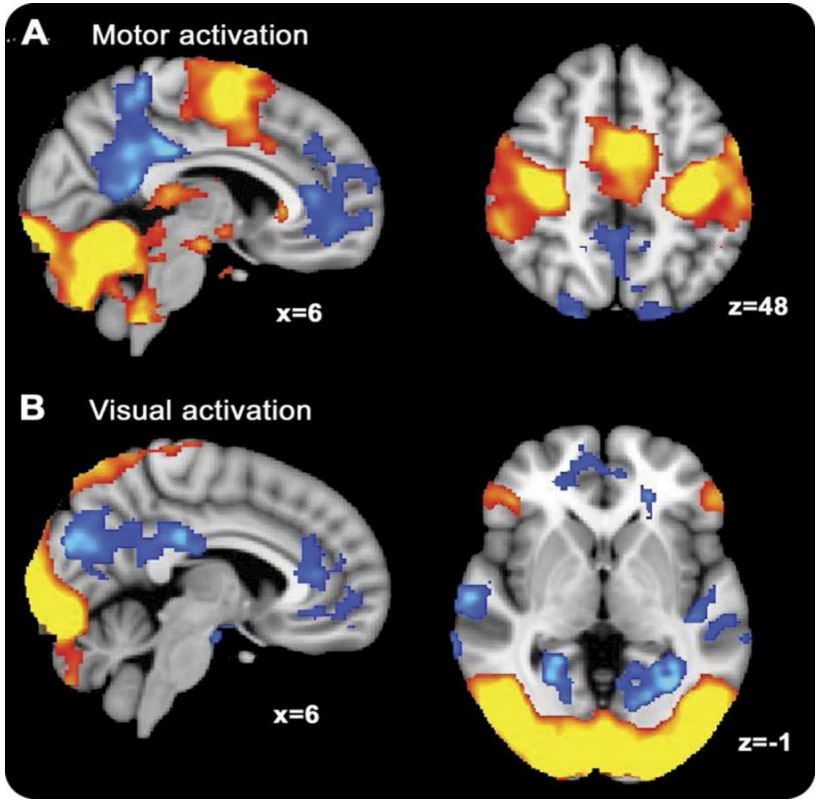




EJECUCIÓN EFICIENTE DEL GESTO (ALTO NIVEL DE EJECUCIÓN)

- **Desconexión del Entorno Momentos Previos al Gesto (¡*fundamental*!)**
  - Visualización del Gesto (Evocación & Reproducción)
  - Focalización Interna (Focalización Atencional Interna) (Opcional)
  - Focalización Atencional Externa
- **Programación (*Elaboración*) del Patrón Motor Adecuado**
  - Focalización en los Engramas Útiles Disponibles
  - Aplicación de Engramas Seleccionados (Potenciales de Acción)
- **Ejecución & Ajuste del Patrón Motor Seleccionado**
  - Reajuste y Corrección de los Patrones Ejecutados (*Función Cerebelosa*)

NIVEL DE ACTIVACIÓN CEREBRAL



Existen múltiples formas de realizar un determinado movimiento dirigido a un mismo objetivo (Grados de Libertad)

En Tareas Cerradas, como en cualquier otro gesto, desde un punto de vista mecánico, la Repetición de un Gesto NUNCA sigue un patrón de movimiento exactamente igual que el anterior, a pesar de que a grandes rasgos activa siempre activa con ligeros cambios, las mismas Áreas Cerebrales

¿LAS DIFERENCIAS SÓLO SON MATICES?

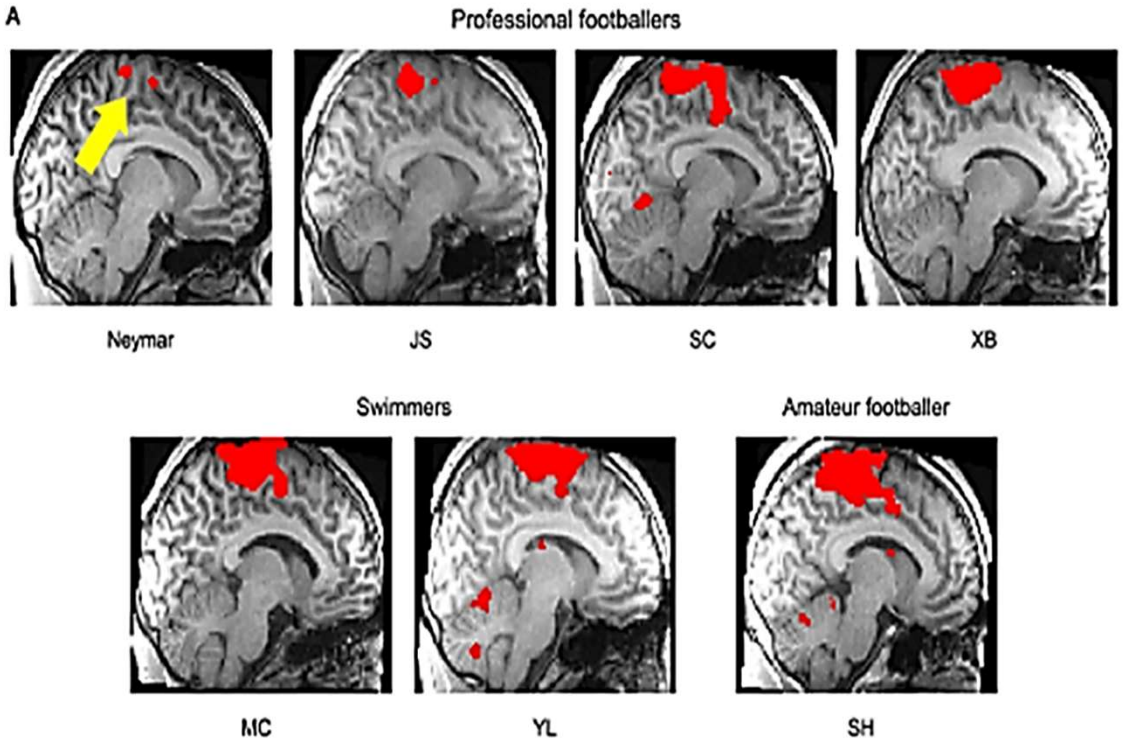


EL GRADO DE ACTIVACIÓN DE LAS DIFERENTES ZONAS DEL S.N. LO CONDICIONA PRINCIPALMENTE: NIVEL DE EXPERIENCIA & ENTORNO

Efficient foot motor control by Neymar's brain

Eiichi Naito & Satoshi Hirose

Frontiers in Human Neuroscience, 8(594), 1-7. 2014.



- **El cerebro de Neymar recluta recursos neuronales muy limitados cuando se le pide realizar movimientos simples con un balón**.
- **Otros deportistas de menor nivel necesitan activar mas recursos cuando realizan la misma tarea.**
  - 3 futbolistas 2ªD Española (JS, SC y XB)
  - 2 nadadores élite (MC y YL)
  - 1 futbolista amateur (SH)





Neymar puede controlar eficientemente los movimientos conservando libres parte de los recursos neurales motores corticales disponibles

Esta cualidad le permite utilizar una importante cantidad de recursos neuronales para otras tareas cómo, por ejemplo, las cognitivas o la ejecución de patrones de ejecución más complejos

(Por ejemplo: anticipar/predecir o detectar las acciones de otros jugadores, etc.)

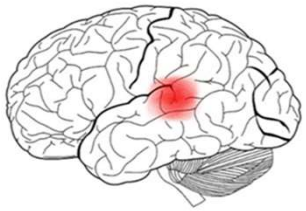
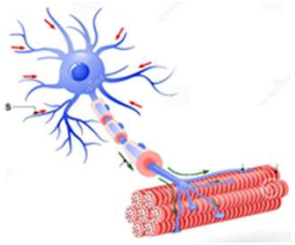
FUERZA &
TAREAS ABIERTAS



FUERZA & TAREAS MOTORAS ABIERTAS

(IMPREVISIBILIDAD ANTES Y DURANTE LA APLICACIÓN DE LA FUERZA)




PERCEPCIÓN

SOMATOSENSORES
Visual
Táctil
Auditivo
Vestibular

DECODIFICACIÓN

Área Motora Suplementaria
Áreas Asociativas
Sistema Límbico
(Tálamo, Hipotálamo, Amígdala)

PROGRAMACIÓN

Corteza Motora Primaria
Área Premotora
Área Motora Suplementaria

ORDEN EJECUCIÓN
(Potencial Acción)

Tracto Piramidal
Tracto Extra Piramidal
α-Motoneuronas

EJECUCIÓN

Activación Pool Específico de U.M.

FUERZA



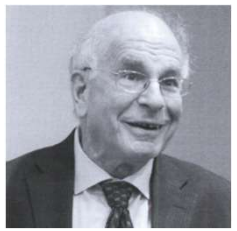

Feedback

Corteza Sensorial
Cerebelo
Tálamo
Núcleo Basal
Tronco Cerebral



SISTEMAS PARTICIPANTES EN LA TOMA DE DECISIÓN O PENSAMIENTO

Princeton University



Two systems in the mind

Daniel Kahneman

Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences, 65(2), 55-59. 2012.

Sistema Tipo-1, Rápido, Hot System, Dopaminérgico Mesolímbico o Inteligencia Generadora Computacional

Percepción y análisis de información (Atención & Memoria) ⇒ Procesamiento de Información en Córtex Prefrontal ⇒ Selección de Respuesta ⇒ Ejecución

Provoca muchos errores con criterios de ejecución no consolidados ni automatizados.

Sistema Tipo-2, Lento, Cool System, Dopaminérgico Mesocortical o Inteligencia Ejecutiva

Percepción y Análisis de Información (Atención & Memoria) ⇒ Procesamiento de Información en Córtex Prefrontal ⇒ Selección de Respuesta ⇒ Ejecución

Provoca pocos errores con criterios de ejecución consolidados y, muchas veces automatizados.

RESPUESTA NEURONAL CRÓNICA CON ENTRENAMIENTO DE FUERZA







READAPTACIÓN & AUTOORGANIZACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO (CENTRAL & PERIFÉRICO)

El Entrenamiento de la Fuerza va acompañado de cambios en el Sistema Nervioso (Central & Periférico) los cuales desempeñan un papel clave en el desarrollo de tensión

REPETICIONES VS. CONDUCTA MOTRIZ

Neuroplasticity Subserving Motor Skill Learning

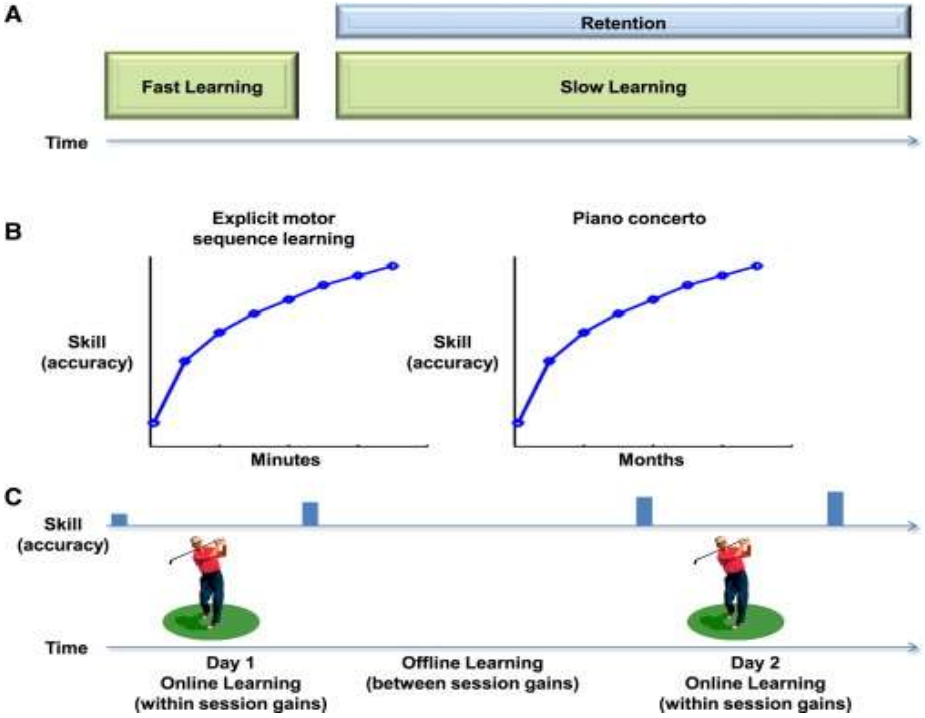
Eran Dayan & Leonardo G. Cohen

Neuron, 72(3), 443-454. 2011.

Diferentes HABILIDADES MOTORAS como, por ejemplo, jugar golf o levantar una barra, se adquieren, mejoran o modifican a través de la "Práctica Repetida"

La adquisición de Habilidades Motoras está vinculada con la Plasticidad Neuronal a Niveles Corticales y Subcorticales en el S.N.C., la cual evoluciona con el tiempo e involucra diferentes regiones cerebrales interconectadas y distribuidas espacialmente

Está condicionada por múltiples mecanismos que operan en diferentes escalas temporales



Etapas en el Aprendizaje de las Habilidades Motoras

(A) El Aprendizaje de H.M. se puede dividir en **Etapa Rápida** (mejoras significativas en una sesión de entrenamiento), y **Etapa Posterior**, más lenta (avances durante varias sesiones de práctica).

(B) La duración de cada una es específica para cada tarea.

(C) Las mejoras de rendimiento durante la adquisición de habilidades motoras pueden ocurrir no solo durante el entrenamiento (**Aprendizaje en Línea**), sino también entre sesiones sin práctica adicional (**Aprendizaje Fuera de Línea**).

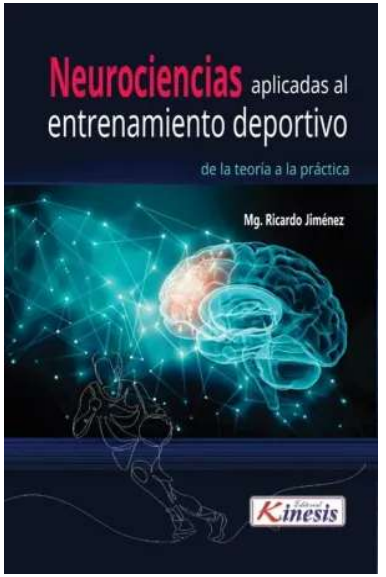
FASES DEL APRENDIZAJE MOTRIZ



Neurociencias Aplicadas al Entrenamiento Deportivo: de la Teoría a la Práctica

Ricardo Jiménez

Pereira (Colombia). Editorial Kinesis. 2024.



FASE - I
Entiendo/Comprendo



FASE - II
Repito/Aprendo



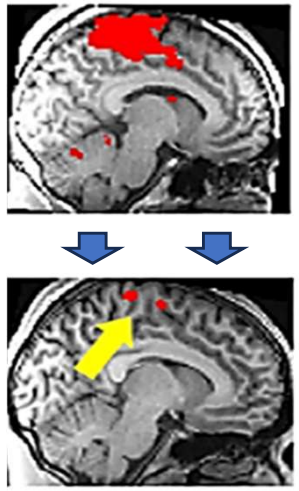
FASE - III
Automatizo/Utilizo



0	500	1000	1500	2000	**Repeticiones**
0	2.5	5.0	7.5	10	**Años**
0	**2500**	**5000**	**7500**	**10.000**	**Horas**



RESPUESTA ADAPTATIVA DEL SISTEMA NERVIOSO AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA



ADAPTACIÓN & REORGANIZACIÓN
(ESTRUCTURAS & FUNCIONES)



SISTEMA NERVIOSO

Sistema Autoorganizado con conectividad y dinámicas preexistentes, pero modificables, cuyo objetivo principal es generar y ejecutar acciones programadas, así como evaluar y predecir las consecuencias de las mismas

La calidad y efectividad de estas acciones puede ser mejorada mediante la ejecución, y repetición, de los estímulos adecuados en situaciones permanentemente cambiantes

SÓLO LA ELABORACIÓN DE RESPUESTAS CORRECTAS A ACCIONES VARIADAS PUEDEN DESARROLLAR UNA ACTIVIDAD CEREBRAL EFICIENTE Y LOGRAR RESPUESTAS ADAPTATIVAS ADECUADAS GENERADAS EN LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS DEL SISTEMA NERVIOSO INVOLUCRADAS

Training-induced changes in neural function

Per Aagaard

Exercise and Sport Sciences Reviews, 31(2), 61-67. 2003.

Entrenamiento de Fuerza puede inducir respuestas adaptativas en la Morfología y Función del Sistema Nervioso, junto con cambios en Morfología y Arquitectura del músculo entrenado



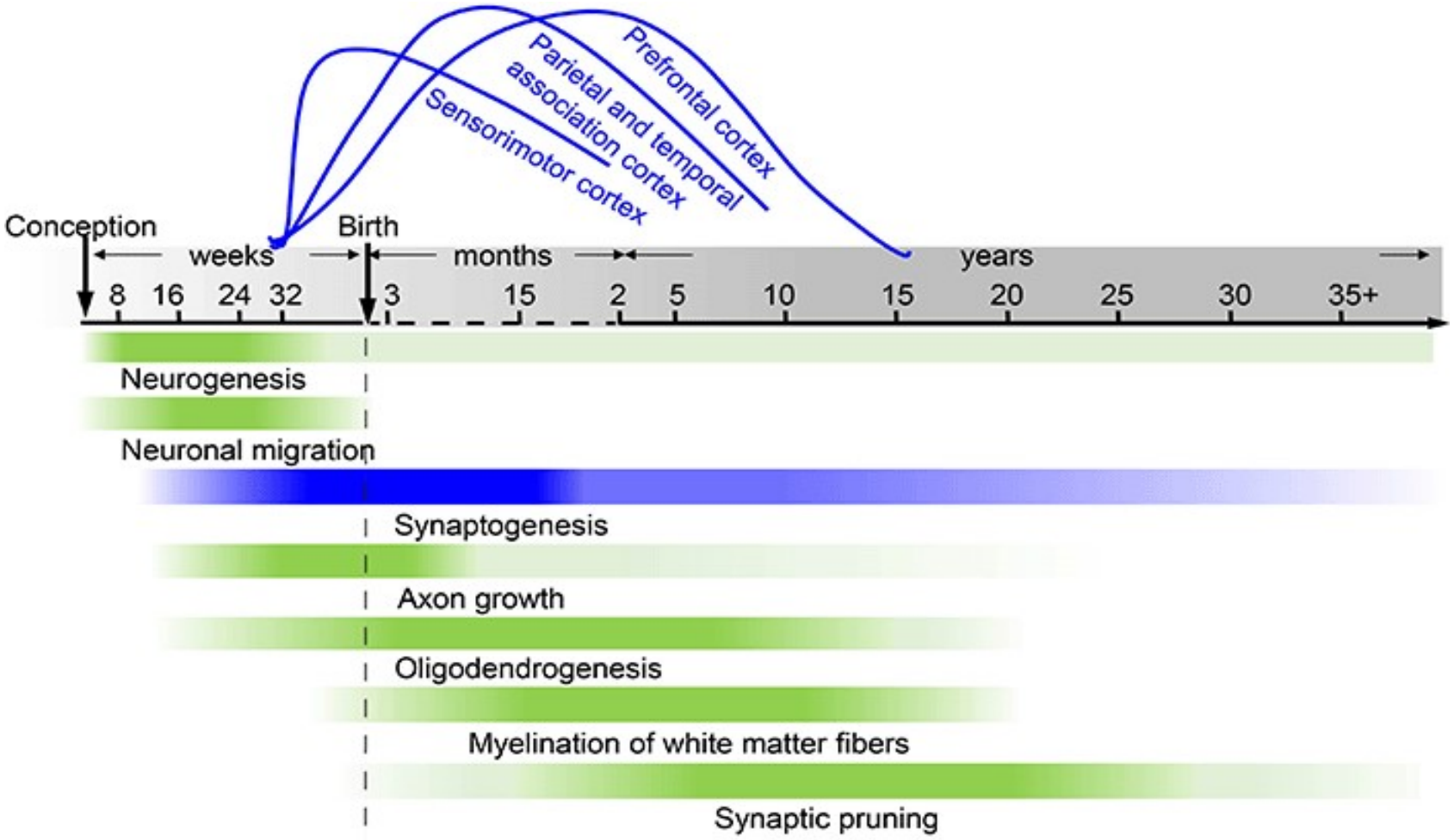
* Elevated motor neuron output	↑ central descending motor drive ↑ motor neuron excitability ↑ motor unit firing rates ↓ neural inhibition
** Muscle growth, and alterations in muscle architecture	↑ muscle fiber area (biopsy) ↑ anatomical muscle area and volume (MRI, CT) ↑ muscle fiber pennation angles (ultrasonography)

IMAGING THE INFANT BRAIN

Hao Huang

Oxford Research Encyclopedia of Psychology. 2022.

Cronología de los procesos de maduración del cerebro (espacio y tiempo), que incluyen Neurogénesis, Migración Neuronal, Sinaptogénesis, Crecimiento Axonal, Oligodendrogénesis, Mielinización de Fibras de Materia Blanca y Poda Sináptica.

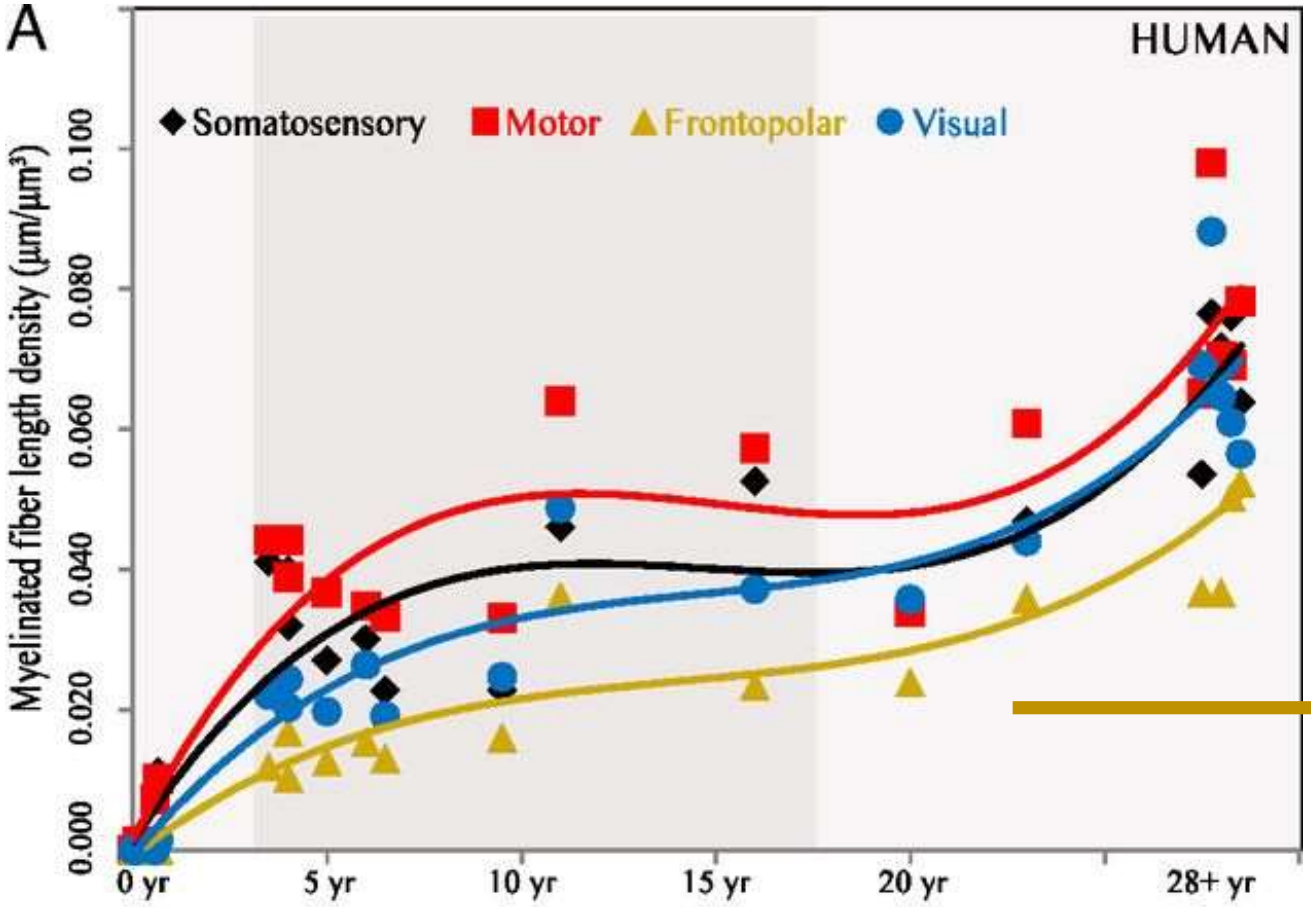


Prolonged myelination in human neocortical evolution

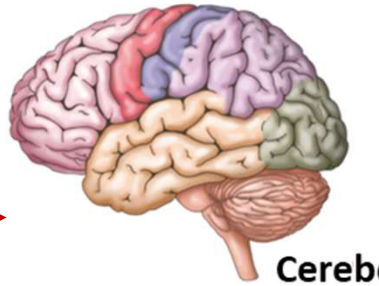
Miller DJ, Duka T, Stimpson CD, Schapiro SJ, Baze WB, McArthur MJ, Fobbs AJ, Sousa AM, Sestan N, Wildman DE, Lipovich L, Kuzawa CW, Hof PR & Sherwood CC.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 109(41), 16480-16485. 2012.

Curvas de **Densidad de Longitud de las Fibras Mielinizadas** en humanos organizados por edad en años



Cortex Motor



Cerebelo

Estructuración del Movimiento

Córtex Prefrontal



<Habilidades Cognitivas

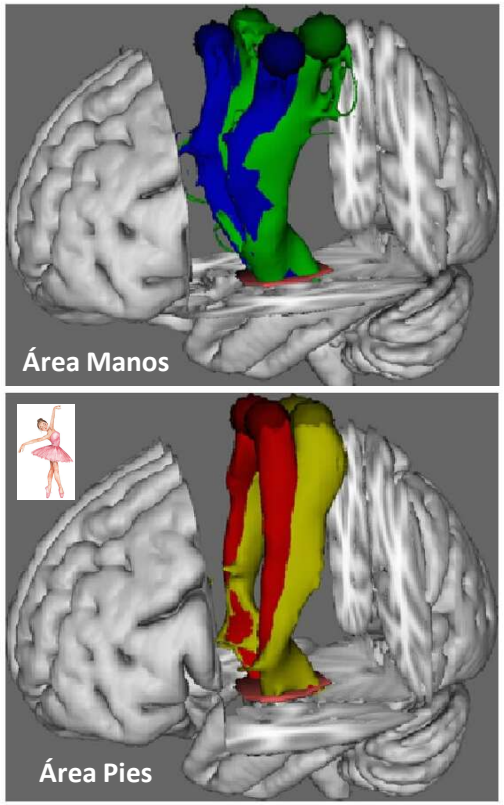
Differences in cortical representation and structural connectivity of hands and feet between professional handball players and ballet dancers

Jessica Meier, Marlene Sofie Topka & Jürgen Hänggi

Neural plasticity, 2016(1), 6817397. 2016.

El entrenamiento intensivo y la práctica continuada, están asociados con adaptaciones neurales funcionales y estructurales

Ballet



Mayor volumen de **Materia Gris Somatosensorial (GM)** en pies de ***bailarines*** en comparación con los ***jugadores de balonmano.***

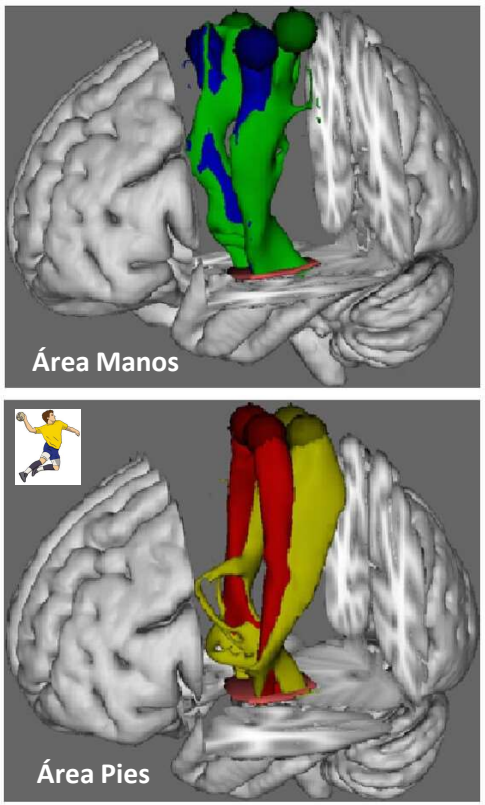
Los ***jugadores de balonmano*** mostraron mayor volumen de **GM** en las manos en comparación con los ***bailarines***.

Los ***bailarines*** mostraron una **Anisotropía Fraccional (AF)** reducida tanto en las fibras que conectan las áreas de los pies y de las manos.

AF es una variable numérica cuyos valores oscilan entre 0 (máxima isotropía) y 1 (máxima anisotropía)

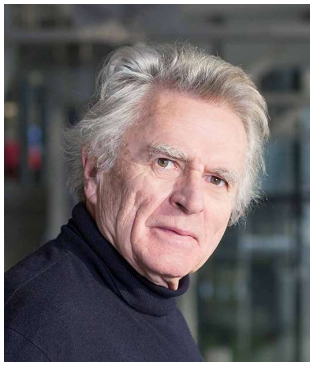
Sin embargo, los ***bailarines*** mostraron una **AF** menor en las fibras que conectan el pie en comparación con las áreas de las manos, mientras que los ***jugadores de balonmano*** mostraron una **AF** menor de fibras que conectan la mano en comparación con las áreas de los pies.

Handball



Las adaptaciones estructurales son específicas de cada deporte y se manifiestan en

Regiones Cerebrales Asociadas con el Procesamiento Neuronal



MOTOR LEARNING:

Passing a skill from one hand to the other

Niels Birbaumer

Current Biology, 17(23), R1024-R1026. 2007.

EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN

Transferencia Intermanual: **depende de la conexión entre las dos mitades del cerebro**

- Los sujetos con "*cerebro dividido*" o con cuerpo calloso lesionado tienen que volver a aprender completamente en una mano una Tarea Motora aprendida previamente en la otra, incluso cuando esta última ha alcanzado un nivel perfecto de rendimiento.
- Sin embargo, hay una ventaja: un paciente con cerebro dividido puede aprender dos Habilidades Motoras diferentes simultáneamente con ambas manos sin interferencias, algo que las personas con un cerebro conectado correctamente encuentran extremadamente difícil.

La *Transferencia de Aprendizaje* va acompañada de cambios en la función cortical motora de ambos hemisferios y de las interacciones interhemisféricas inhibitorias entre la Corteza Motora Primaria.

Otras regiones cerebrales, como las Regiones Motoras de Nivel Superior, podrían estar involucradas

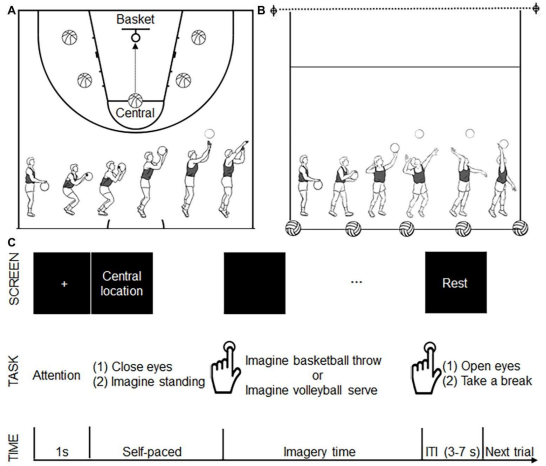
La modulación de la inhibición interhemisférica entre M1 estaba asociada con el desempeño general en la mano que realiza la Transferencia.

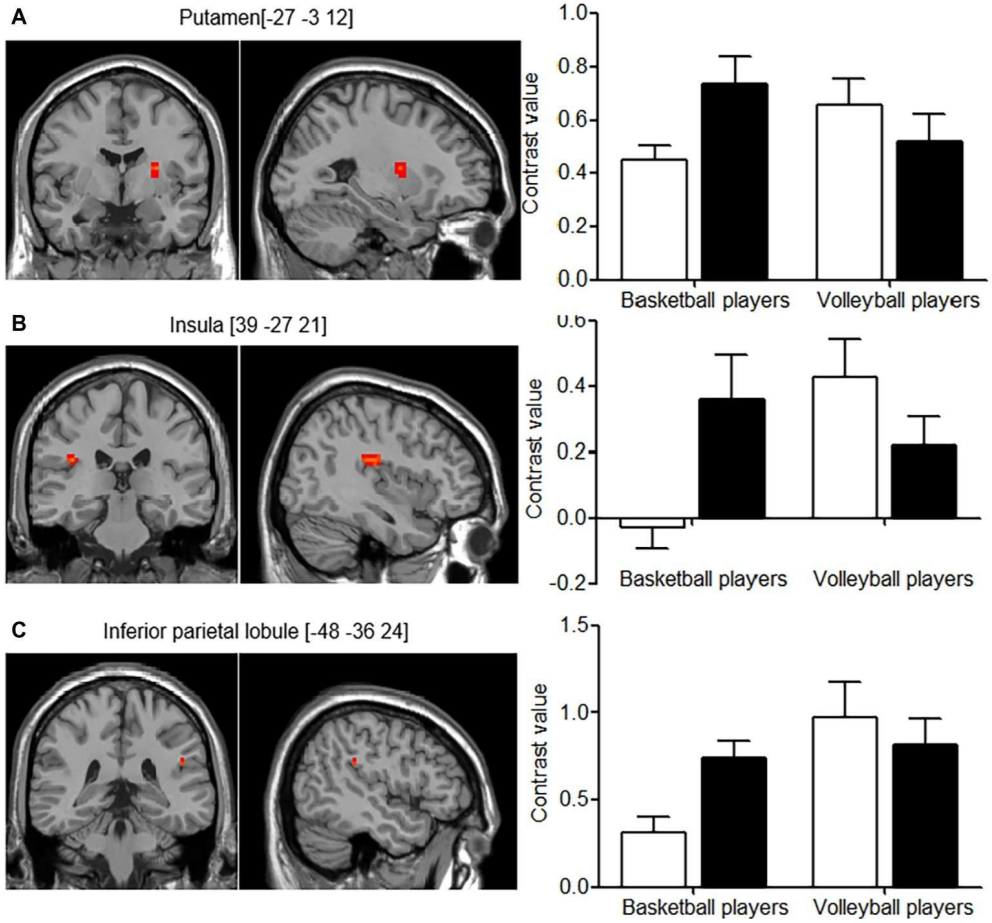
La Transferencia de Habilidades Intermanuales implica interacciones interhemisféricas activas a través del cuerpo calloso

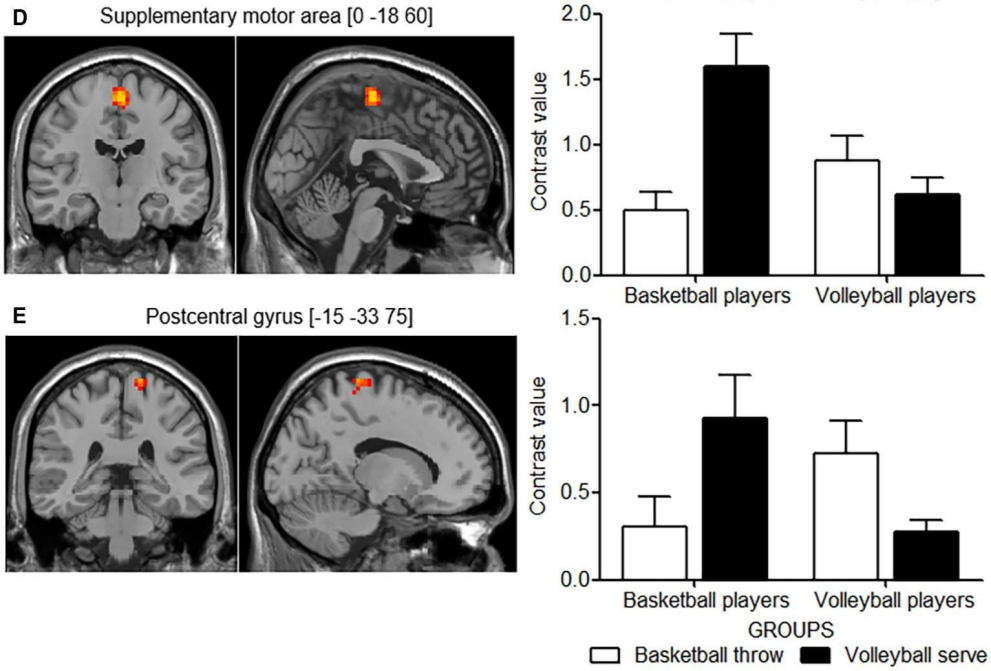
Neural efficiency and acquired motor skills: an fMRI study of expert athletes

Zhang L., Qiu F., Zhu H., Xiang M. & Zhou L.

Frontiers in Psychology,
10, https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02752. 2019.







Los jugadores expertos mostraron menos activación al imaginar movimientos de su propio deporte que cuando imaginaban movimientos del otro deporte, y hubo un patrón cruzado para la interacción entre la tarea de imágenes y el grupo.

EFECTO DEL ENTRENAMIENTO

Determining the sites of neural adaptations to resistance training: a systematic review and meta-analysis

Siddique U., Rahman S., Frazer A.K., Pearce A. J., Howatson G. & Kidgell D.J.

Sports Medicine, 50, 1107-1128. 2020.

Monash Univesrsity

ENTRENAMIENTO DE FUERZA: provoca sutiles Adaptaciones en el Sistema Nervioso (Áreas Corticales, Subcorticales & Periféricas) que actúan adecuando el Grado de Activación (*excitabilidad*) y perfeccionando la Red Neuronal que crea, ejecuta y controla un Patrón Motor determinado contribuyendo a la aplicación y mejora de la Fuerza Útil

- **Mecanismos de Adaptación incluyen:**
  - **Estructura & Funcionalidad del S.N.C.**
    - **Activación de Unidades Motoras**
  - **Estructura & Funcionalidad del S.N.P.**
    - **Eficiencia Propioceptiva: Mecanismos Reflejos**





El área de mayor adaptabilidad es la CORTEZA MOTORA PRIMARIA

(Gestión y Ejecución de los Movimientos Voluntarios)

Tanto las Adaptaciones Corticales como Subcorticales actúan condicionando la Activación de U.M., amplificando o modulando el Impulso Neural (Potencial de Acción) y, por lo tanto, incidiendo en los Niveles de Fuerza Muscular

UNIVERSITY OF LONDON

Comparison of regional cerebral blood flow with transcranial magnetic stimulation at different forces

Dettmers C., Ridding M.C., Stephan K.M., Lemon R.N., Rothwell J.C. & Frackowiak R.S. Journal of Applied Physiology, 81(2), 596-603. 1996.

Comprobaron que, a medida que se ejercen mayores niveles de fuerza isométrica, la **Actividad Neuronal AUMENTA** en:

Corteza Motora Primaria & Área Motora Suplementaria Caudal

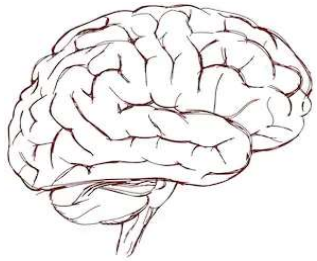
Una mayor propagación de la Activación Neuronal aumenta el Potencial de Activación de elementos neuronales que interfieren con el rendimiento óptimo de la tarea

- Parece que los músculos son controlados con mayor eficacia por el SNC cuando se requieren bajos niveles de Actividad Neuronal para producir Fuerza

  Cuando los sujetos aumentan la fuerza que ejercen en una tarea con niveles de intensidad >10% de F_{max}, se observa actividad muscular en una serie de músculos estabilizadores y sinergistas que no contribuyen directamente a la producción de fuerza

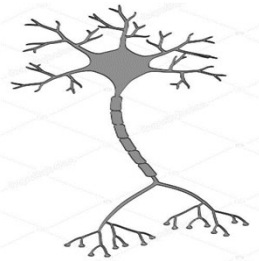
- El Entrenamiento de Fuerza puede mejorar la coordinación **reduciendo el nivel de Actividad Cortical** asociada con la activación de los músculos entrenados

  El Entrenamiento de la Fuerza puede mejorar el rendimiento al reducir el **Grado de Activación Cortical** y, por lo tanto, la **Activación de Elementos Neuronales** que interfieren, puedan interferir con la ejecución óptima del gesto



CALIDAD DEL GESTO EJECUTADO

RESPUESTA ADAPTATIVA & ORGANIZATIVA
(ESTRUCTURAL & FUNCIONAL)



SISTEMA NERVIOSO CENTRAL ↔ **SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO**

- Activación Mental (Concentración - Predisposición)
- Elaboración y/o Selección del Patrón de Movimiento
- Generación Potenciales de Acción (Intensidad - Frecuencia Estimulo)
- Ejecución, Control & Regulación
  - Patrón de Movimiento
  - Tensión/es Generadas
- Coordinación Intramuscular (Sincronización U.M.) Sincronización de Corto Plazo UMs

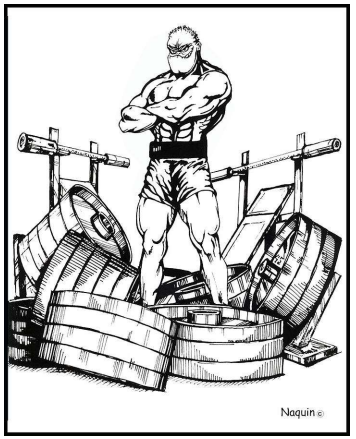
- Orden de Reclutamiento
- Coordinación Intermuscular
- Compartimentación
- Propiocepción
- Regulación Mecanismos Reflejos
- Potenciación

RESPUESTA ADAPTATIVA DEL SISTEMA NERVIOSO

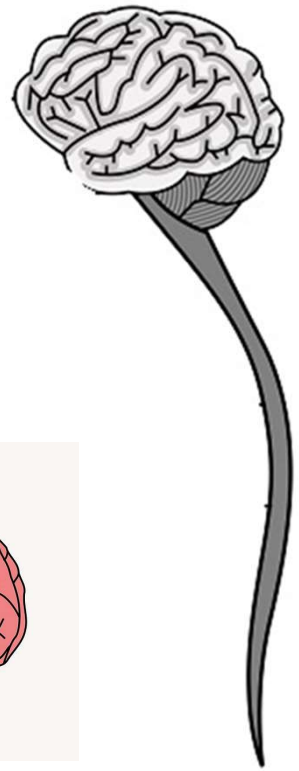
El aprendizaje y/o mejora de acciones motrices puede estar asociado con adaptaciones fisiológicas dentro de la **Corteza Motora Primaria** (SNC) y el **Sistema Nervioso Periférico** que contribuyen a una ejecución más eficiente de los movimientos a ejecutar

CEREBRO: responsable de recibir, procesar y responder a la información sensorial elaborando y ejecutando el patrón de movimiento seleccionado.

MÉDULA ESPINAL: sistema de envío de órdenes motoras desde el cerebro a estructuras periféricas, así como de transmitir información sensorial desde los órganos sensoriales al cerebro (Tálamo).







ENCÉFALO Y MÉDULA ESPINAL

The effects of resistance training to near failure on strength, hypertrophy, and motor unit adaptations in previously trained adults

Ruple BA, Plotkin DL, Smith MA, Godwin JS, Sexton CL, McIntosh MC, ... & Roberts MD.

Physiological Reports, 11(9), https://doi.org/10.14814/phy2.15679. 2023.

MUESTRA

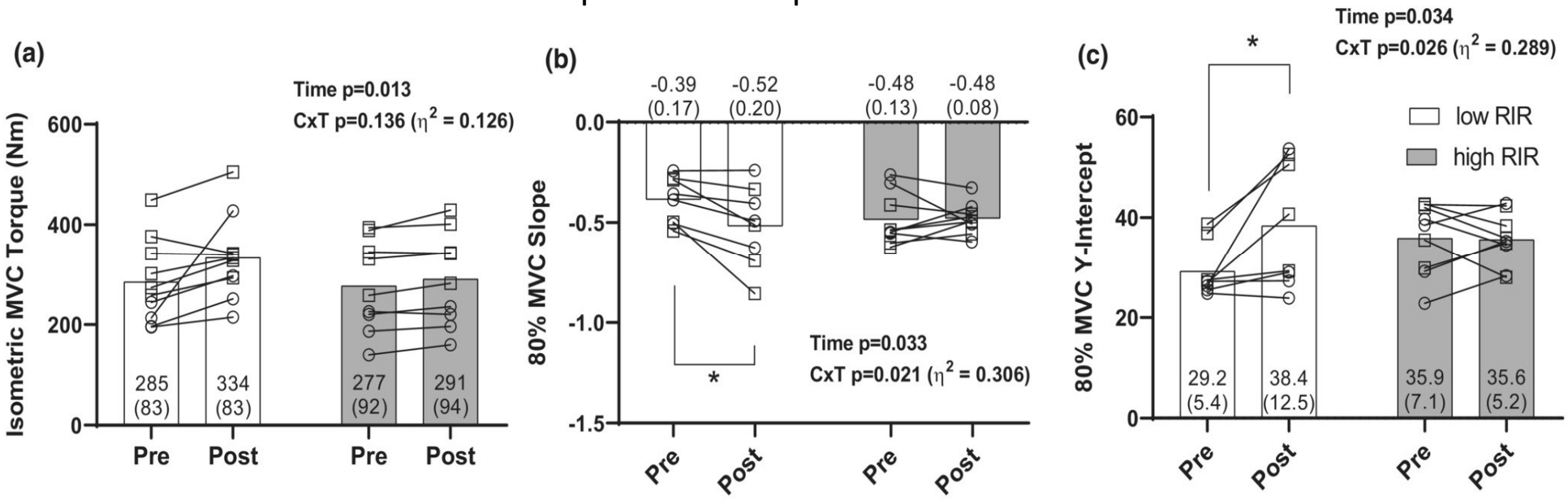
H: 11 – **M:** 8; **Edad**: 24 ± 3 años; **PC;** 79,0 ± 22,7 kg; **Relación Sentadilla/PC:** 1,60 ± 0,33)

PROTOCOLO

5 semanas; 3 días/semana

G1: entrenamiento de Fuerza cerca del fallo (0-1 repeticiones en reserva/serie);

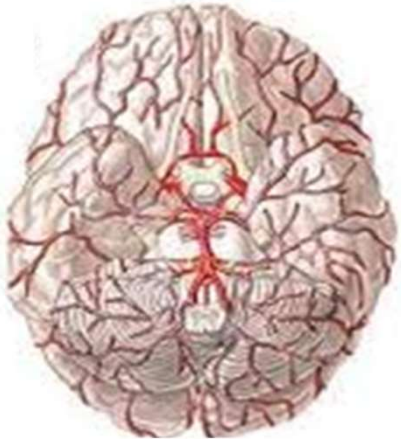
G2: interrupción a 4-6 repeticiones antes del fallo

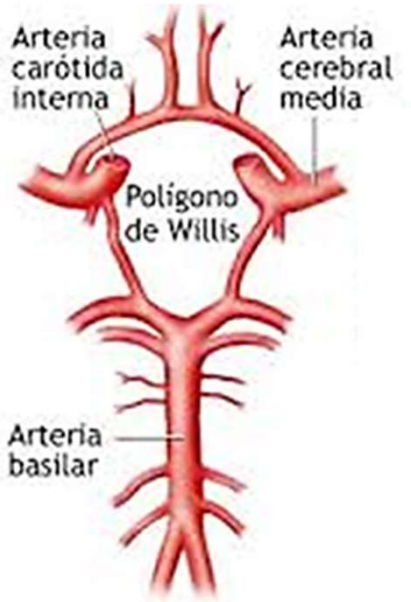


El entrenamiento **"Al Fallo"**, aparentemente aumenta las **Tasas de Activación de UM** y provoca una recuperación posterior al ejercicio peor con aumento del dolor muscular y peorsensación general de bienestar

EJERCICIO *VS.* ACTIVACIÓN CEREBRAL

EJERCICIO FÍSICO
vs.
FLUJO DE SANGRE CEREBRAL





ACTIVACIÓN CEREBRAL ⇒ AUMENTA FLUJO SANGUÍNEO

FLUJO SANGUÍNEO CEREBRAL (F.S.C.)

METABOLISMO & F.S.C. ⇒ muestran (indirectamente):

NIVEL DE ACTIVIDAD CEREBRAL

Cuando las neuronas se activan consumen más cantidad de energía (*Glucosa*) y O_2 que llega al cerebro a través de una red vascular (*Sistema Carotideo* & *Sistema Vertebro-Basilar*) por donde circula una importante cantidad de sangre a pesar del pequeño tamaño relativo del cerebro (≈ 2% del P.C.)

LA MAYOR ACTIVACIÓN NEURONAL OCURRE CUANDO EL GESTO ES TÉCNICAMENTE DIFÍCIL Y, ESPECIALMENTE, CUANDO CONLLEVA REALIZAR PROCESOS COGNITIVOS COMPLEJOS

CONSECUENCIA

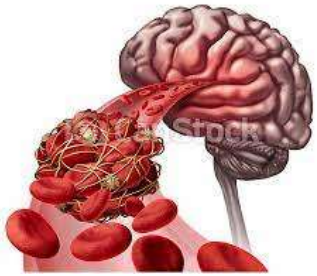
F.S.C. ⇒ ⇒ Entorno favorable para procesos de:

ACTIVACIÓN, MANTENIMIENTO & REGENERACIÓN NEURAL

ENTRENAR IMPLICA PROVOCAR CAMBIOS EN EL S.N.C.

(CAMBIOS MORFOLÓGICOS & FUNCIONALES)





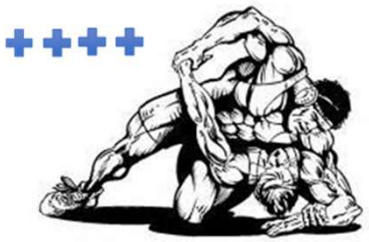
EL EJERCICIO, ADEMAS DE AUMENTAR EL F.S.C.

AUMENTA CANTIDAD & ACTIVIDAD DE:

NEUROTRANSMISORES (FACTORES NEUROTRÓFICOS CEREBRALES)

Factor Neurotrófico Derivado del Cerebro (BDNF), Factor de Crecimiento Nervioso (**NGF**), Neurotrofina-1 (**NT-1**), Neurotrofina-3 (**NT-3**) y Neurotrofina-4 (**NT-4**), etc.

ACTIVAN CÉLULAS MADRE NEURONALES & CÉLULAS PROGENITORAS



PROVOCANDO NEUROGÉNESIS &
PLASTICIDAD NEURONAL (SINAPTOGÉNESIS)

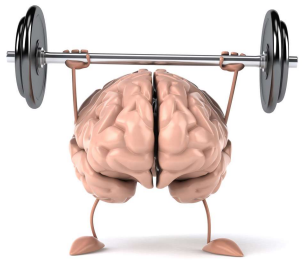


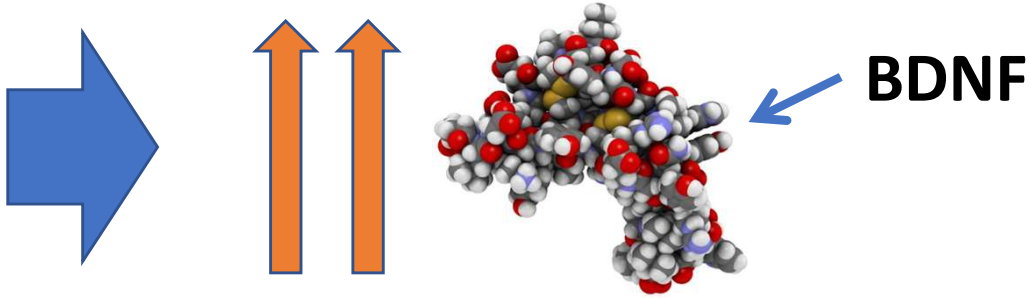
La Activación constante del S.N. (Aprendizaje y/o Práctica) es un Estímulo Determinante para Aumentar la Tasa y Supervivencia Neuronal

MODULADO Y CONDICIONADO POR ⇒ DIFICULTAD & COMPLEJIDAD DE LAS TAREAS

BRAIN DERIVED NEUROTRPHIC FACTOR (*BDNF*)
vs.
ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

El Entrenamiento de Fuerza impacta positivamente sobre los neurotransmisores, mejorando la función cerebral y bienestar general





AUMENTO DE NIVELES DE *BDNF*
CON EL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

Al parecer, existe una CARGA MÍNIMA (CARGA UMBRAL)
para obtener una respuesta favorable de los *BDNF* al Trabajo de Fuerza
(Tipo de Estímulo, Intensidad & Volumen)

Existe una correlación directa entre los ***BDNF*** y la
Proliferación & Diferenciación de Células Madre Neuronales
(NEUROGÉNESIS)

Queen's University at Kingston

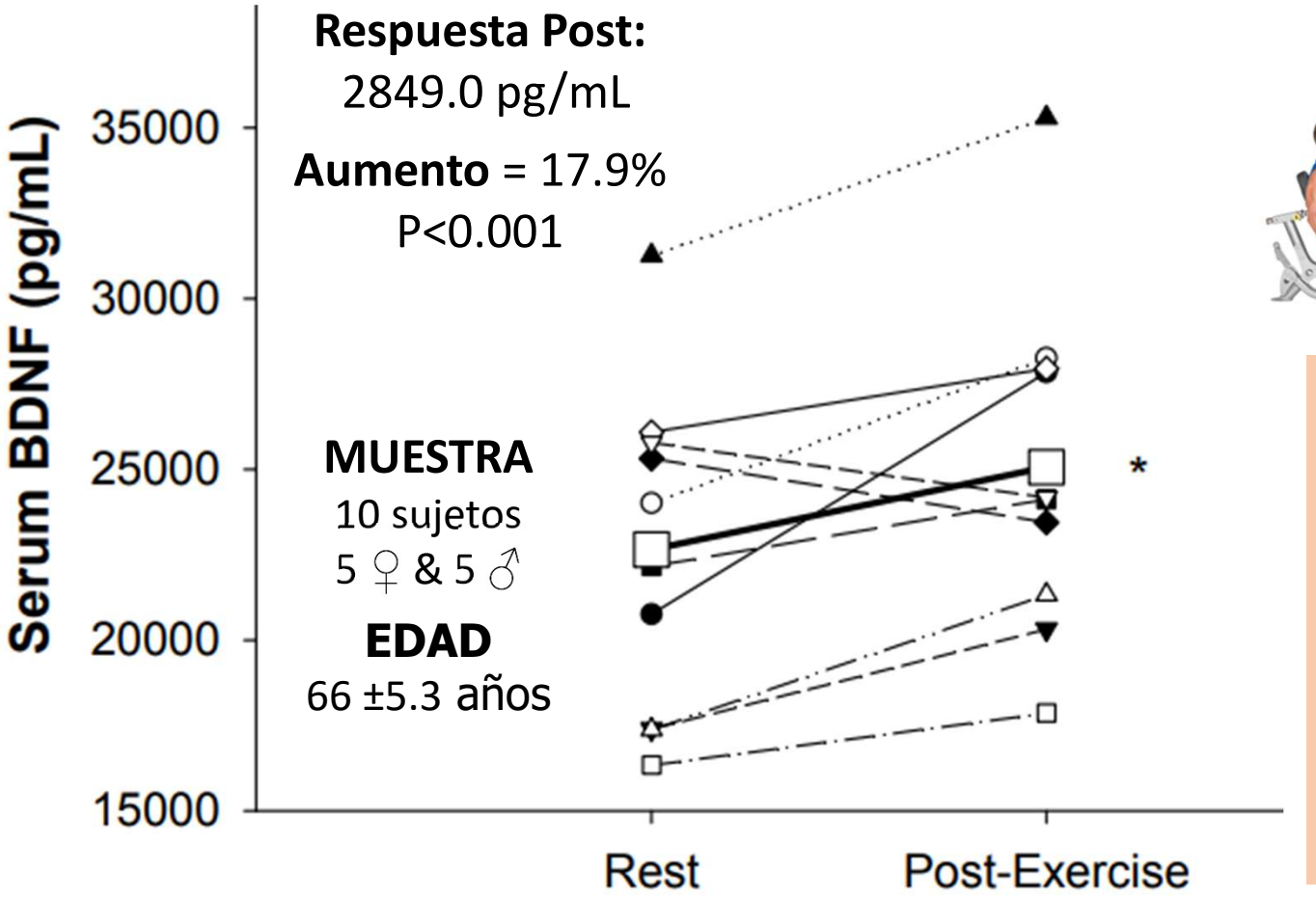
Neurotrophic growth factor responses to lower body resistance training in older adults

Walsh JJ, Scribbans TD, Bentley RF, Kellawan JM, Gurd B. & Tschakovsky ME. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 41(3), 315-323. 2016.

Respuesta Pre :
2411.5 pg/mL

Respuesta Post:
2849.0 pg/mL

Aumento = 17.9%
P<0.001



MUESTRA
10 sujetos
5 ♀ & 5 ♂

EDAD
66 ±5.3 años



ENTRENAMIENTO
8 SEMANAS
(3 Ejercicios de PRN)

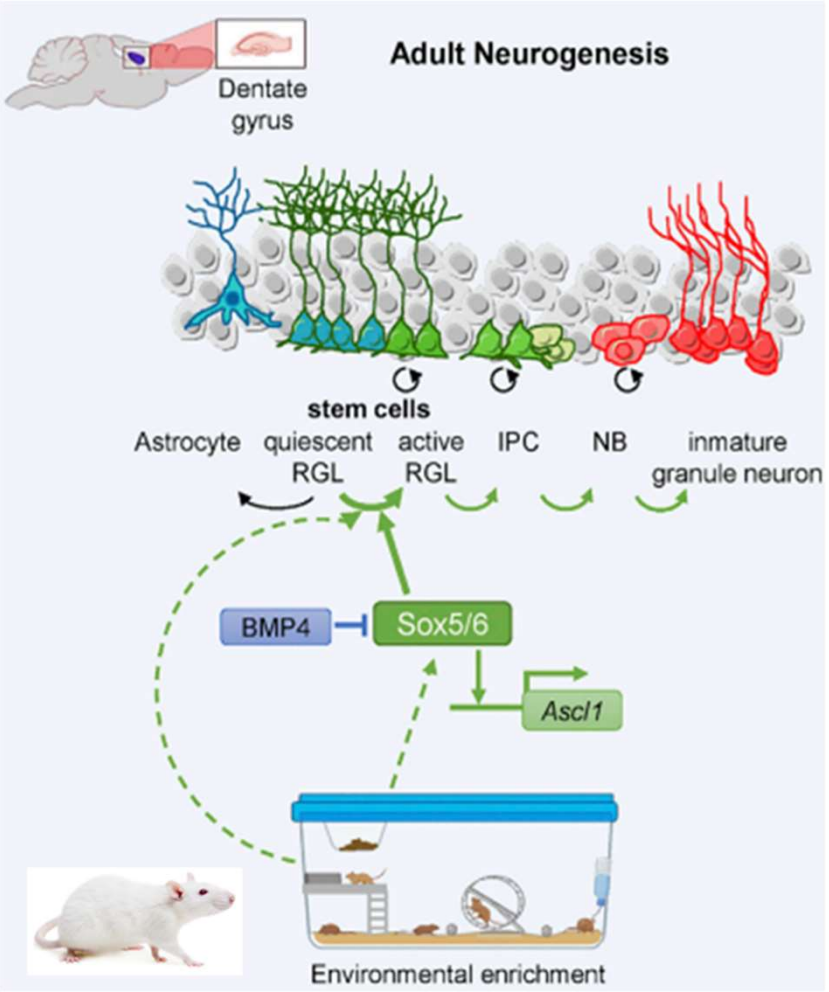
1) Split Squat (PC o Dumbbells)
2) Double Leg Press
3) Single Leg Press

SoxD genes are required for adult neural stem cell activation

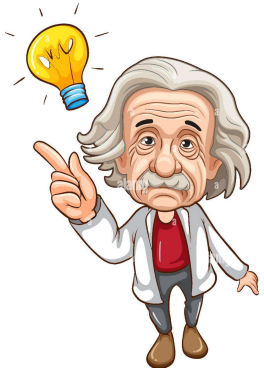
Li L, Medina C, García-Corzo L, Quiroga AC, Calleja, E, Córdoba C, Zinchuk V, Muñoz S, Rodríguez-Martín P, Ciorraga M, Colmena I, Fernández S, Vicario-Abejón C, Nicolis S, Lefebvre V, Mira H. & Morales AV.

Cell Reports, doi: 10.1016/j.celrep.2022.110313. 2022.

- **Transición de Células Madre Neuronales (*CMN*) inactivas a *CMN* activas requiere de la presencia de proteínas *Sox5* & Sox6.**
  - ***Sox5*** y ***Sox6*** se encuentran mayoritariamente en el Hipocampo (*Giro Dentado*).
- Pérdida de ***Sox5*** o ***Sox6*** disminuye la **Neurogénesis Adulta** en el Giro Dentado.
- Transcripción del activador de ***CMN*** (***Ascl1***), está modulada por ***Sox5*** y ***Sox6***.



ENRIQUECIMIENTO AMBIENTAL ⇒ Aumenta de activación de *CMN*



Platelet-derived exerkine CXCL4/platelet factor 4 rejuvenates hippocampal neurogenesis and restores cognitive function in aged mice

Leiter O., Brici D., Fletcher SJ., Yong XLH., Widagdo J., Matigian N., Schroer AB., Bieri G., Blackmoore DG., Barlett PF., Anggono V., Villeda SA. & Walker TL.

Nature Communications, 14(1), 4375. https://doi.org/10.1038/s41467-023-39873-9 2023.

EJERCICIO ⇒ Induce activación de Plaquetas &

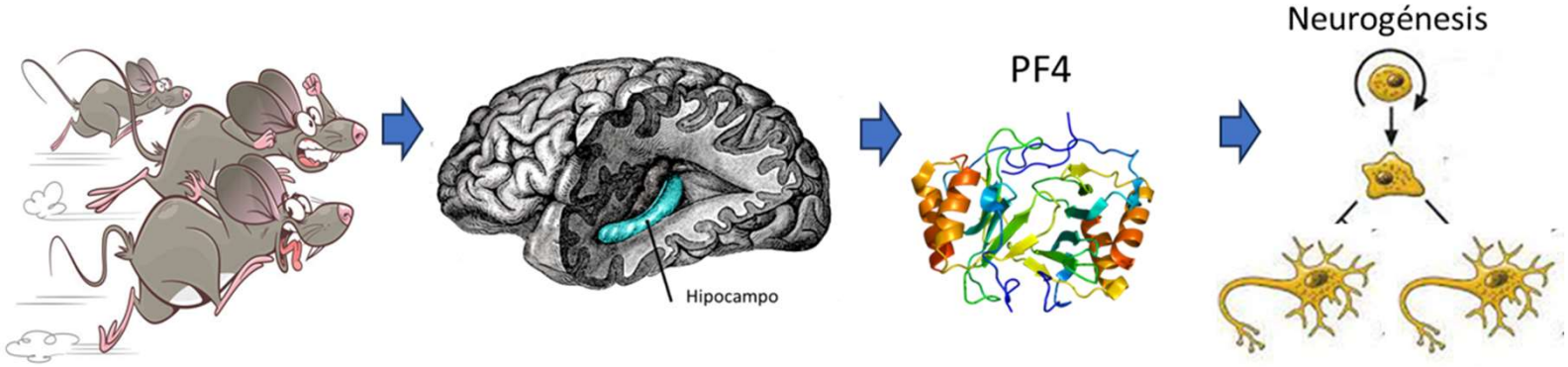
Secreción de Factores Plaquetarios (PF4)

⇓ ⇓ ⇓ ⇓

Proliferación de Células Precursoras de la NEUROGÉNESIS

(CÉLULAS MADRE NEURONALES & CÉLULAS PROGENITORAS)

THE UNIVERSITY OF QUEENSLAND AUSTRALIA



El aumento de Plaquetas conlleva un incremento de niveles de

Exerquina CXCL4/Factor Plaquetario 4 (PF4)

En cerebros adultos, el aumento de PF4 ⇒ Mejora Deterioro Cognitivo & ACTIVA NEUROGÉNESIS EN HIPOCAMPO

Universidad de Oviedo

Autophagy is required for performance adaptive response to resistance training and exercise-induced adult neurogénesis

Codina-Martínez H, Fernández-García B, Díez-Planelles C, Fernández AF, Higarza SG, Fernández-Sanjurjo M. ... & Tomás-Zapico C.

Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 30(2), 238-253. 2020.

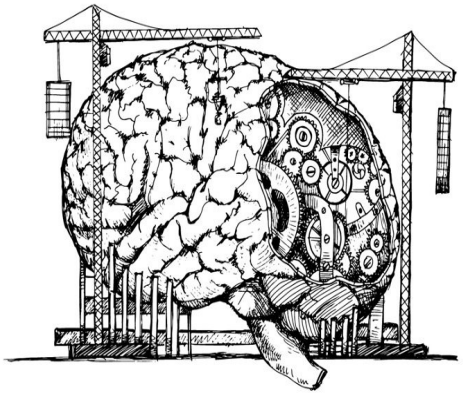
AUTOFAGIA



PROCESO CRUCIAL PARA:

Neurogénesis Adulta Inducida por Ejercicio &

Rendimiento posterior en Fuerza



Entrenamiento de Fuerza:

Induce a la Autofagia

⇓ ⇓ ⇓

Promueva Neurogénesis





MUESTRA: Ratones machos tipo salvaje (Wt; n = 36) &
Ratones con deficiencia de autofagia sistémica (KO; n = 36)
Todos con 8 semanas de edad

Autofagia

Crucial para el Rendimiento en Fuerza y la Neurogénesis Adulta Inducida por el Ejercicio

University of Jyväskylä

Aerobic Exercise Increases Hippocampal Neurogenesis More Compared to Resistance Exercise in Rats Selectively Bred for High/Low Response to Training

Marje Harri & Kristiina Heiskanen

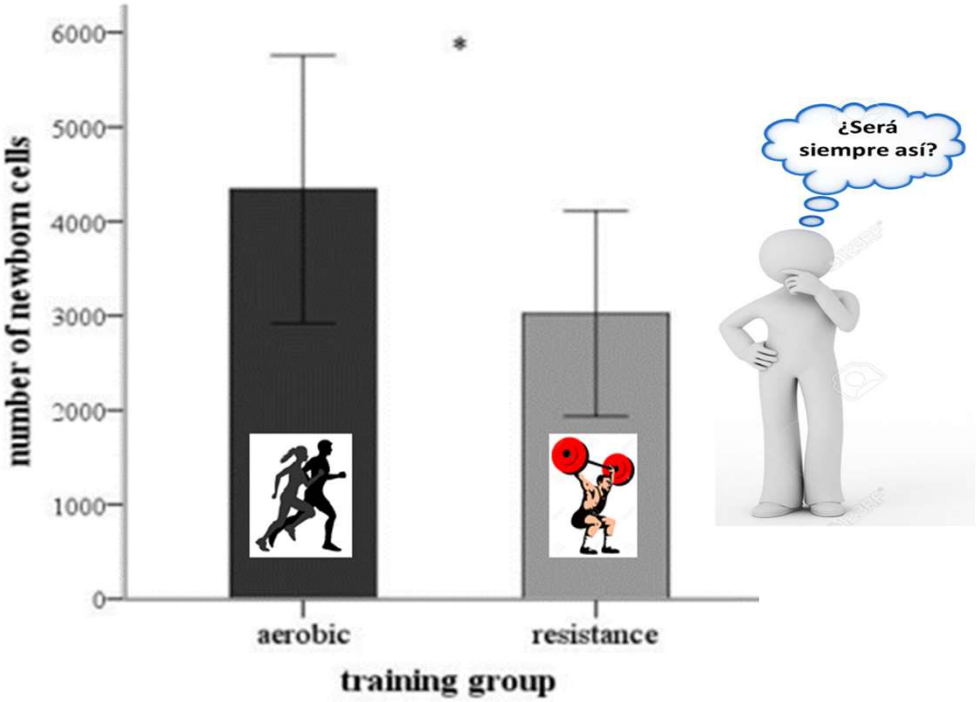
Master's Thesis Department of Psychology University of Jyväskylä. 2014.

ENTRENAMIENTO DE FUERZA ⇒ parece provocar:

MENOR RESPUESTA ADAPTATIVA (ANGIOGÉNESIS Y NEUROGÉNESIS)

Que el EJERCICIO AERÓBICO

Nuevas Neuronas y Sinapsis con el Entrenamiento Aeróbico y de Fuerza

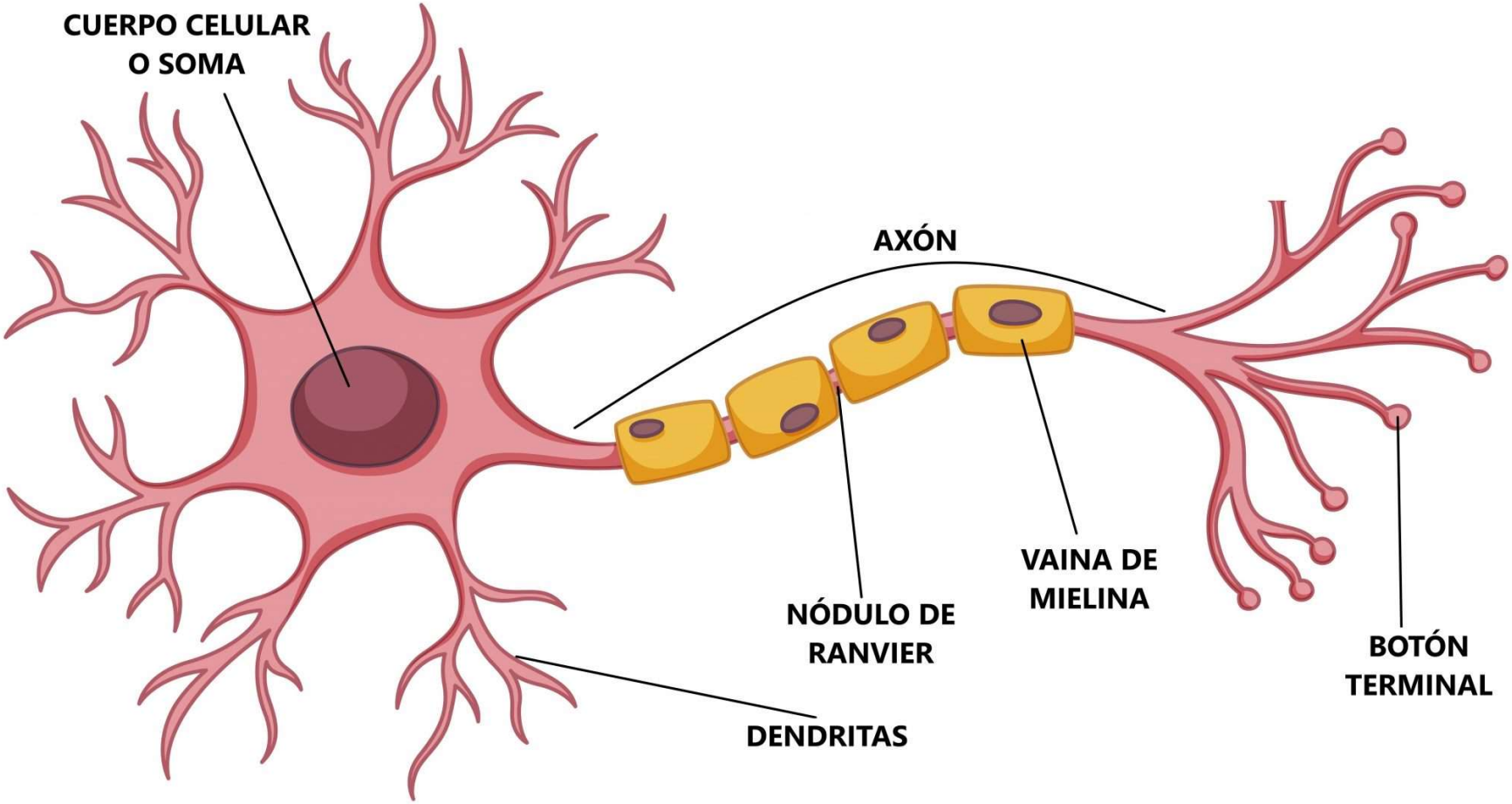


Aunque el EJERCICIO AERÓBICO parece FAVORECER MÁS LA NEUROGÉNESIS, el TRABAJO DE FUERZA también puede inducir cambios importantes en la configuración y funcionamiento del S.N.C.:

- **ADAPTACIONES NEURALES**
  - **Adaptaciones Centrales**
  - **Adaptaciones Periféricas**
- **PROCESOS COGNITIVOS**

ESTAS RESPUESTAS ADAPTATIVAS SON ESPECIALMENTE RELEVANTES CON TAREAS ABIERTAS DE FUERZA

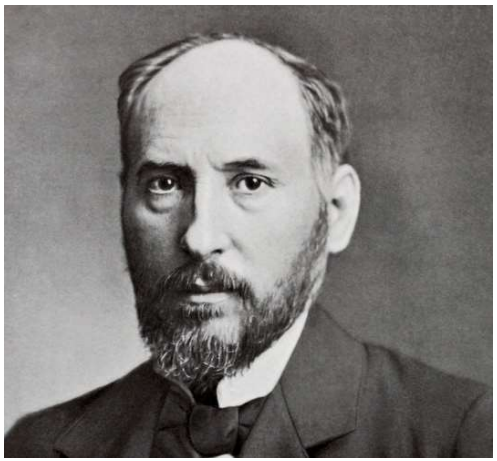
NEURONAS

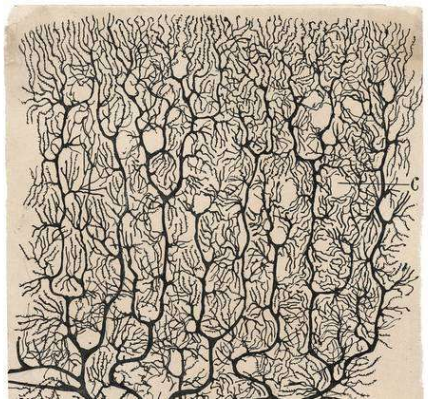

CUERPO CELULAR
O SOMA
AXÓN
NÓDULO DE
RANVIER
VAINA DE
MIELINA
BOTÓN
TERMINAL
DENDRITAS

NEURONAS

Las **NEURONAS** fueron identificadas en 1877
por el médico militar del ejército español
SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL (1852-1934)

Cajal perfeccionó la técnica elaborada por el médico italiano
BARTOLOMEO CAMILLO EMILIO GOLGI (1843-1926)
(impregnación argéntica de Golgi)
utilizándola para cartografiar el sistema nervioso central,
elaborando un catálogo extraordinario de dibujos detallados y meticulosos que abarcaban numerosos espacios y zonas del cerebro





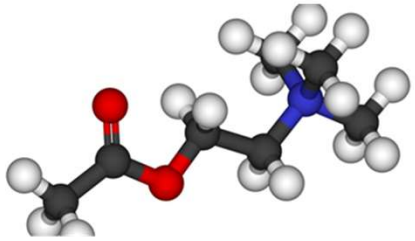


OTTO LOEWI
(1873-1961)
Premio Nobel de Medicina en 1936

Junto con **HENRY HALLETT DALE (1875-1968)**, contribuyeron al conocimiento de la transmisión química de los impulsos nerviosos

Loewi comprobó que la **ACETILCOLINA** era un mensajero químico que transmitía el impulso nervioso (**NEUROTRANSMISORES QUÍMICOS**)







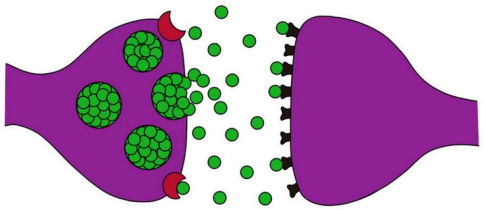
Hoy sabemos que las neuronas se conectan entre sí, y con otras células circundantes, formando circuitos que organizan en redes neuronales

SINAPSIS

(COMUNICACIÓN ENTRE NEURONAS)

Las conexiones de las células que conforman un circuito neuronal se construyen a partir de una densa red de conexiones (**SINAPSIS**) entre **DENTRITAS**, **TERMINALES AXÓNICOS** y **CÉLULAS GLIARES**
Que juntos constituyen el llamado

NEUROPILO



TIPOS DE SINAPSIS

(Químicas o Eléctricas)

Sinapsis Axodentrítica
Sinapsis de un **Axón** con la **Dendrita** de otra neurona

Sinapsis Axosomática
Sinapsis de un **Axón** con el **Cuerpo** de otra neurona

Sinapsis Axoaxonica
Sinapsis de un **Axón** presináptico con el **Axón** de otra neurona



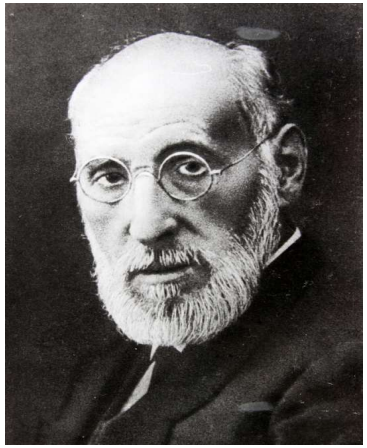
SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL (1852-1934)

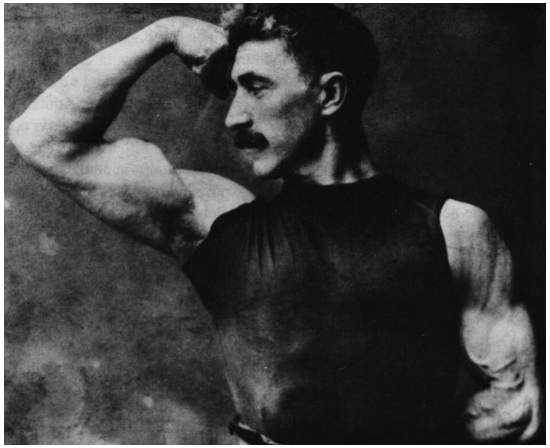
(Premio Nobel de Medicina en 1906)

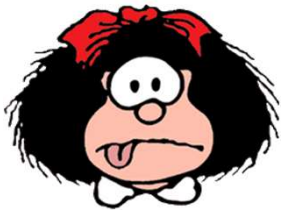
Afirmó que el cerebro adulto es "*FIJO*" e "*INMUTABLE*"

"Los circuitos nerviosos son algo fijo, cerrado e inmutable.
Todo puede morir, pero nada puede regenerarse.
Es tarea de la ciencia del futuro modificar este cruel decreto"











Actualmente sabemos que:

LA TEORÍA DE QUE EL CEREBRO
NO PUEDE PRODUCIR NUEVAS NEURONAS
TRAS EL ALUMBRAMIENTO

PARECE SER ERRONEA



NEUROPLASTICIDAD

Neurogénesis & Plasticidad Sináptica

Synaptic plasticity-associated proteases and protease inhibitors in the brain linked to the processing of extracellular matrix and cell adhesión molecules

Tet Woo Lee, Vicky V.W. Tsang & Nigel P. Birch

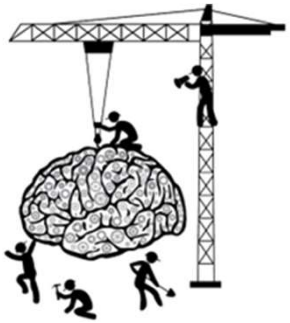
Neuronal and Glial Cell Biology, 4(3), 223-234. 2008.

Universidad Auckland

CAPACIDAD DEL SISTEMA NERVIOSO (CENTRAL & PERIFÉRICO)

⇓ ⇓ ⇓ ⇓

De cambiar su estructura y su funcionamiento



Potencial del Sistema Nervioso de modificarse y crear nuevas conexiones o estructuras (Sinaptogénesis & Neurogénesis) en respuesta a información nueva, activación recurrente, estimulación sensorial, desarrollo, modificación, disfunción o daño de estructuras neurales previas

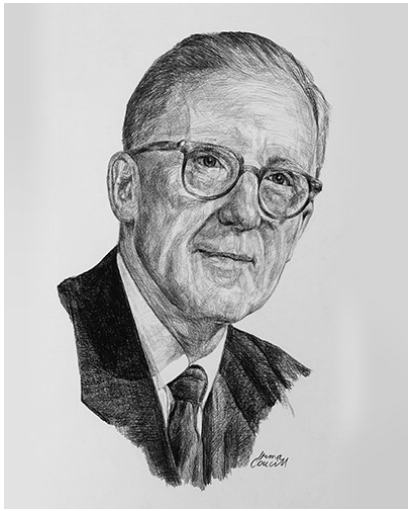
Este mecanismo permite al tejido nervioso experimentar cambios adaptativos y/o organizativos de su situación estructural & funcional con o sin alteración del mismo

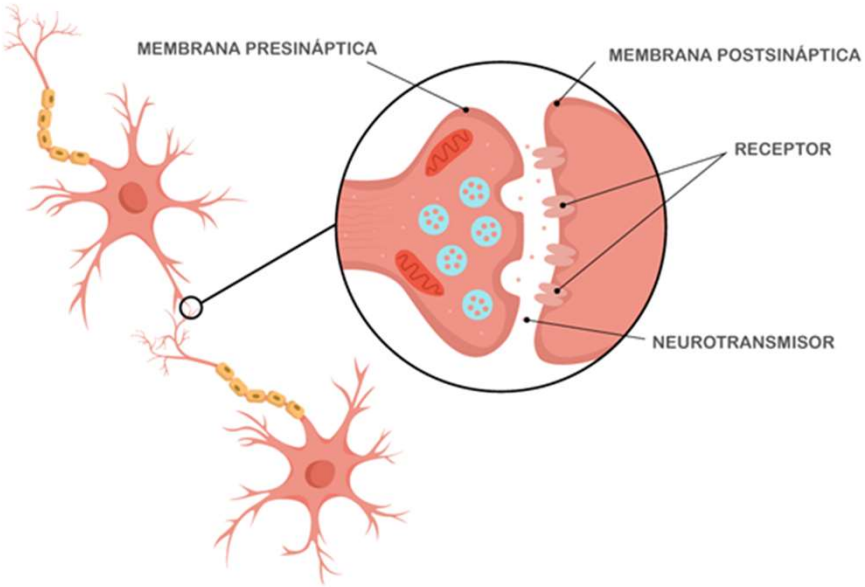
PRINCIPIO DE HEBB

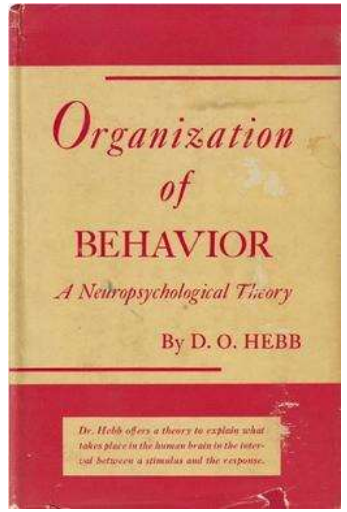
Donald O. Hebb (1904-1985)

"La organización de la conducta"(1949)

Hace referencia a la capacidad que tiene el sistema nervioso de modificar la naturaleza y la fortaleza de las sinapsis





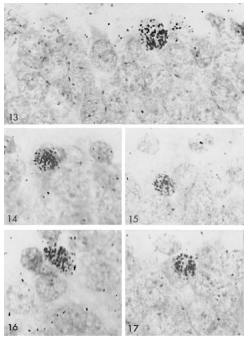


Plantea que **si dos neuronas están activas aproximadamente al mismo tiempo sus conexiones se fortalecen**

Esto provocaría la aparición de botones terminales, o el agrandamiento de otros ya existentes, en el axón de la neurona presináptica; estos se encontrarían en contacto directo con el soma de la célula postsináptica

La asociación física y funcional entre distintas neuronas daría lugar a engramas o asambleas celulares ("**Redes Neuronales**")

NEUROGÉNESIS ADULTA



Cerebro produce, a lo largo de toda la vida, Nuevas Células Nerviosas

Joseph Altman (1925-2016)

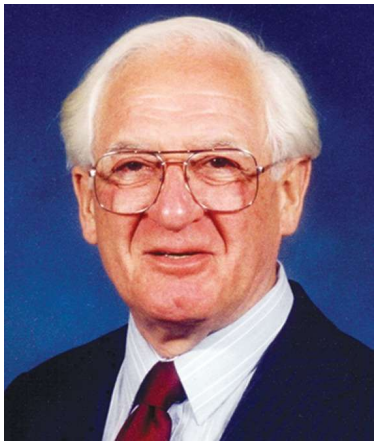
Instituto Tecnológico de Massachusetts (*MIT*)

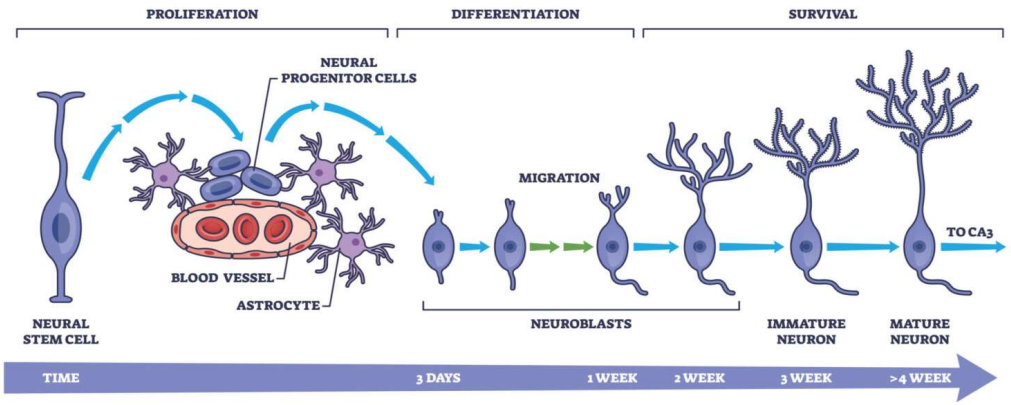
En 1962-1969, Altman demostró que el cerebro tiene una elevada plasticidad estableciendo nuevas conexiones y creando nuevas neuronas, durante toda la vida, garantizando la capacidad del Sistema Nervioso de adaptarse a las demandas del entorno

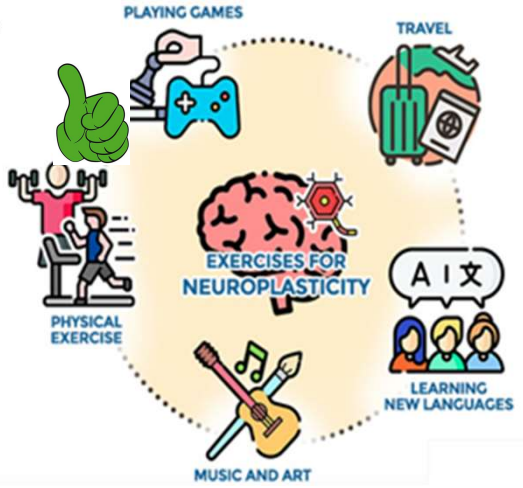
ESTÍMULOS DESENCADENANTES: Actividad Intelectual, Relaciones Sociales y/o "EJERCICIO FÍSICO"

Creación 700 y 1.500 nuevas Neuronas/Día (≈1.75 ANUAL)

Surgen a partir de Células Madre Neuronales







A medida que envejecemos disminuye la capacidad de Neurogénesis



NEUROGÉNESIS ADULTA

ADULT NEUROGENESIS

Gerd Kempermann

En *Neuroscience in the 21st Century: From Basic to Clinical* (pp. 321-339)

Cham: Springer International Publishing. 2022.

DZNE
German Center for
Neurodegenerative Diseases
within the Helmholtz Association

"Reforzando la Hipótesis de Joseph Altman"

GENERACIÓN DE NUEVAS NEURONAS EN EL CEREBRO ADULTO

A partir de **Células Madre Neurales** & **Células Progenitoras Neurales**

NEUROGÉNESIS ADULTA ⇒ **una excepción en humanos**, ya que el cerebro de los mamíferos es, en su mayor parte, **NO NEUROGÉNICO**

Roedores & Primates ⇒ 2 Zonas Neurogénicas

Especies de Anfibios, *Peces & Aves* ⇒ más zonas de Neurogénesis Adulta

Neurogénesis Adulta responde, de manera muy sensible, a Estímulos Externos

La hipótesis actual es que la Neurogénesis del Hipocampo en adultos influye sobre su función, permitiendo procesos neuronales adaptativos durante toda la vida

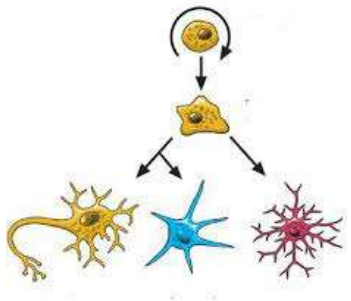
Si la neurogénesis en adultos falla, podrían desarrollarse varias enfermedades, incluidas demencias, depresión severa y esquizofrenia, así como epilepsia del lóbulo temporal

FACULDADE DE MEDICINA LISBOA

An overview of adult neurogenesis

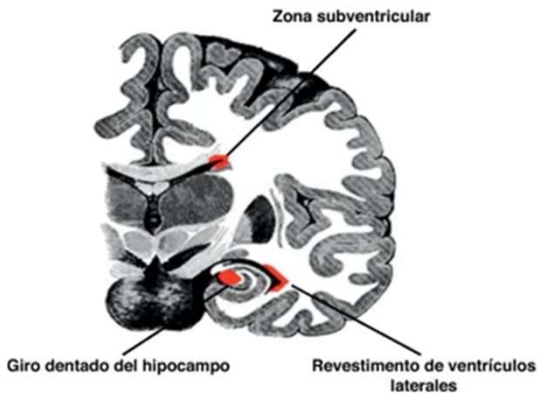
Filia F. Ribeiro & Sara Xapelli

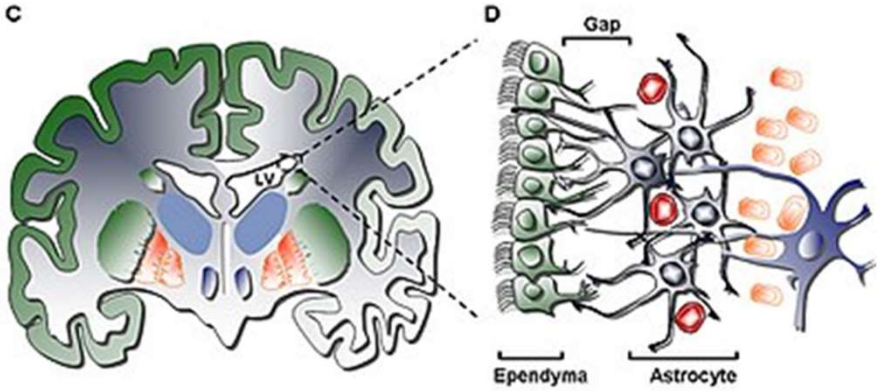
Recent Advances in NGF and Related Molecules:
The Continuum of the NGF "Saga" Pag. 77-94. 2021.



La Neurogénesis Adulta se mantiene en el Cerebro de los mamíferos, en dos regiones principales:

- **Zona Subventricular (SVZ) de los Ventrículos Laterales (Bulbo Olfatorio);**
- **Zona Subgranular (SGZ) de la Circunvolución Dentada del Hipocampo.**





Neurogénesis en Adultos es un proceso de múltiples pasos mediante los cuales se generan NUEVAS NEURONAS a partir de Células Madre Neurales activadas que MIGRAN para integrarse en los circuitos neuronales existentes

La alteración de cualquiera de estos pasos perjudica la neurogénesis y compromete la función cerebral, provocando deterioro cognitivo y/o enfermedades neurodegenerativas

Neuronal migration in the adult brain: are we there yet?

H. Troy Ghashghaei, Cary Lai, C. & Anton, E. S.

Nature Reviews Neuroscience, 8(2), 141-151. 2007.

MIGRACIÓN NEURONAL

(Regulada por una compleja combinación de señales)

MOTOGÉNICAS & QUIMICAS (ATRACTIVAS & REPULSIVAS)



NEUROGÉNESIS ADULTA: tras nacer comienzan un PROCESO DE MIGRACIÓN ESPECÍFICO.

- **BULBO OLFATORIO: el proceso de migración podría satisfacer la demanda de remodelación continua de circuitos neuronales locales.**
- **HIPOCAMPO: garantiza la supervivencia e incorporación de nuevas neuronas aunque son altamente dependientes de la actividad y, por lo tanto del punto de migración.**

Diferencias morfológicas y funcionales de las nuevas neuronas del cerebro maduro, parecen ir paralelas a cambios en las señales moleculares que condicionan los procesos de neurogénesis, sinaptogénesis y migración (i.e. envejecimiento)

"MIGRACIÓN NEURONAL EMBRIONARIA"

PROCESO DE TRANSPORTE QUE VA DESDE EL PUNTO DE FORMACIÓN DE LA NEURONA (NEUROBLASTO) HASTA SU LOCALIZACIÓN FINAL

Cuando nacen las neuronas migran hacia su lugar de destino

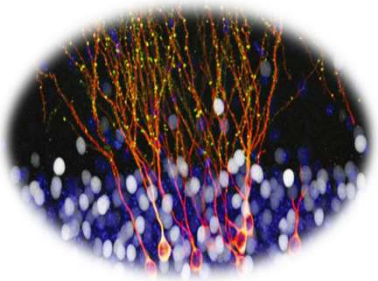
Cuando llega a su destino comienza su diferenciación adquiriendo las características morfológicas y fisiológicas de una neurona adulta



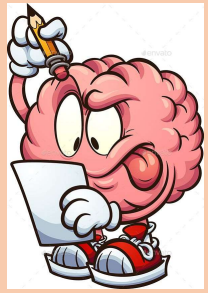
PROCESO VINCULADO Y CONDICIONADO POR:

TIPO E INTENSIDAD DEL EJERCICIO

ACTIVACIÓN GÉNICA GENERADA

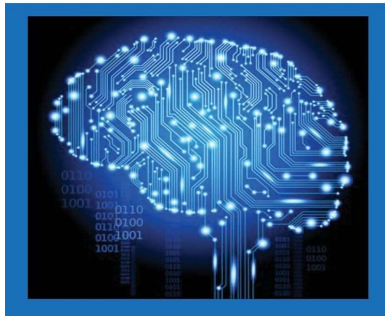


MECANISMO ASOCIADO A:



- **Factores Neurotróficos Neuronales**
  - Factor Neurotrófico Derivado del Cerebro (BDNF)
  - Factor de Crecimiento Tipo Insulina 1 (IGF-1)
- **Factor de Crecimiento de Endotelio Vascular (VEGF): Angiogénesis**
- **Biogénesis Mitocondrial Neuronal**

Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies (BRAIN) Working Group





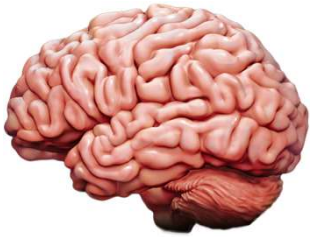
Comprehensive cell atlas of the first-trimester developing human brain

Emelie Braun, Miri Danan-Gotthold, Lars E. Borm, Elin Vinsland, Ka Wai Lee, Peter Lönnerberg, Lijuan Hu, Xiaofei Li, Xiaoling He, Žaneta Andrusivová, Joakim Lundeberg, Ernest Arenas, Roger A. Barker, Erik Sundström & Sten Linnarsson

Science, DOI:https://doi.org/10.1126/science.adf1226. 2022.

¡¡ NO SOLO NEURONAS !!







CEREBRO HUMANO NO ES ESTRUCTURALMENTE HOMOGÉNEO

Cerebro Humano ⇒ Tiene > 3.000 Tipos Diferentes de Células Cerebrales

Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies (*BRAIN Iniciative*)
Identifican 12 clases principales y más de 600 estados celulares distintos

Configuran una red, elevadamente compleja, de
Neuronas & **Células No Neuronales** (**CÉLULAS GLIALES**)
con funciones diferentes según su ubicación y tipo

El cerebro utiliza NEURONAS altamente especializadas a nivel regional y local, **respaldadas por CÉLULAS GLIALES específicas para cada zona del cerebro**

Stony Brook University

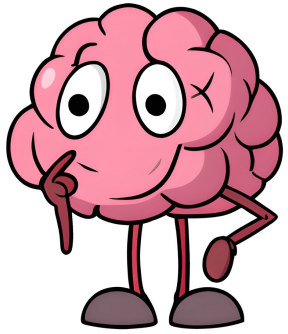
HACIA UN CAMBIO DE PARADIGMA

SUPERANDO LA "DOCTRINA DE LA NEURONA"

⇓ ⇓ ⇓ ⇓

INCLUSIÓN DE LAS CÉLULA GLIARES

Vinculadas al Procesamiento de Información y la Plasticidad Neuronal a través de:





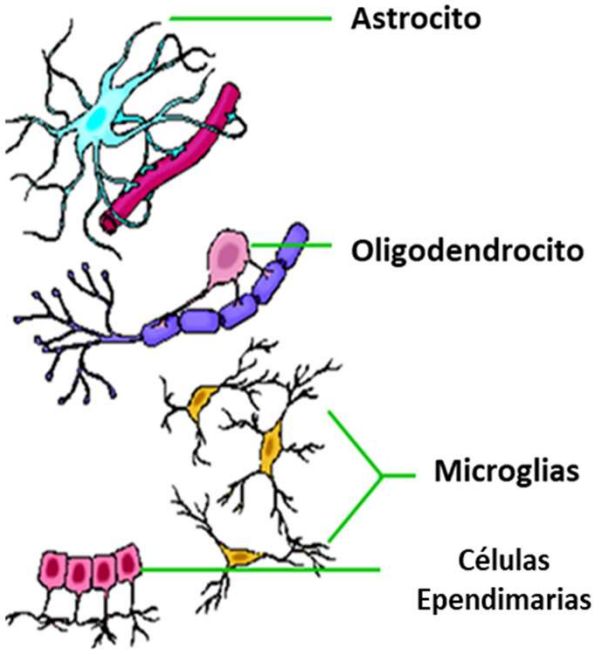
ASTROCITOS Y MICROGLIAS

Condicionan la Transmisión de los Impulsos Nerviosos

OLIGODENDROCITOS

Mielinización y Velocidad de Transmisión de Impulsos

EPENDIMOCITOS



CÉLULAS GLIALES AUMENTAN CON EL EJERCICIO

Glial hypertrophy is associated with synaptogenesis following motor-skill learning, but not with angiogenesis following exercise

Anderson BJ, Li X, Alcantara AA, Isaacs KR, Black JE. & Greenough WT. Glia, 11(1), 73-80. 1994.

Volumen Glial y su Respuesta Adaptativa

Correlaciona con

Densidad Sináptica Derivada del Ejercicio

CÉLULAS GLIARES

OLIGODENDROCITOS: Mielinización

Fabrican mielina y vaina que envuelve el axón. Aumenta Velocidad del impulso nervioso (Potencial de Acción) y la Velocidad de procesado del Encéfalo.

ASTROCITOS: Alimentación, Eliminación e Interconexión Sináptica

Presentan numerosas ramificaciones que envuelven a Neuronas y Vasos. Intervienen en control del pH del medio extracelular y favorece la transmisión de impulsos. Participan en degradación del NH_3, CO_2 y otros catabolitos cerebrales. Colaboran en proceso de recaptación de neurotransmisores en las sinapsis y en la transmisión de impulsos. Contribuye en la formación de la barrera hematoencefálica. Liberan factores neurotróficos que apoyan la supervivencia y reparación neuronal.

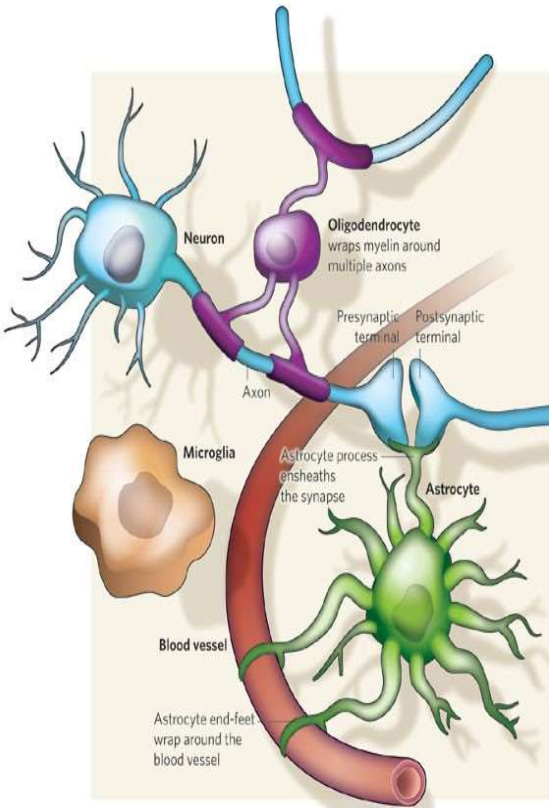
MICROGLÍAS: Protección.

Regulan función nerviosa. Participan en el control de neuromoduladores extracelulares liberados por las neuronas. Inciden sobre nucleótidos extracelulares vinculadas a degradación de neuronas. El entrenamiento de fuerza, puede modular la actividad microglial mediante la regulación de factores inflamatorios como la IL-6, la IL-10 y la IL-1β1.

EPENDIMOCITOS: Recubren las cavidades del cerebro y medula espinal controlando la composición del líquido raquídeo. Protegen neuronas degradando péptidos neuro activos que pudieran afectar negativamente la función neuronal.

Constituyen ≈ 90% de las células del cerebro humano

Desempeñan un papel activo en el desarrollo y función del SNC



UNIL | Université de Lausanne

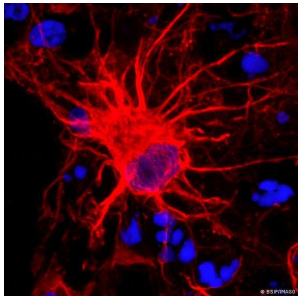
Specialized astrocytes mediate glutamatergic gliotransmission in the CNS

de Ceglia R, Ledonne A, Litvin DG, Lind BL, Carriero G, Latagliata EC. ... & Volterra A. Nature, *622*(7981), 120-129. 2023.

La creencia de que el cerebro sólo está formado por dos grandes tipos de células, NEURONAS & CÉLULAS GLIALES, puede tener los días contados

Con la liberación rápida de Glutamato, los Astrocitos pueden controlar la excitabilidad, la plasticidad y la actividad sincrónica de las redes sinápticas

Identifican 9 grupos molecularmente distintos de Astrocitos Hipocampales, entre los que se encuentra una subpoblación que expresa selectivamente la liberación de **Glutamato de Tipo Sináptico**



ASTROCITOS GLUTAMATÉRGICOS

Comunicaciones multimodales Astrocito-Neurona regulan el ensamblaje y función de los *Circuitos Cerebrales*

A través de la rápida **liberación de Glutamato**, los Astrocitos pueden controlar la excitabilidad, la plasticidad y la actividad de las Redes Sinápticas

Una subpoblación de Astrocitos especializados (*Astrocitos Glutamatérgicos*) del cerebro adulto, nos da información nueva sobre las complejas funciones que realizan los Astrocitos en la funcionalidad del Sistema Nervioso Central (SNC)

TRACTO RETICULOESPINAL

El **TRACTO RETICULOESPINAL** es un tracto descendente, parte del **Sistema Extrapiramidal**, que está presente en la **Sustancia Blanca de la Médula Espinal**

Se origina en la **Formación Reticular** (núcleo arcaico de las vías que conectan la **Médula Espinal** y **Cerebro**).

Está compuesto por el **Tracto Medial** (**Pontino**) y el **Tracto Lateral** (**Medular**).

Lo forman haces de axones que llevan información u órdenes desde la **Formación Reticular** en el **Tronco Encefálico** hasta las partes periféricas del cuerpo.

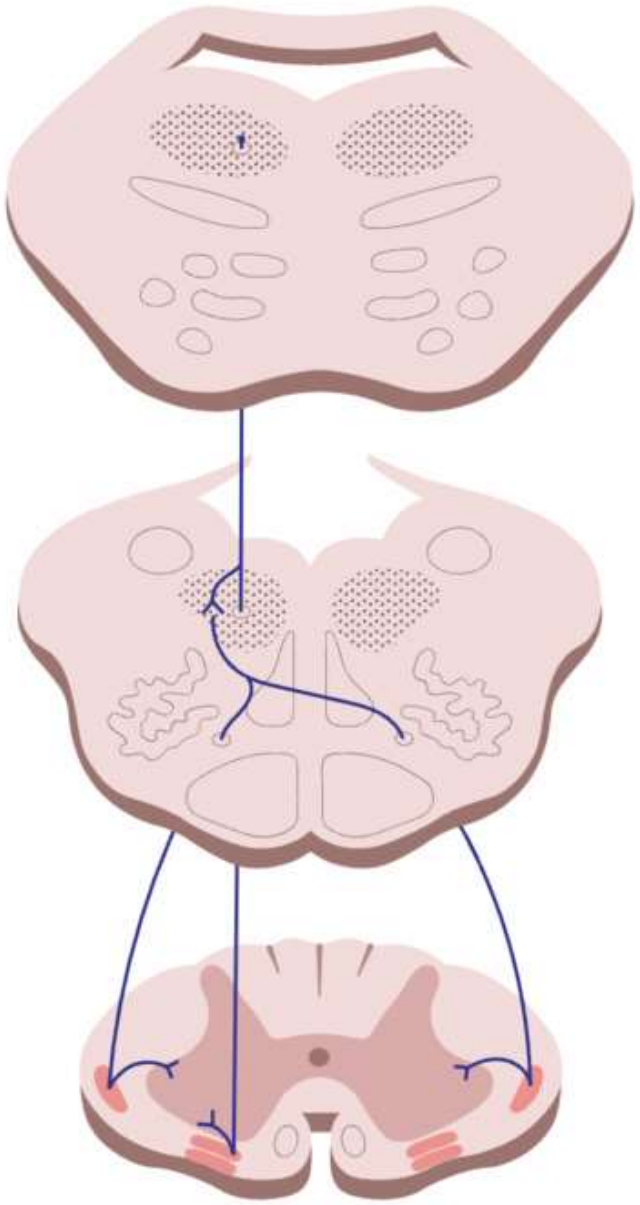
ES RESPONSABLE, PRINCIPALMENTE, DE:

Locomoción

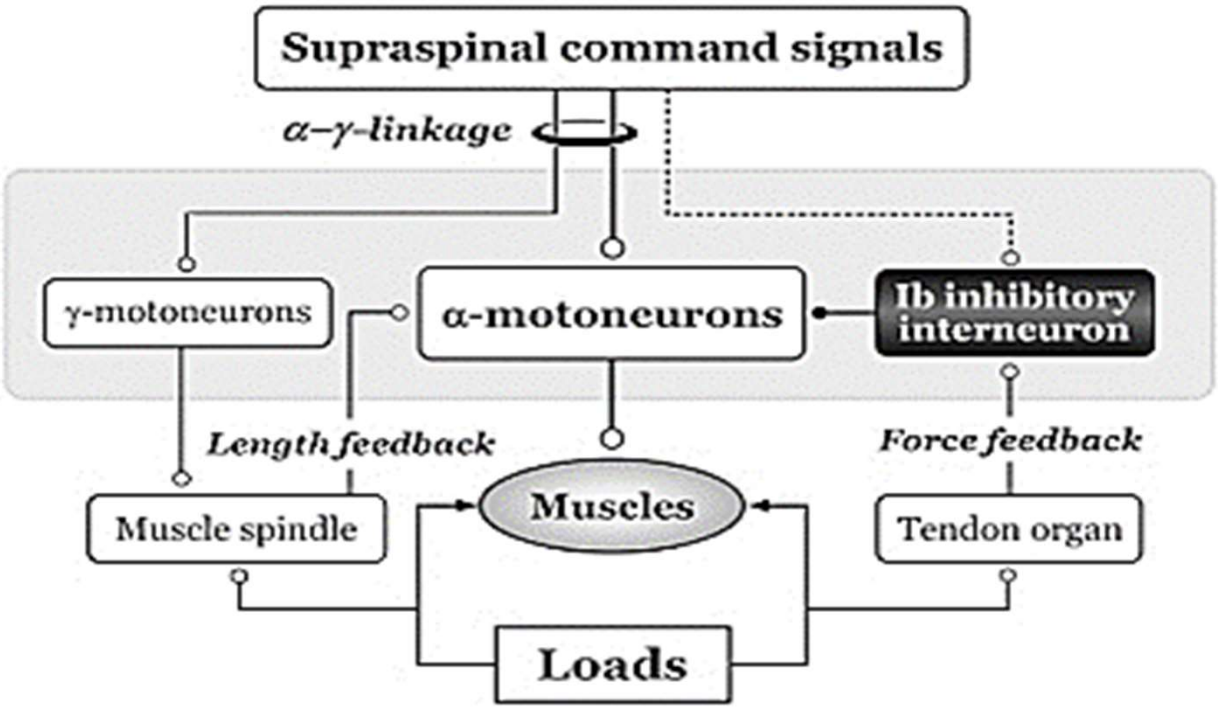
Control Postural

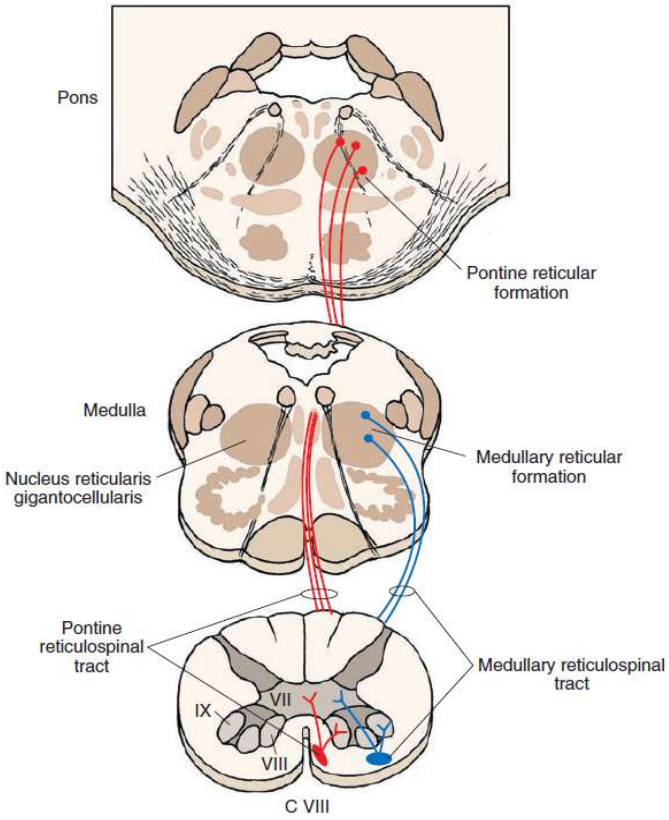
Control del Flujo Simpático & Parasimpático

Control de las Funciones Autónomas



TRACTO RETICULOESPINAL (RST)





Tracto Reticuloespinal es una de las vías del sistema corticorreticuloespinal

Vía descendente bilateral que afecta: Función Motora Gruesa & Movimientos Enérgicos

Incluye las vías que reciben impulsos de la corteza cerebral

(Comienza en la Formación Reticular del Tronco Encefálico y termina en Médula Espinal)

Conexiones Postsinápticas del RST

Son divergentes e inervan conjuntos de U.M. permitiendo la coordinación de múltiples grupos musculares relacionados con la Función Motora Gruesa

TRACTO RETICULOESPINAL (RST)

Tracto Reticuloespinal Lateral y Medial

Northumbria University
Newcastle

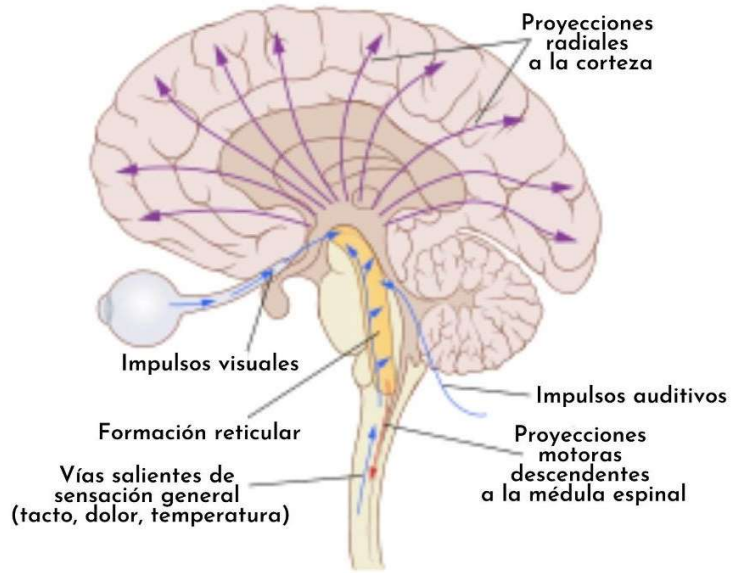
Does the reticulospinal tract mediate adaptation to resistance training in humans?

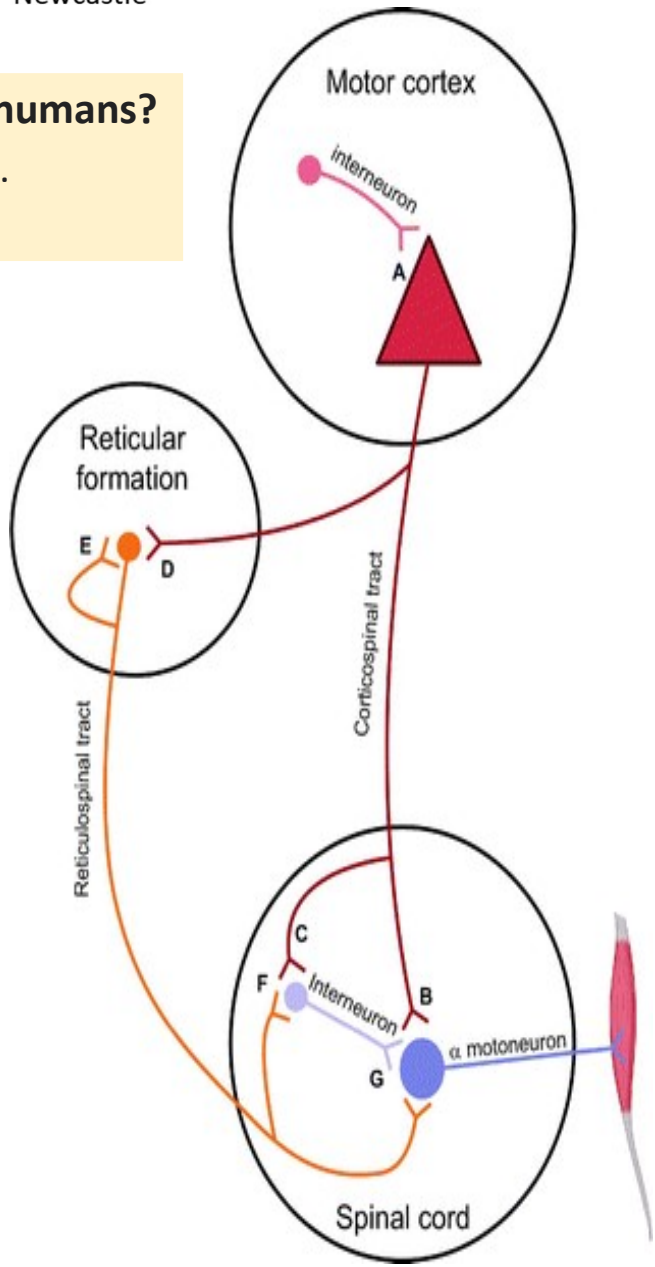
Atkinson E., Škarabot J., Ansdell P., Goodall S., Howatson G. & Thomas K.

Journal of Applied Physiology, 133(3), 689-696. 2022.

- **Trabajo de Fuerza:** involucra a estructuras del Tracto Reticuloespinal, y las Interneuronas Corticales Inhibitorias.
- Aumenta las adaptaciones en el RST provocando conexiones (mono y disinápticas) más numerosas y potentes, que garantizan la calidad de la acción muscular.







Cortical, corticospinal, and reticulospinal contributions to strength training

Isabel S. Glover & Stuart N. Baker

Journal of Neuroscience, 40(30), 5820-5832. 2020.

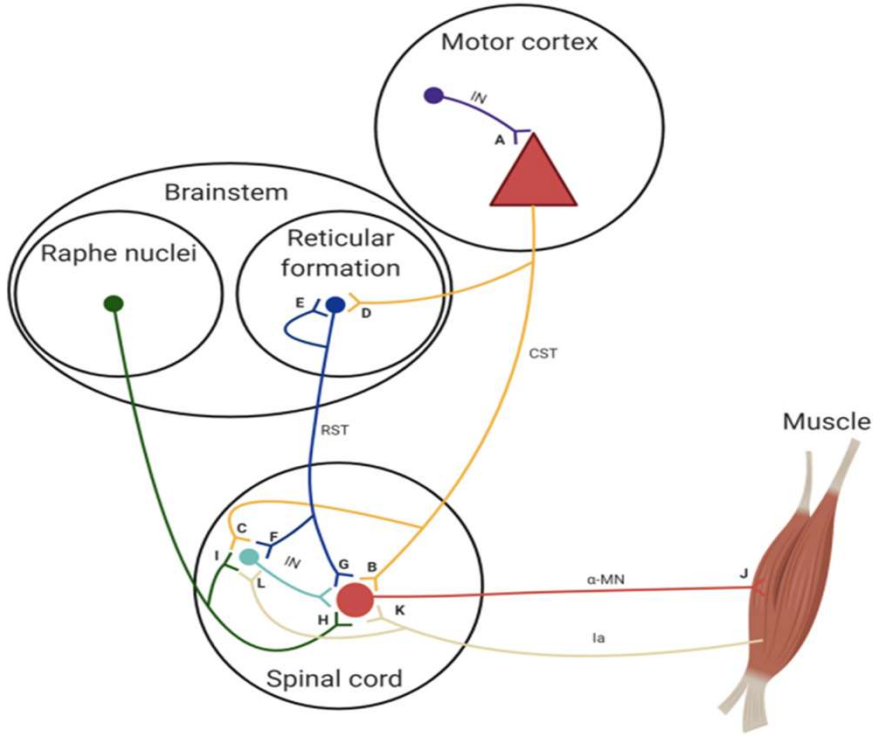
Aunque aún faltan datos concluyentes en humanos
los experimentos en primates sugieren que el

Tracto Reticuloespinal (RST)

Tracto descendente bilateral implicado en *Tareas Motoras Gruesas*, contribuye a una mayor producción de tensión después del Entrenamiento de Fuerza

Esta respuesta adaptativa puede ocurrir a través de cambios en:

- Conexiones Corticorreticulares (D),
- Conexiones Reticulares Recíprocas (E),
- Proyecciones Reticuloespinales a Interneuronas (F),
- Proyecciones Reticulares Monosinápticas a α-motoneuronas (α-MN) (G).

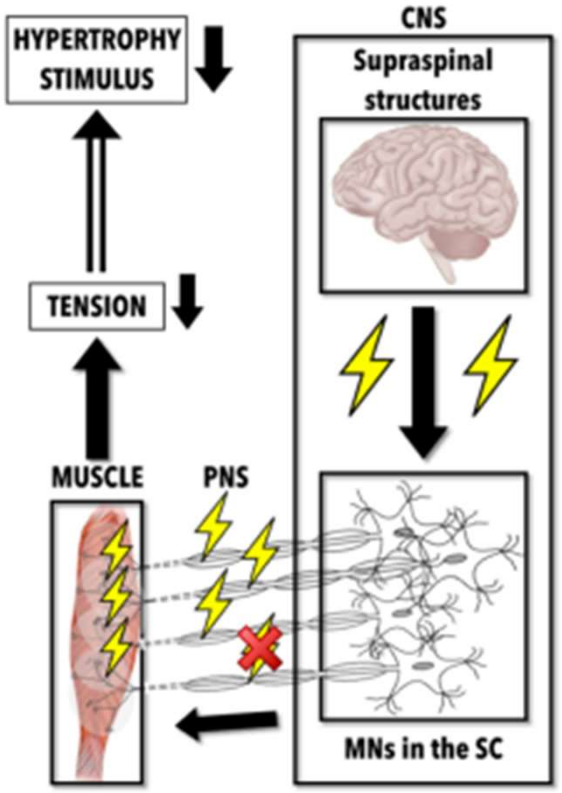


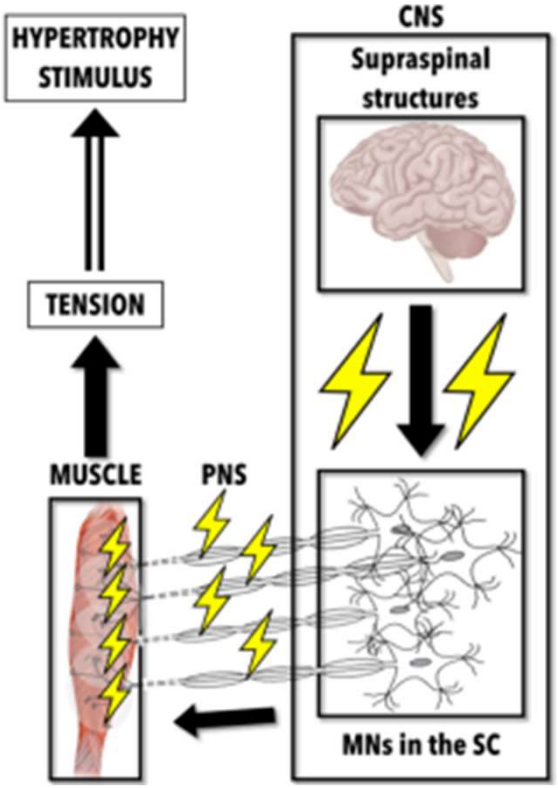
ADAPTACIÓN NEURONAL *VS.* HIPERTROFIA MUSCULAR

The role of the neural stimulus in regulating skeletal muscle hypertrophy
Alix-Fages C., Del Vecchio A., Baz E., Santos J. & Balsalobre C.
European Journal of Applied Physiology, 122(5), 1111-1128. 2022.



Impulso Neuronal Reducido

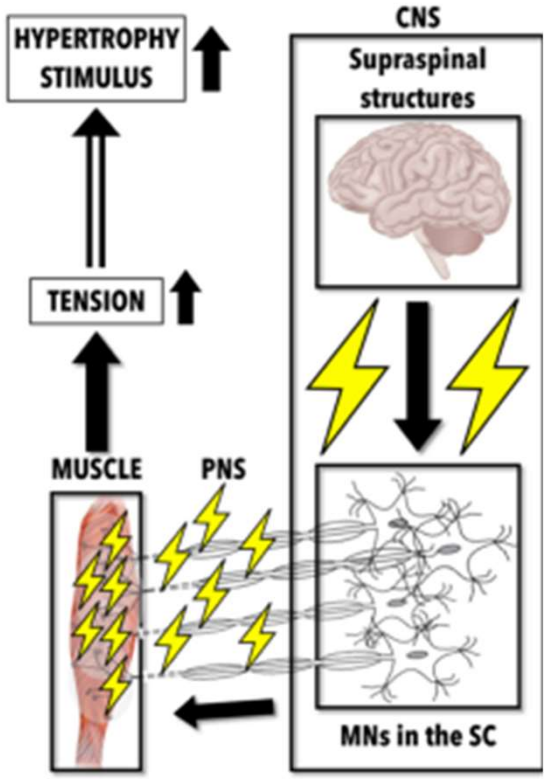




Adaptaciones Neuronales & Acumulación de Fatiga asociados al Entrenamiento de Fuerza pueden influir en la Hipertrofia



Impulso Neuronal Optimizado



FATIGA NEURAL *VS.* HIPERTROFIA MUSCULAR

Para provocar HIPERTROFIA del Músculo Esquelético, las fibras no solo tienen que ser reclutadas, sino que también tienen que alcanzar ciertos niveles de TENSIÓN & FATIGA

Esto se logra trabajando cerca del fallo y realizando Múltiples Series & Repeticiones

FATIGA PERIFÉRICA: en parte por la acumulación de metabolitos que proceden del metabolismo asociado a contracciones musculares que generan fuerza, podría promover



HIPERTROFIA DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO

FATIGA CENTRAL: podría perjudicar la Hipertrofia muscular



Según los sitios en los que se produce la fatiga, esta se puede dividir en:

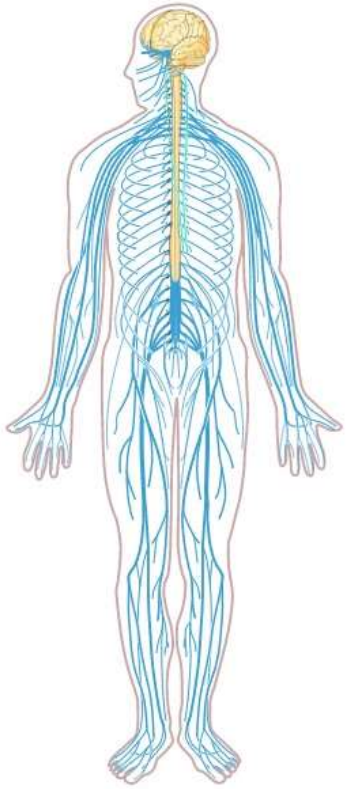
- **FATIGA PERIFÉRICA:** fatiga atribuida a procesos en la unión neuromuscular o distal a ella

  La de producir fuerza disminuye por causas como: deterioro de la transmisión del potencial de acción a través de la membrana de las fibras musculares; Conducción a través de los túbulos T; Reducción de la liberación de Ca^{2+} del retículo sarcoplásmico y su recaptación; Disminución de la sensibilidad al Ca^{2+} de las proteínas miofibrilares que están influenciados por la acumulación de metabolitos.

- **FATIGA CENTRAL:** fatiga debida a procesos dentro del sistema nervioso central

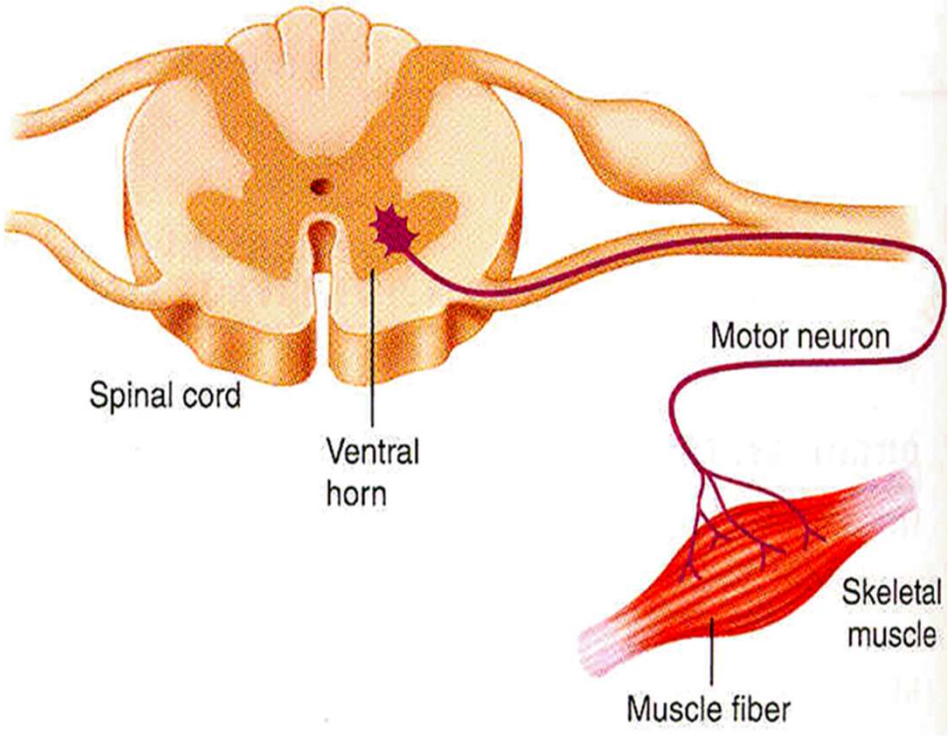
  Vinculada a varios cambios neuronales como: Alteraciones en la homeostasis de neurotransmisores; Cambios en excitabilidad de las neuronas motoras por su activación repetitiva; Reducciones en el impulso descendente desde la corteza motora; Retroalimentación aferente inhibitoria.

RESPUESTA ADAPTATIVA DEL SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO







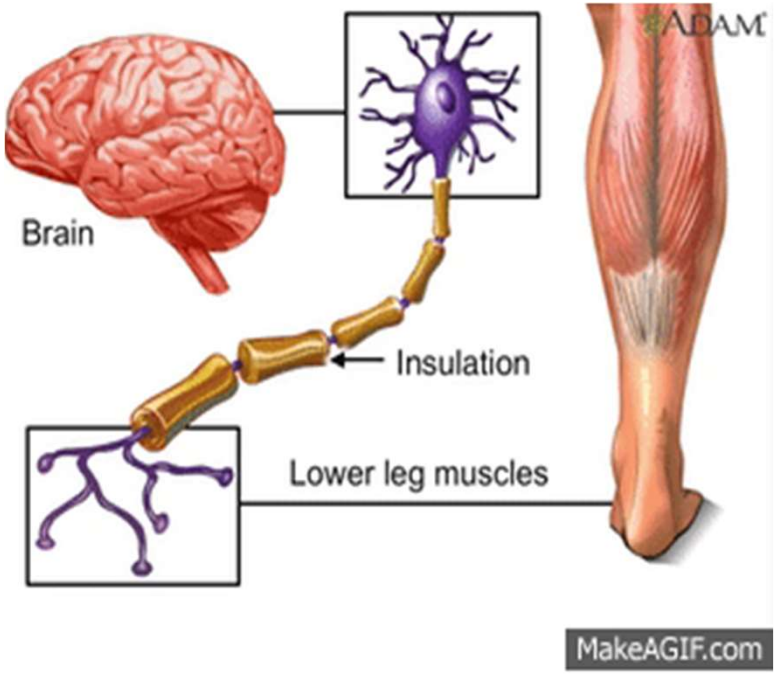


Red de Nervios que recorre la cabeza, el cuello y el cuerpo
(12 Pares de Nervios Craneales y 31 Pares de Nervios Espinales)
Transportando mensajes desde y hacia el Sistema Nervioso Central



ADAPTACIONES DEL SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO

- **MIELINIZACIÓN DEL AXÓN** de **α-Motoneuronas** (*Oligodendrocitos*)
- Aumento y Optimización de **BOMBAS de Na^+/K^+** (*Nodos de Ranvier*)
  - Aumento **RECEPTORES NICOTÍNICOS** (Acetilcolina, Nicotina o Agonistas Colinérgicos)
- Optimización de la **BOMBA DE CALCIO**
  - Aumento del **Ca^{2+} SARCOPLASMÁTICO**
- Aumento **NEUROTRANSMISORES** (Acetilcolina)
  - Cantidad y Actividad
- Mejora de **MECANISMOS REFLEJOS**
  - Activos y Pasivos



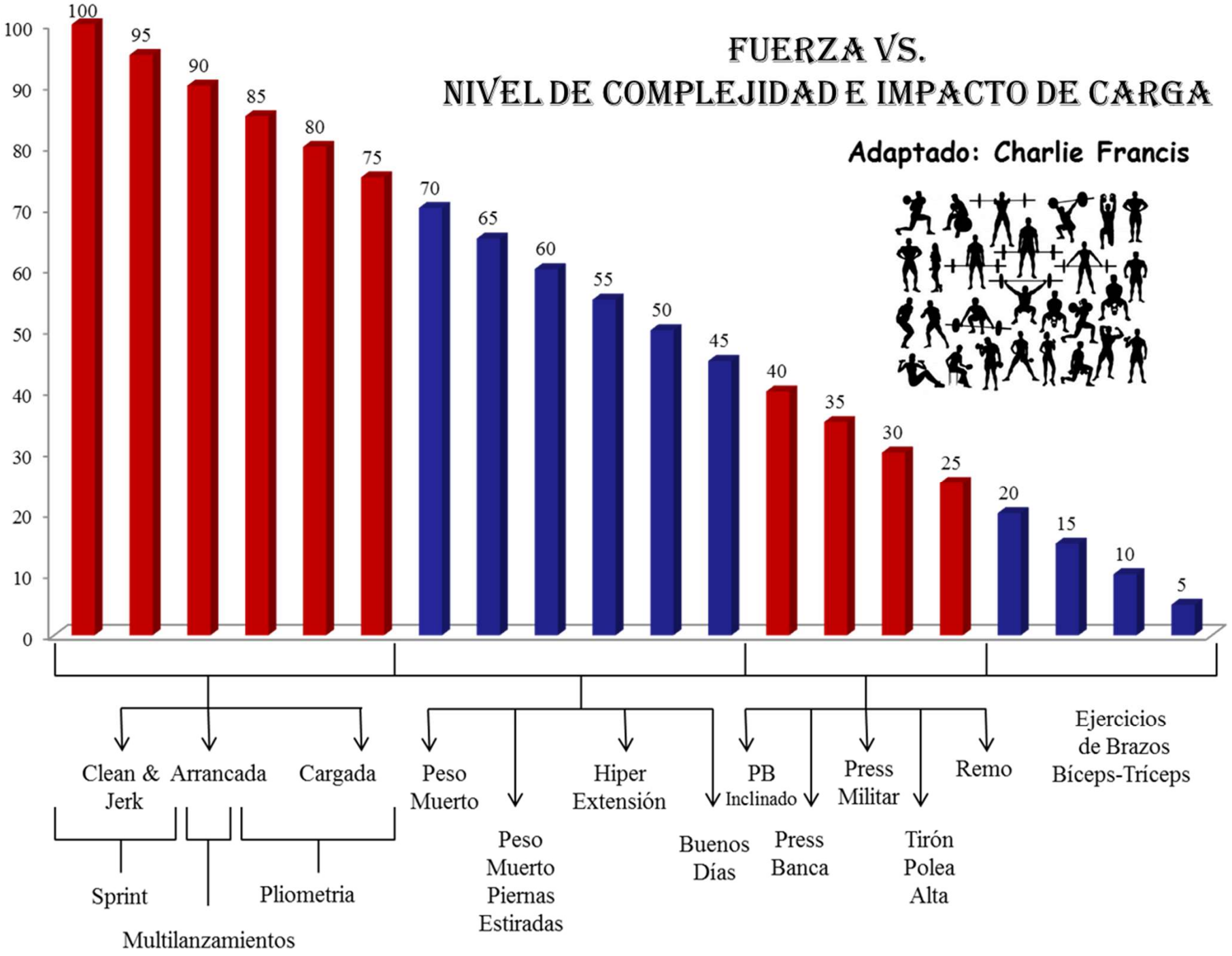
ENTRENAMIENTO

(ADAPTACIONES NEURALES)



FUERZA VS.
NIVEL DE COMPLEJIDAD E IMPACTO DE CARGA

Adaptado: Charlie Francis



RELACIÓN INTENSIDAD DE CARGA Y VELOCIDAD DE EJECUCIÓN *VS.* TIPO Y CANTIDAD DE U.M. ACTIVADAS



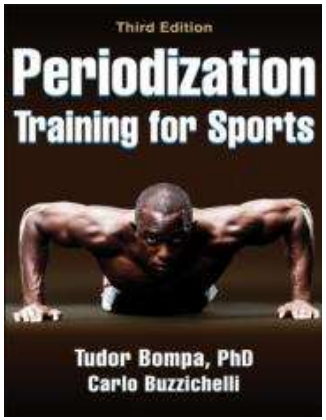




ST

FT

CARGAS ELEVADAS	CARGAS MEDIAS	CARGAS PEQUEÑAS
VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO	VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO	VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO
LENTA	RÁPIDA	LENTA	RÁPIDA	LENTA	RÁPIDA
ST ●●●●	●●●	●●●	●●	●●	●
FT ○○○○	○○○○	○○○	○○○	○	○○



REGULACIÓN NEUROMUSCULAR POR ZONAS DE INTENSIDAD

Zona de Intensidad	40-60%	60-70%	70-80%	80-85%	85-90%	90-100%
Coordinación Intramuscular						
• Frecuencia Estímulo	**	***	***	***	****	****
• Reclutamiento (Nº)	**	***	****	****	****	****
• Sincronización U.M.	***	****	****	****	****	****
Coordinación Intermuscular	****	****	***	***	**	*
Reducción de Mecanismos Inhibitorios	*	***	***	***	****	****

Greater neural adaptations following high-vs. low-load resistance training

Jenkins N.D., Miramonti A.A., Hill E.C., Smith C. M., Cochrane K.C., Housh T.J. & Cramer J.T.

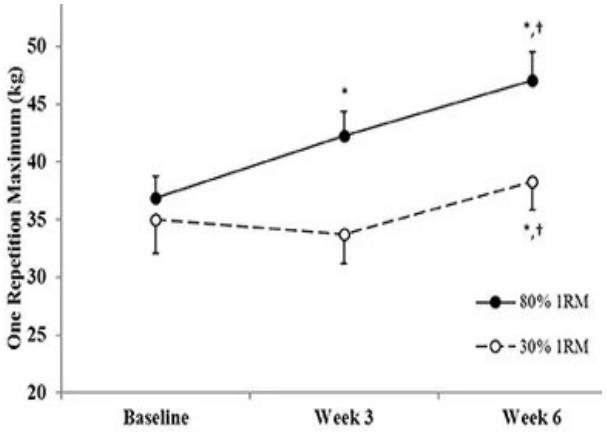
Frontiers in Physiology, 8, 331, https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00331. 2017.



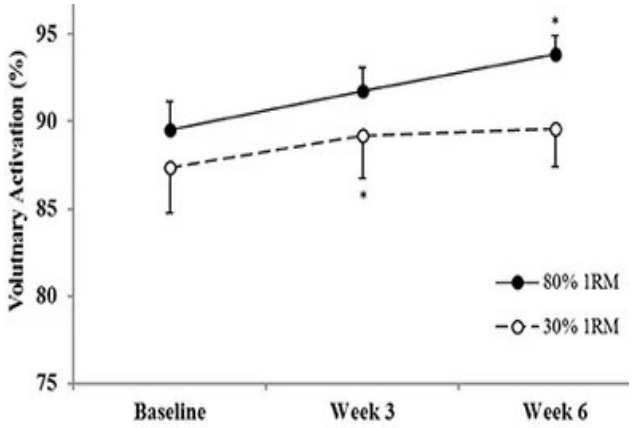
ENTRENAMIENTO: 3 y 6 semanas de Entrenamiento de Fuerza
3 Series al 80% vs. 30% del 1RM "*Hasta el fallo*" con Leg Extension
MUESTRA: 26 hombres
(Edad = 23,1 ± 4,7 años; Estatura = 180.6 ± 6.0 cm; PC = 80.0 ± 14.1 kg)



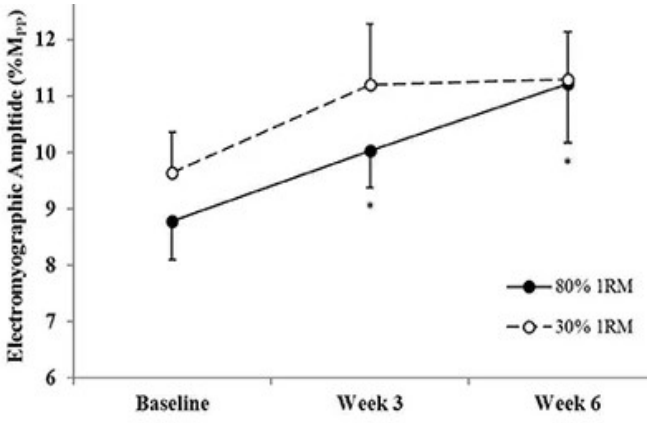
Fuerza Máxima



Activación Voluntaria



Amplitud EMG



A pesar de generar una Hipertrofia similar, el 80 %-1RM mejoró la Fuerza Muscular más que el 30 %-1RM, y estuvo acompañado de aumentos en:

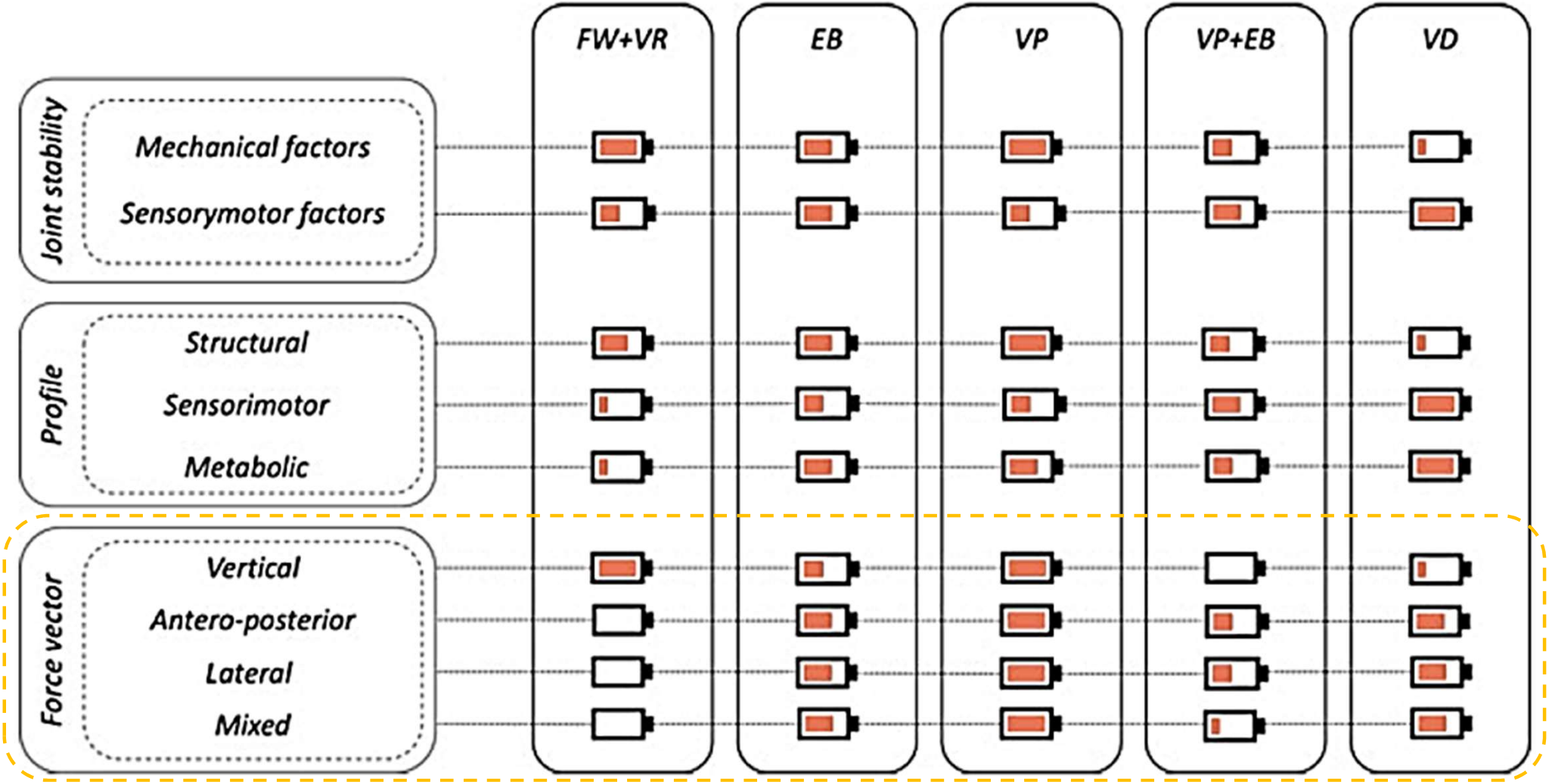
- Amplitud de la Activación Voluntaria (VA)
- Amplitud de la señal EMG

Durante la Producción de Fuerza Máxima

Variable Resistance Training Methods

Fernando Hernández-Abad (2024)

Influencia de la Complejidad de Entrenamiento en la Respuesta Adaptativa Neural



FW + VR (Peso Libre + Resistencia Variable); **EB** (Bandas Elásticas); **VP** (Polea Cónica); **VP + EB** (Polea Cónica + Bandas Elásticas); **VD** (Diversificación de Vectores)

EFECTO DE LA VARIABILIDAD EN LAS TAREAS

UTHealth
The University of Texas
Health Science Center at Houston

Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning
Erik J. Plautz, Garrett W. Milliken & Randolph J. Nudo
Neurobiology of Learning and Memory 74, 27–55. 2000

Los autores señalan que la
Actividad Motora Repetitiva por sí sola
NO SIEMPRE PROVOCA
Reorganización/Modificación Funcional de los Mapas Corticales Existentes

PROPONEN:
Adquisición de Nuevas Habilidades Motoras (Aprendizaje Motor)
es un factor clave e imprescindible para impulsar la
Plasticidad en la Corteza Motora Primaria

CONCEPTO CLAVE EN EL DESARROLLO DE LA FUERZA EN TARAS ABIERTAS





MECANISMOS DE REFUERZO DE LA ACTIVACIÓN NERVIOSA DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA



REMEMORACIÓN & VISUALIZACIÓN DEL GESTO

(EVOCACIÓN INTERNA DEL GESTO & PRÁCTICA MENTAL)

(VISUALIZACIÓN & OBSERVACIÓN DE ESTÍMULOS EXTERNOS ⇒ NEURONAS ESPEJO)

FOCALIZACIÓN DE LA ATENCIÓN

FOCALIZACIÓN DE LA ATENCIÓN INTERNA

(CONCENTRACIÓN EN ESTRUCTURAS, SENSACIONES, PENSAMIENTOS Y/O EMOCIONES)

FOCALIZACIÓN DE LA ATENCIÓN EXTERNA

(CONCENTRACIÓN EN ESTÍMULOS EXTERNOS)

POTENCIACIÓN MUSCULAR

ESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL

ESTIMULACIÓN POR CAMPO MAGNÉTICO

ESTIMULACIÓN POR CORRIENTE ELÉCTRICA DE BAJA INTENSIDAD

REMEMORACIÓN Y VISUALIZACIÓN INTERNA (IMAGINERÍA)

INTERIORIZACIÓN DEL GESTO



EVOCACIÓN (REMEMORAR): proceso por el cual, mediante la evocación de un gesto, se crean, modifican y fortalecen circuitos neurales esenciales para el adecuado control y el ajuste de los músculos y estructura involucradas en una acción



Podemos Aprender a Visualizar & Rememorar el Gesto Deportivo partiendo de:

- Vivencias Anteriores almacenadas y vinculadas a la acción deportiva que queremos reproducir
- Observación de Modelos Externos Altamente Cualificados (*Modelos Deportivos*)



Cuando se logra una buena técnica de evocación, no solo podremos imaginar el gesto, sino que también podríamos llegar a sentir cada momento de la acción como si la estuviéramos realizando físicamente



Effects of cognitive training strategies on muscular force and psychological skills in healthy striking combat sports practitioners

Maamer Slimani & Foued Chéour

Sport Sciences for Health, 12, 141-149. 2016.



Muestra: 44 ♂ de deportes de combate (23.2±3.1 años; 1.74±0,09 m; 73.4±9.5 kg)

EJERCICIO	FASE	VI	M & VI
PRESS BANCA	PRE	65.8 ± 7.8 kg	64.5 ± 6.3 kg
	POST	79.3 ± 8.1 kg	73.0 ± 6.7 kg
	MEJORA	20.5 %	13.1 %
HALF SQUAT	PRE	96.6 ± 10.3 kg	94.8 ± 9.3 kg
	POST	121.0 ± 11.6 kg	110.9 ± 10.2 kg
	MEJORA	25.2 %	16.9 %

- **VISUALIZACIÓN INTERNA (VI)**: Intenta imaginarte realizando los gestos con los ojos cerrados (imaginación interna), percibiendo las diferentes acciones como si tuvieras una cámara en la cabeza. y sentir las sensaciones del cuerpo. Tienes que ver y sentir sólo lo que verías y sentirías si tuvieras que realizar estas tareas particulares.
- **AUTOMOTIVACIÓN (DIÁLOGO INTERNO) & VISUALIZACIÓN INTERNA (M & VI)**

Positive Visualization and Its Effects on Strength Training

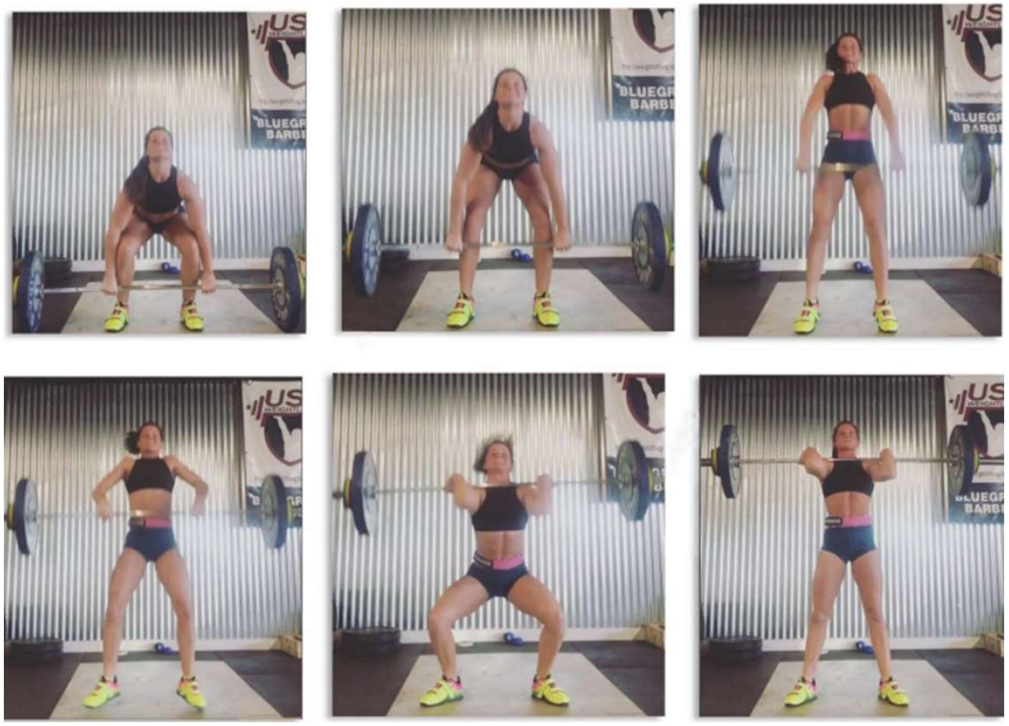
Janette Hynes & Zach Turner

Impulse. The Premier Undergraduate Neuroscience Journal, (19343361). 2020.

TRANSYLVANIA UNIVERSITY
Kentuky (USA)

VISUALIZACIÓN EXTERNA DEL GESTO

MUESTRA: 133 participantes (70 ♀ y 63 ♂)
Todos Deportistas
MOVIMIENTOS
Deadlift, Bench-Press, Clean y Back-Squat

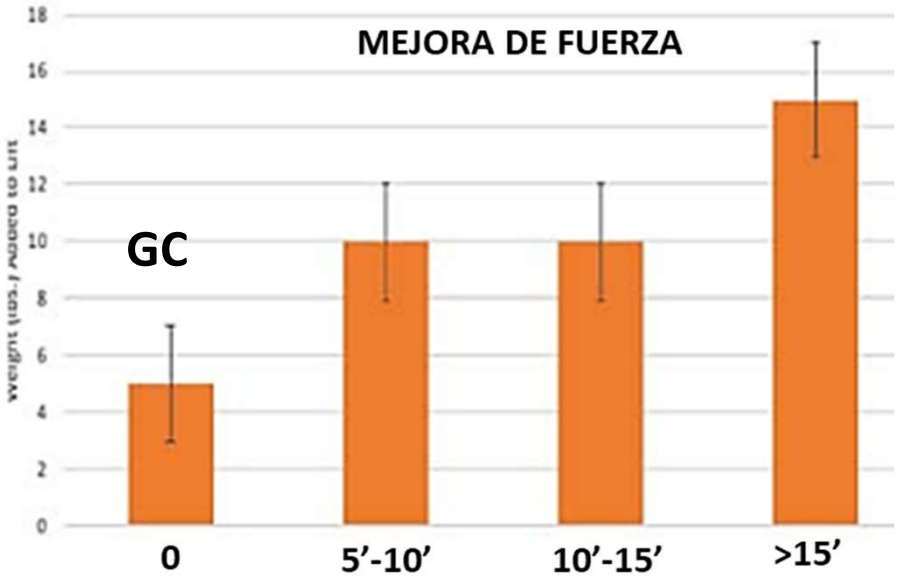


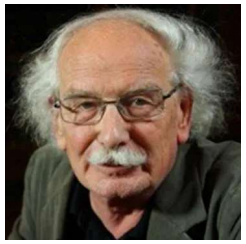
Fase del Clean utilizado para la visualización

Grupo que visualizó de forma prolongada el gesto a realizar, alcanzó un incremento mayor (4.5 a 6.8 kg) del peso movido

El grupo de control solo aumento 2.3 kg

Exposición entre 5’ y 15’ minutos produce resultados similares, pero 15’ o más, provoca mayores aumentos de fuerza





NEURONAS ESPEJO & RENDIMIENTO DEPORTIVO

(*Neuronas Cubelli o Neuronas Especulares*)

Giacomo Rizzolatti (nacido 1937)

Neuronas que se activan cuando un individuo ejecuta una acción y/o cuando observa esa misma acción al ser ejecutada por otro individuo

PRINCIPALES FUNCIONES EN LOS GESTOS DEPORTIVOS

CAPACIDAD DE IMITACIÓN

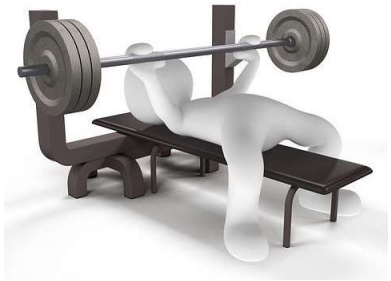
Facilita el Aprendizaje de un Movimiento (*Gesto Deportivo*) a partir de:

Información Visual Mostrada por un Modelo de Ejecución (Modelos Deportivos de Referencia)

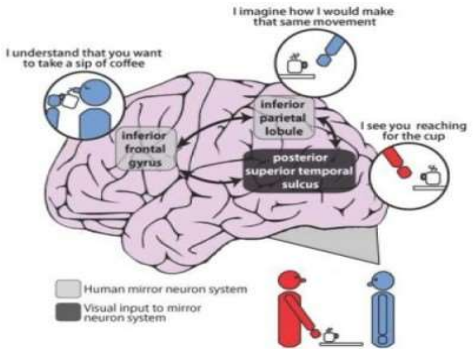
CAPACIDAD DE INTERPRETACIÓN DE ACCIONES & ANTICIPACIÓN DE ACCIONES

Comprender las intenciones y objetivos que otros individuos persiguen cuando ejecutan una acción o gesto deportivo

VISUALIZACIÓN & CORRECTA INTERIORIZACIÓN DE UN GESTO







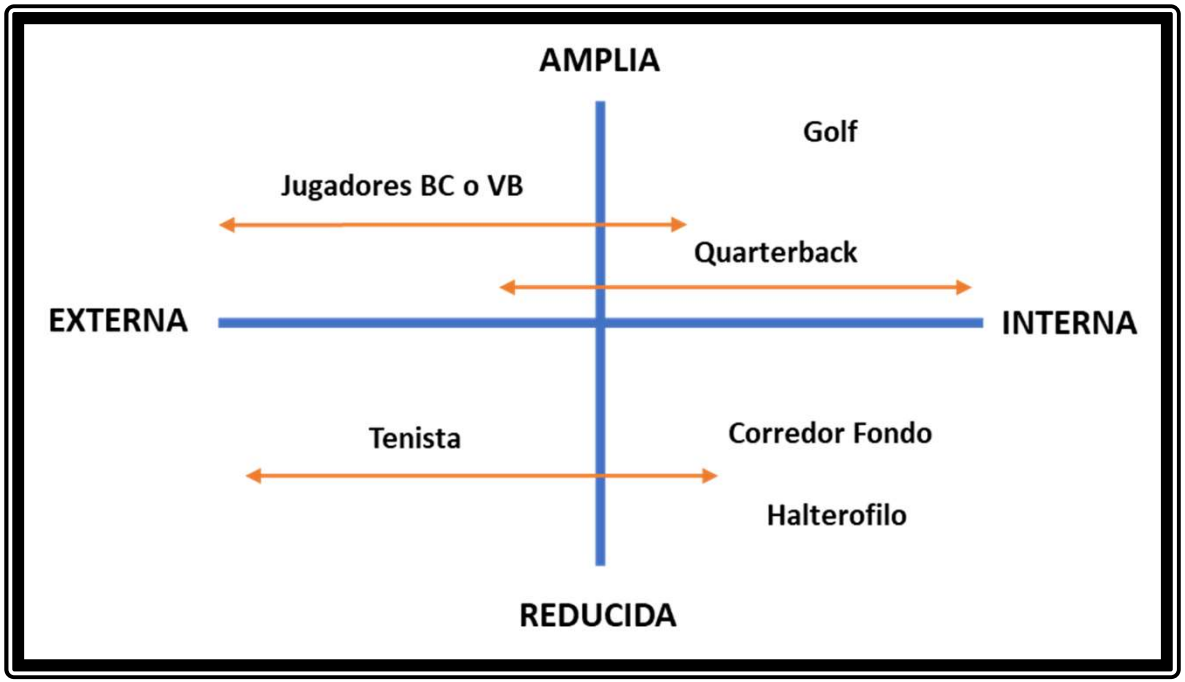
FOCOS ATENCIONALES EN EL DEPORTE

The Attentional and Interpersonal Style (TAIS)

El enfoque atencional, en el contexto del deporte y el rendimiento físico, se refiere al proceso en el que el atleta asigna recursos mentales a señales, estímulos o estados



Robert M. Nideffer
(nace 1942)



PLANTEA CUATRO TIPOS DE ESTILO ATENCIONAL

Combinando dos Dimensiones

EXTENSIÓN (Amplia/Reducida) & DIRECCIÓN (Externa/Interna)

EXTENSIÓN: hace referencia a la Magnitud del Campo Atencional

(Mayor/Menor cantidad de información que el deportista debe procesar)

DIRECCIÓN: se relaciona con la Orientación del Foco Atencional

(Foco de atención se dirigido hacia el exterior o entorno o dirigido hacia el interior o emociones)

LEHMAN COLLEGE

Differential effects of attentional focus strategies during long-term resistance training

Schoenfeld, B. J., Vigotsky, A., Contreras, B., Golden, S., Alto, A., Larson, R., ... & Paoli, A.

European Journal of Sport Science, 18(5), 705-712. 2018

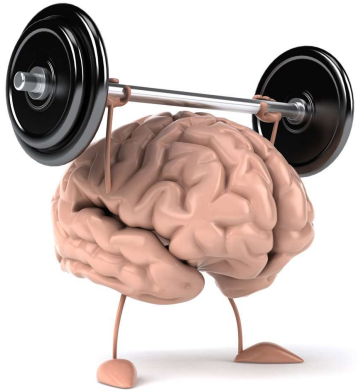
FOCALIZACIÓN ATENCIONAL INTERNA *VS.* FOCALIZACIÓN ATENCIONAL EXTERNA

DIFERENTES ESTRATEGIAS CON DIFERENTES OBJETIVOS

Si tu quieres Optimizar tu Rendimiento

UTILIZA ATENCIÓN FOCAL EXTERNA





Si tu quieres Maximizar tu Tamaño

UTILIZA ATENCIÓN FOCAL INTERNA





Attentional focus and motor learning:
a review of 15 years

Gabriele Wulf (University of Nevada, Las Vegas)

International Review of Sport and Exercise Psychology, *6*(1), 77-104. 2013.

FOCO ATENCIONAL

FOCALIZACIÓN EXTERNA *vs.* FOCALIZACIÓN INTERNA

"EFECTO WULF"

Más del 90% de los estudios analizados en deportistas mostraron

APRENDIZAJE: MAYORES MEJORAS CON LA FOCALIZACIÓN EXTERNA

Mejor aprendizaje motor cuando los sujetos utilizaron un **ENFOQUE EXTERNO**
(instrucciones o comentarios a la ejecución de un gesto)
en comparación con el **ENFOQUE INTERNO**

MEJORA TÉCNICA: MAYORES MEJORAS CON LA FOCALIZACIÓN INTERNA

Mayor **EFECTIVIDAD DEL MOVIMIENTO** (precisión, consistencia y equilibrio) así como en la **EFICIENCIA MUSCULAR** (actividad muscular, fuerza y respuestas metabólica)

DIFERENCIAS SUTILES EN:

CREACIÓN DE MENSAJES, **TRANSMISIÓN DE INSTRUCCIONES** y **RETROALIMENTACIÓN**

Procesos activados durante la ejecución pueden tener efectos significativamente diferentes en el rendimiento en un gesto y deportivo el aprendizaje del mismo

The effects of attentional focusing instructions on force production during the isometric midthigh pull

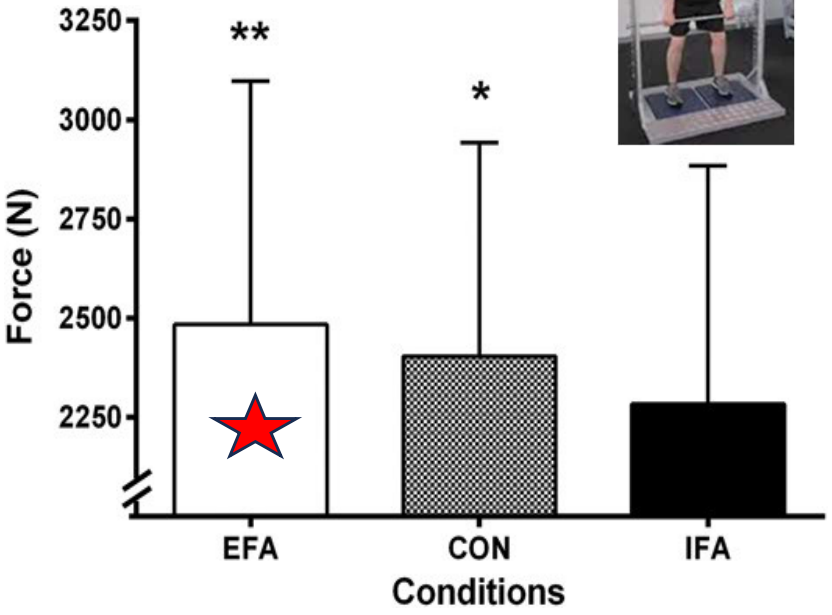
Halperin, I., Williams, K. J., Martin, D. T., & Chapman, D. W.

The Journal of Strength & Conditioning Research, 30(4), 919-923. 2016.

MUESTRA

22 atletas sanos y entrenados de diversos ámbitos deportivos (rugby, judo, fútbol australiano y atletismo) (rango edad: 17-28 años)





- **Foco de Atención Externo (EFA)**
- **Grupo control (CON)**
- **Foco de Atención Interno (IFA)**

Resultados consistentes con la Hipótesis de *"Acción Restringida"* propuesta por Wulf

- **EFA** llevó a los deportistas a centrarse en la acción global de un movimiento complejo que se ejecuta mediante la integración participativa de muchos músculos y partes del cuerpo.
- **IFA** puede degradar a la contribución general, la acción de otras partes del cuerpo y músculos, lo que lleva a un rendimiento menor.

FUERZA MÁXIMA

Significativamente mayor (p≤0,05) con EFA vs. Control e IFA.

BENEFICIOS DE UN FOCO DE ATENCIÓN EXTERNO EN EL APRENDIZAJE Y EL RENDIMIENTO MOTOR

Se manifiestan en aspectos como un **Gesto más Efectivo** (i.e. mejor equilibrio, mayor precisión técnica), **Eficiencia en la Activación Muscular** (i.e. menor actividad muscular con mayor fuerza, mayor velocidad o mayor resistencia), **Mayor Calidad Técnica** y/o **Movimientos Automáticos y Fluidos**





En el levantamiento de pesas (i.e. Halterofilia o Powerlifting), el **ENFOQUE ATENCIONAL EXTERNO** conlleva alcanzar un rendimiento superior permitiendo al atleta levantar un peso más elevado del que levantaría si la atención fuera de otro tipo

Los levantadores deberían practicar la adopción de un enfoque externo al simular la competencia durante el entrenamiento para que se convierta en un componente de su rutina de levantamiento de competencia (Estrategia Búlgara)

Effects of Attentional Focus and Dual-tasking on Conventional Deadlift Performance in Experienced Lifters

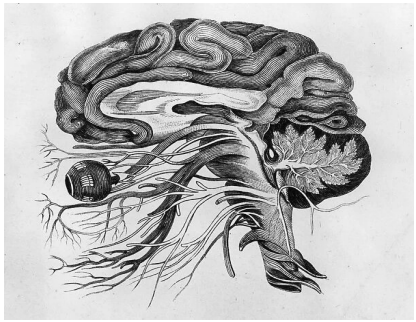
Alan Chan, Gordon E. Robertson & Yves Lajoi

International Journal of Kinesiology & Sports Science, 7(4), 9-21. 2019.



Para el **Enfoque Interno**, se instruyó a los levantadores: "*Simplemente concéntrate en activar tus cuádriceps para levantar la barra del suelo*"

Para el **Enfoque Externo**, se instruyó a los levantadores: "*Simplemente concéntrese en mover la barra en una trayectoria recta y vertical*"



15 Levantadores (23.3 ± 3.4 años; PM_{BM}: 215.1 ± 27.2 kg)

NO ENCONTRARON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE

Focalización Interna o Focalización Externa *vs*. Levantamiento de 72, 77, 82, 87% - 1RM:

VARIABLES: Duración del levantamiento; Velocidad máxima de la barra; Fuerza de reacción vertical; Área de elipse del Centro de Presión del C. de G.

FOCALIZACIÓN EXTERNA ⇒ Redujo significativamente la variabilidad de la Trayectoria de la barra y las Oscilaciones del Centro de Presión (COP) en el eje anteroposterior

Velocidad Media de los desplazamientos del COP también fue significativamente menor

FOCALIZACIÓN EXTERNA permite una Mayor Estabilidad Postural cuando se realizan un Peso Muerto con cargas del 72, 77, 82, 87% - 1RM

Edge Hill University

Attentional focusing strategies influence muscle activity during isokinetic biceps curls

David Marchant, Matt Greig & Catherine Scott

Athletic Insight: The Online Journal of Sport Psychology, 10(2), https://psycnet.apa.org/record/2009-01948-002. 2008.

Si el objetivo deseado con el entrenamiento es una mayor activación de los músculos, los atletas deberían adoptar un ENFOQUE DE ATENCIÓN INTERNO (*MIND MUSCLE CONNECTION*)

Los beneficios de un ***Enfoque de Atención Interna*** normalmente se generan en programas de entrenamiento que tienen como objetivo aumentar el crecimiento muscular (***Hipertrofia***) o la ganancia de **Fuerza**



29 sujetos realizaron 10 repeticiones de curl de bíceps en un dinamómetro isocinético usando 2 estrategias de control atencional

- **ATENCIÓN INTERNA:** centrándose en los movimientos del brazo
- **ATENCIÓN EXTERNA:** centrándose en el movimiento de la barra

Se evaluó la respuesta EMG del bíceps braquial

la estrategia Atencional Interna presentó niveles significativamente más altos de actividad EMG en comparación con la estrategia Atencional Externa

Edge Hill University

Attentional focusing instructions influence quadriceps activity characteristics but not force production during isokinetic knee extensions

David C. Marchant & Matt Greig

Human Movement Science, 52, 67-73. 2017.

ENFOQUE ATENCIONAL INTERNO

El enfoque enfatizado en la instrucción verbal (Enfoque Atencional Interno o *Mind Muscle Connection*) influye en las características del movimiento y el reclutamiento muscular, mientras que un Enfoque Atencional Externo (en los efectos del movimiento) generalmente beneficia el rendimiento

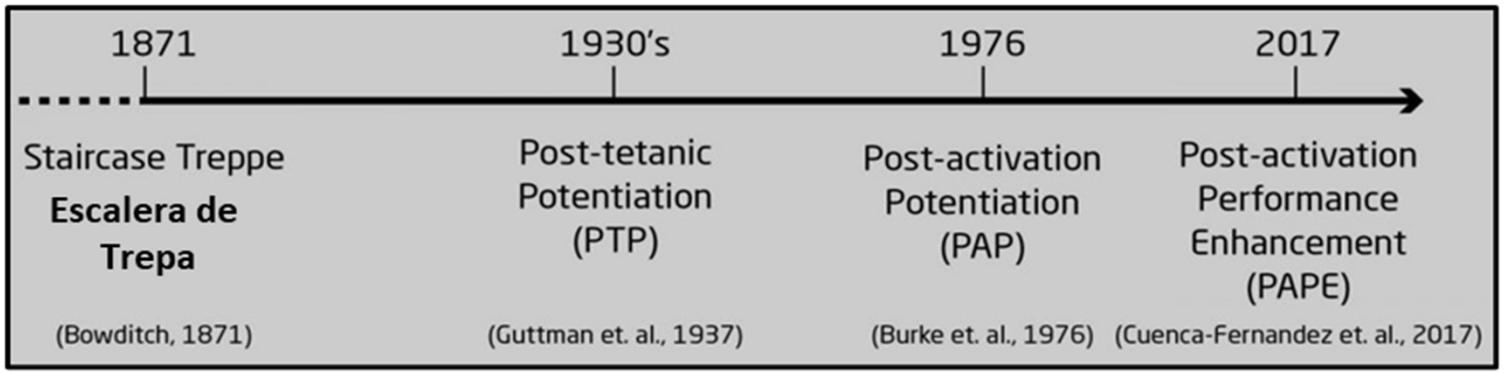
MUESTRA: 20 (Hombre: 16; Mujeres: 4) (Edad Media: 20,2 ± 1,47 años)

10 repeticiones de Extensión Isocinética de Rodilla a 60°/s

	Internal Focus		*External Focus*	
	Mean (SE)	*95% CI*	*Mean (SE)*	*95% CI*
Tpk Nm	152.73 (12.30)	[126.99, 178.48]	153.39 (11.19)	[129.97, 176.81]
MP Nm·s	114.68 (8.10)	[97.73, 131.63]	113.66 (7.59)	[97.77, 129.54]
VMO iEMG µV·s	158.94 (15.95)	[125.56, 192.33]	140.02 (13.74)	[111.27, 168.79]
VL iEMG µV·s	154.85 (18.09)	[116.98, 192.72]	141.95 (15.65)	[109.19, 174.71]
RF iEMG µV·s	132.74 (15.21)	[104.59, 152.70]	128.64 (11.49)	[104.59, 152.70]

POTENCIACIÓN POST-ACTIVACIÓN

(Treppe o Escalera, Potenciación Postetánica, PAP o PAPE)



Mecanismos Fisiológicos que provocan ⇒ Respuesta Neural más intensa



Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities

Neale A. Tillin & David J. Bishop

Sports Medicine, 39(2), 147-166. 2009.



MEJORA DEL RENDIMIENTO POSTERIOR A LA ACTIVACIÓN (*PAPE*)

Mejora el Rendimiento Muscular tras una Activación Previa

Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study

Cuenca F, Smith IC, Jordan MJ, MacIntosh BR, López-Contreras G, Arellano R. & Herzog W. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 42(10), 1122–1125. 2017.

POTENCIACIÓN POST-ACTIVACIÓN

POSIBLES MECANISMOS DESENCADENANTES Y REGULADORES DE LA POTENCIACIÓN POST-ACTIVACIÓN

Fosforilación de las Cadenas Ligeras de Miosina

Houston, 1987;
Sweeney et al., 1993;
Grange et al., 1995;
Vandenboom, 2016

Retardo de la Actividad Muscular

(Huella Neural: Fatiga *vs*. Recuperación)

Güllich & Schmidtbleicher 1996;
Trimble & Harp 1998;
Yuri Verjoshansky, 2000.



Activación el Reflejo H

(Reflejo de Hoffman)

Trimble & Harp 1998;
Hodgson et al., 2005

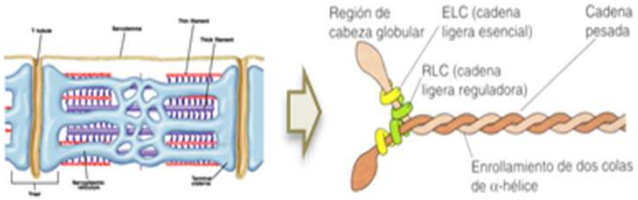
POTENCIACIÓN POST-ACTIVACIÓN

Fosforilación de las Cadenas Ligeras de Miosina

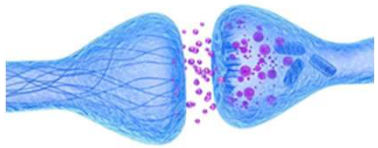
↑ Activación del Sistema Nervioso Central

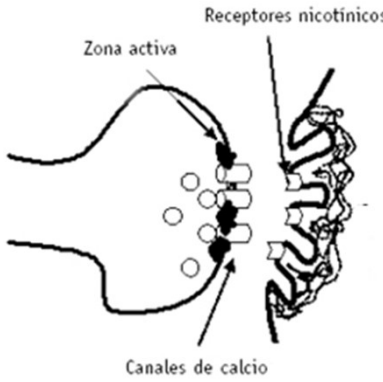


↑ Fosforilación de las Cadenas Ligeras de Miosina



Regulación del Umbral de Excitación Sináptica





Retículo Sarcoplasmático

Ca^{2+} → **Calmodulina (CaM)**

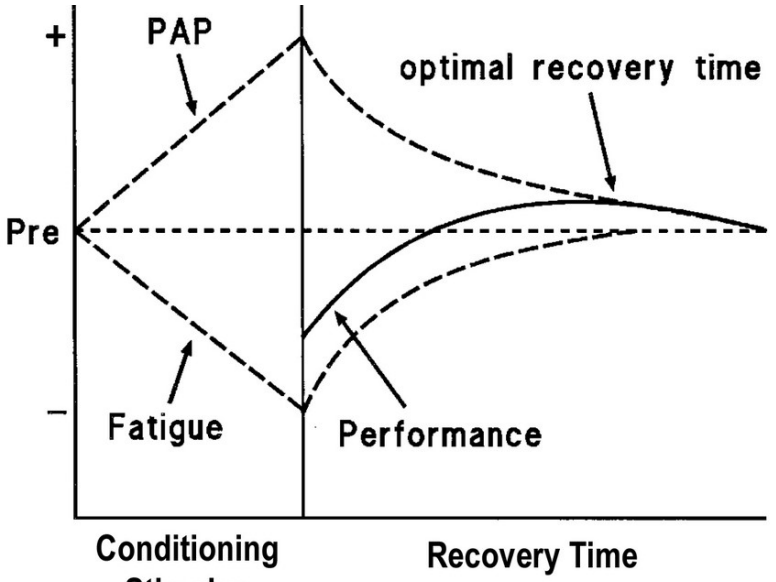
Ca^{2+} Calmodulina

Activación CLM-Kinasa

Fosforilación de CLM-Reguladora

Defosfatasa de CLM-Reguladora

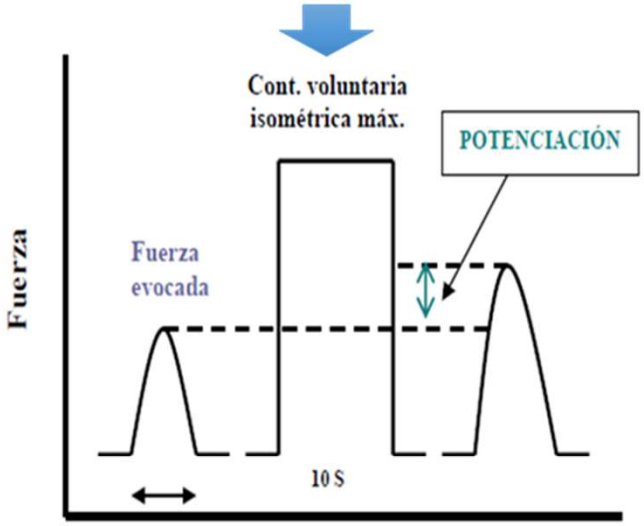
Alteración Puentes Cruzados

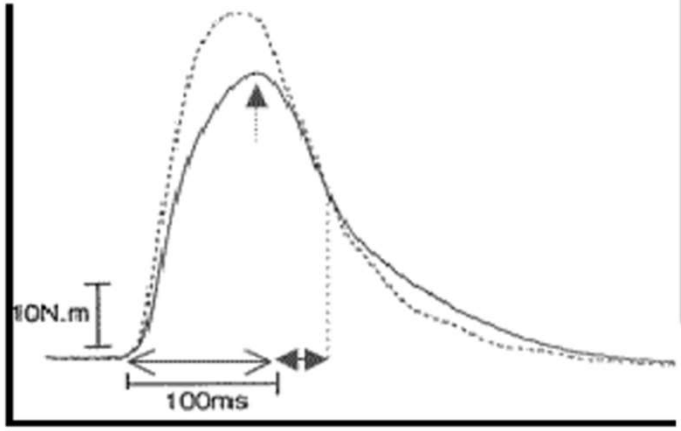


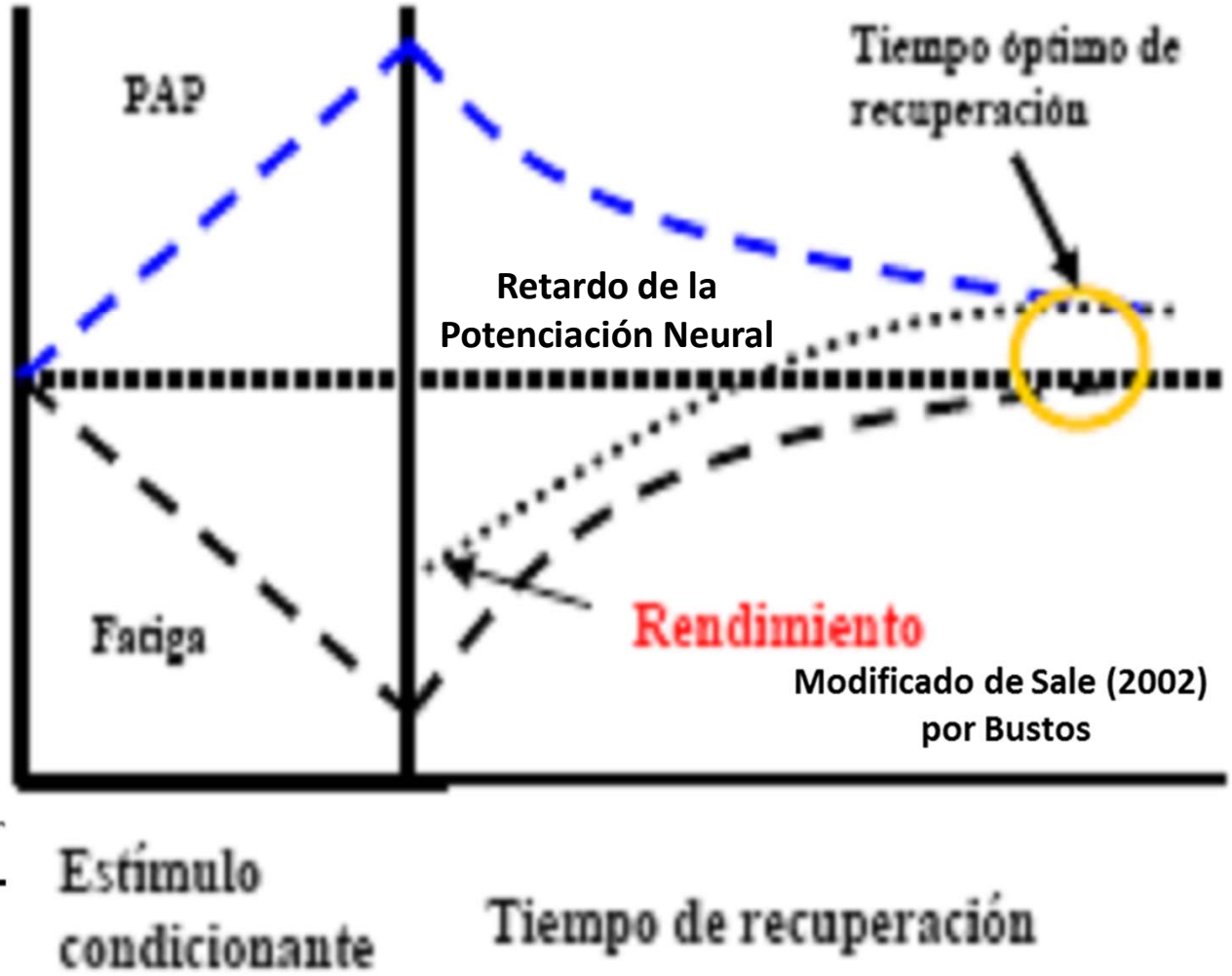
La Fuerza se puede incrementar, preferentemente en magnitud y explosividad, tras recuperarse de la Fatiga inicial que siempre genera la actividad.

POTENCIACIÓN POST-ACTIVACIÓN

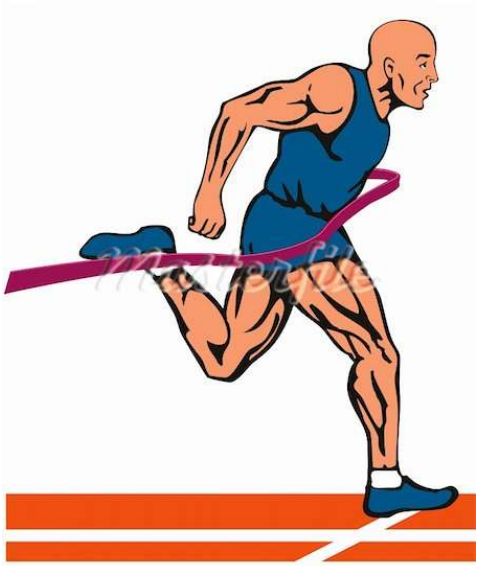
Incremento suplementario de la Respuesta Neural







POTENCIACIÓN MUSCULAR POST-ACTIVACIÓN



Fuente:

Yury Verchoshanski

Primo esercizio	Recupero tra gli esercizi	Secondo esercizio	Numero delle ripetizioni di tutto l'insieme	Recupero tra le ripetizioni di ciascun insieme
16-24 kg 2x6-8 rec. 3-4 min.	3-4 min.	6x8 balzi 2x5-6 rec. 3-4 min.	2 - 3	6-8 min.
70-80% 2x5-6 rec. 2-4 min.	4-6 min.	3 balzi 2-3x6-8 rec. 4-6 min.	2 - 3	6-8 min.
80-85% 2x2-3 rec.3-4 min.	3-5 min.	16-24-32-kg 2-3x4-6 rec. 3-4 min.	2 - 3	6-8 min.
90% 2x2-3 rec. 3-4 min.	4-6 min.	30% 3x6-8 rec. 3-4 min.	2 - 3	8-10 min.
90-95% 2x2 rec. 2-4 min.	4-6 min.	h = 0,75 m. 2x6-8 rec. 4-6 min.	2 - 3	8-10 min.

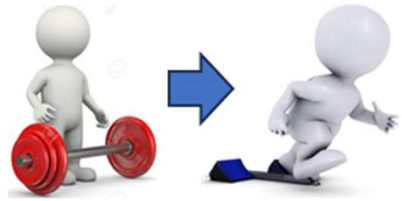
eman ta zabal zazu

UPV EHU

Post-Activation Potentiation in Strength Training: A Systematic Review of the Scientific Literature

Arkaitz Garbisu-Hualde & Jordan Santos-Concejero

Journal of Human Kinetics, 78, 141–150. 2021.



Aunque se pueden utilizar diferentes protocolos de Potenciación Post-Activación, parece que intensidades altas inducen una mayor mejora del rendimiento

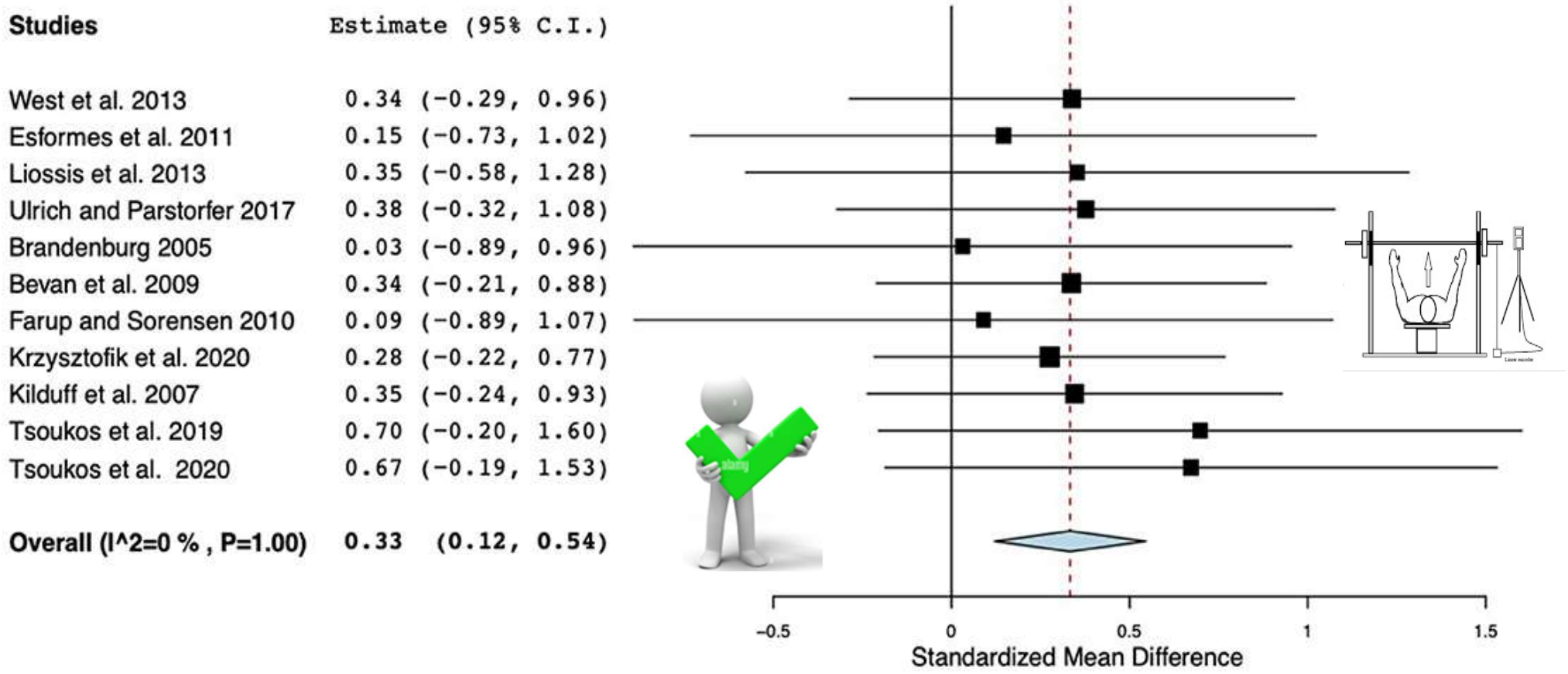
- **Atletas experimentados: 1-3 series, cuando se utiliza la carga de potencia óptima.**
- **Intensidades del 65%-1RM son válidas con volúmenes altos, pero mejores efectos de potenciación con intensidades del 85% a 90%-1RM.**
  - **Intensidades más altas son útiles, pero necesitan intervalos de descanso más largos.**
- **No se recomiendan repeticiones hasta el fallo o casi hasta el fallo por el cansancio que generan (2-3 repeticiones de reserva respecto a máximas potenciales).**
- **Se deben realizar descansos suficientes para disipar la fatiga generada (≈7'-8').**
- **Debido a la mayor sensibilidad de las fibras tipo II a la concentración de calcio, los atletas con un mayor porcentaje de fibras tipo II se beneficiarán más de cargas pesadas e intervalos de descanso prolongados.**
- **Los protocolos pliométricos combinados con intervalos de descanso cortos o medios son también protocolos Post-Activación útiles.**

Post-activation performance enhancement in the bench press throw: A systematic review and meta-analysis

Krzysztofik, M., Wilk, M., Stastny, P., & Golas, A.

Frontiers in Physiology, 11, https://doi.org/10.3389/fphys.2020.598628. 2021.

Para mejorar el rendimiento en Bench Press Throw se debe realizar previamente (5'-7') una única serie a intensidad moderada (60–84% 1RM)



University of East London

Post-Activation Potentation of Trunk Rotational Movement on Punch Power Output in Amateur Bozers

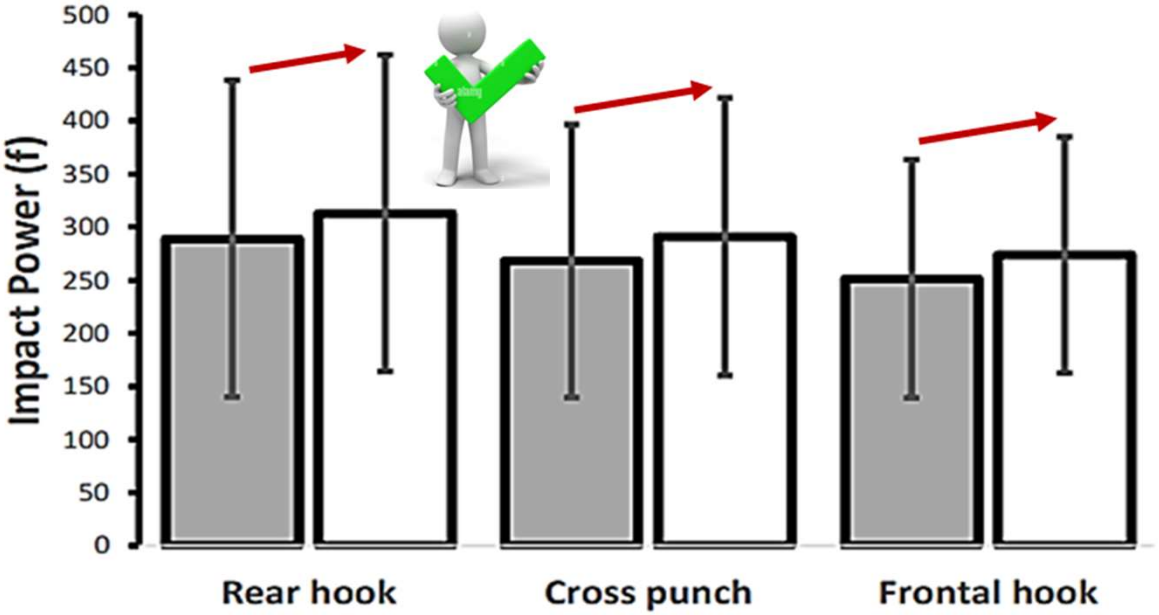
Silvino Kubanza Castelo Domingos

Doctoral dissertation - University of East London (2024)



MUESTRA: 53 boxeadores aficionados (2 años experiencia)

(Edad = 21,8 ± 4,7 años, Altura = 1,77 ± 0,08 m, PC= 75,8 ± 15,0 kg)





Los 3 golpes aumentaron su Potencia significativamente tras la Potenciación Post-Activación (PAP) con Bandas Elásticas

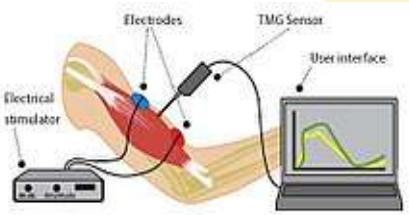
Rango: 10.65% a 12.90%



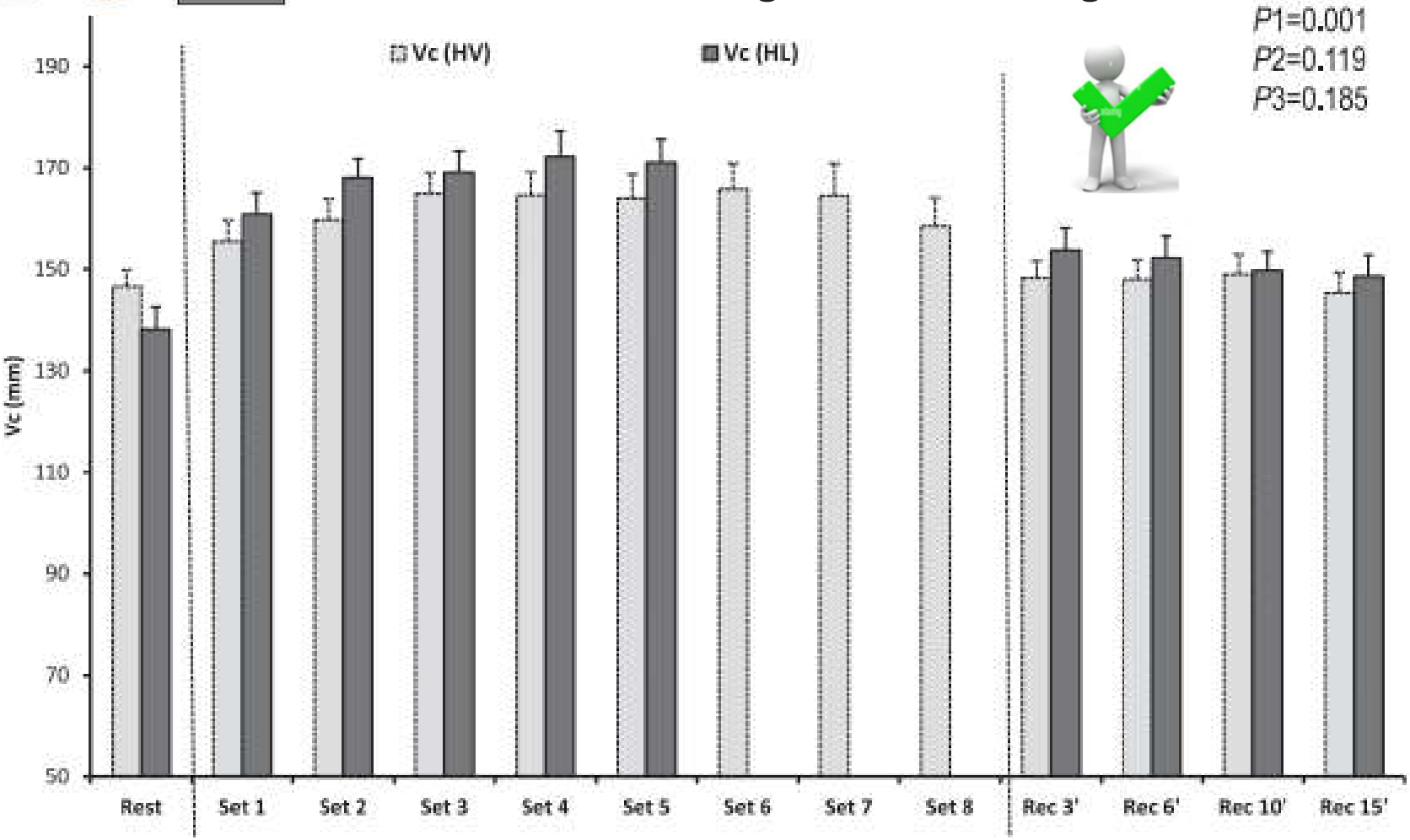
Effect of high-load and high-volume resistance exercise on the tensiomyographic twitch response of biceps brachii

García-Manso JM, Rodríguez-Matoso D, Sarmiento S, de Saa Y, Vaamonde D, Rodríguez-Ruiz D. & Da Silva-Grigoletto, ME.

Journal of Electromyography and Kinesiology, 22(4), 612-619. 2012.



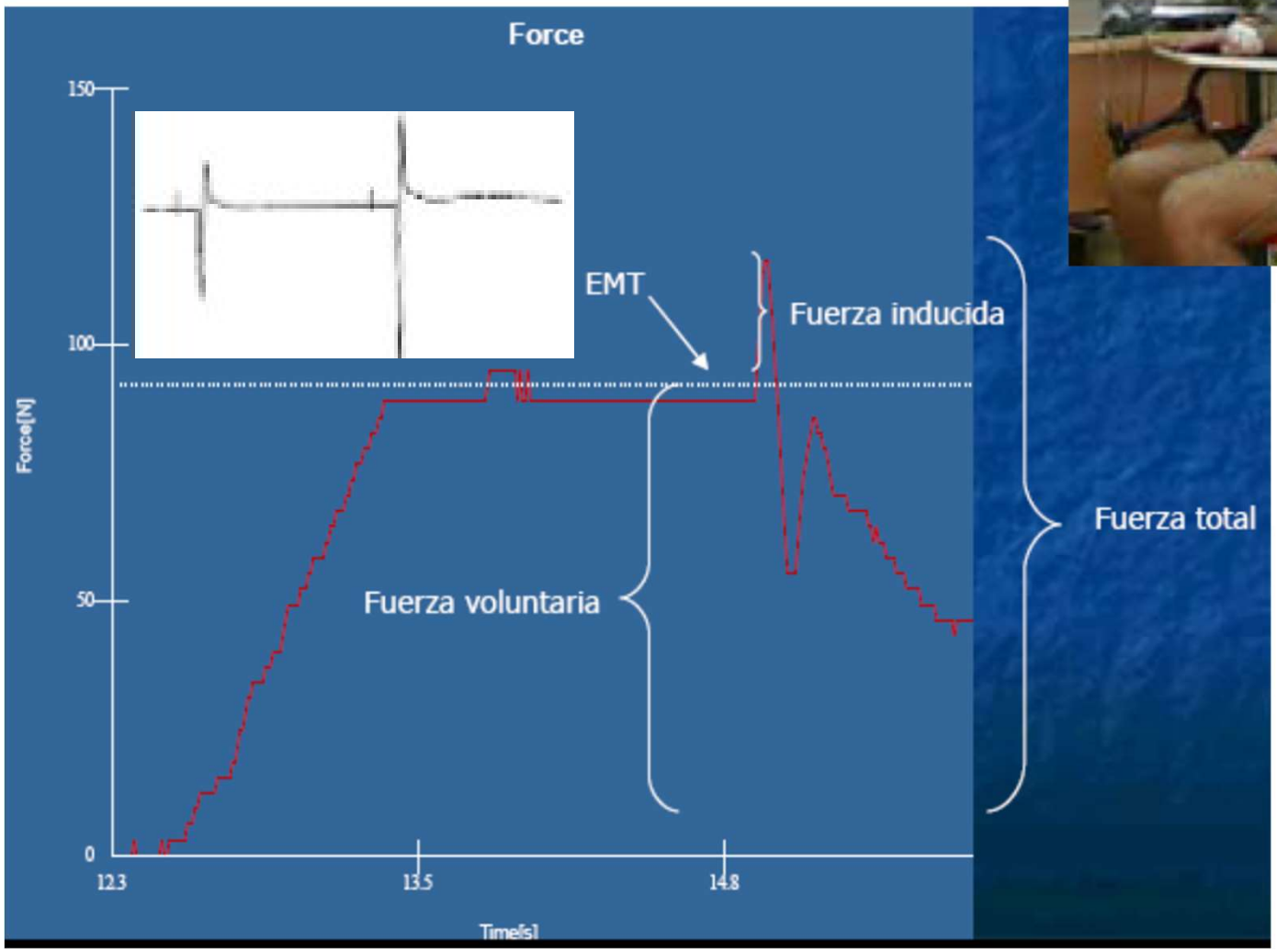
HV: 8 × 15 × 10kg - HL: 5 × 3 × 30kg





EFECTOS DE LA ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA TRANSCRANEAL SOBRE LA FUERZA MUSCULAR

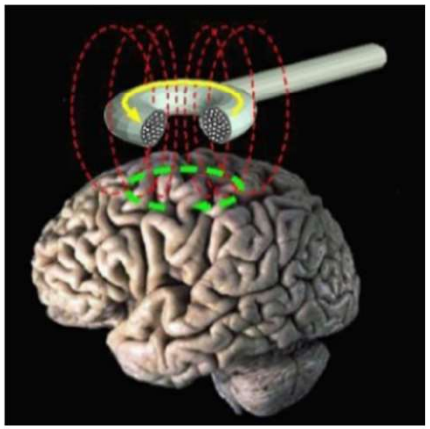




EMT

Miguel Fernández del Olmo

Universidad Rey Juan Carlos
INEF Galicia – U. Coruña



ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA TRANSCRANEAL

ALTERA EL POTENCIAL DE MEMBRANA DE LAS NEURONAS MEDIANTE:

CORRIENTE CONTINUA DE BAJA INTENSIDAD APLICADAS MEDIANTE ELECTRODOS GENERANDO CAMPOS MAGNÉTICOS PRÓXIMOS A LA ZONA A ESTIMULAR

- **Frecuencias Altas (>5Hz) e Intensidades Supraumbral:**

  Incrementan los Potenciales Motores evocados

  (EFECTO EXCITADOR)

- **Frecuencias Altas (>5Hz) e Intensidades Subumbral:**

  Incrementan el tamaño de los Potenciales Motores evocados

  (EFECTO EXCITADOR)

- Frecuencias Bajas (1-5 Hz) e Intensidades Supraumbral:

  Disminuyen el tamaño Potenciales Motores evocados

  (EFECTO INHIBIDOR)

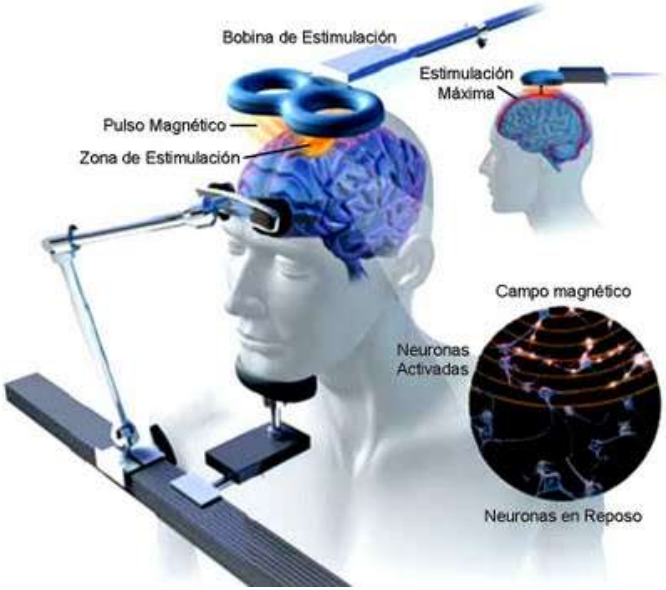
- Frecuencias Bajas (1-5 Hz) e Intensidades Subumbral:

  Disminuyen los Potenciales Motores evocados

  (EFECTO INHIBIDOR)

- Frecuencias por debajo de 1 Hz e Intensidades por debajo del 90% del Umbral Motor:

  No parecen tener efecto en Potenciales Motores Evocados



Umbral Motor

Intensidad mínima de estimulación que se necesita para producir un **Potencial Motor Evocado**

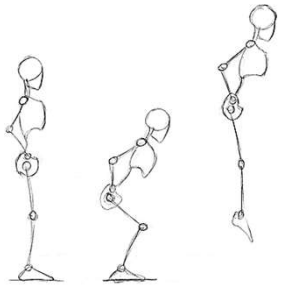
(PEM)

UFRJ

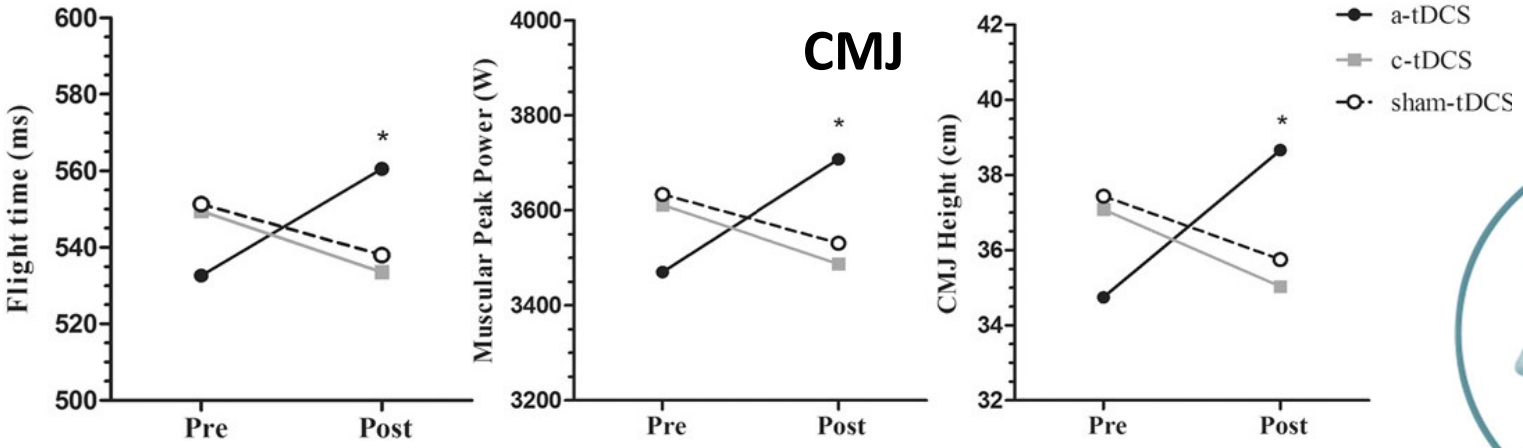
Can transcranial direct current stimulation improve muscle power in individuals with advanced weight-training experience?

Lattari E, Campos C, Lamego MK, Legey S, Neto GM, Rocha NB, Oliveira AJ, Carpenter CS & Machado S.

Journal Strength and Conditioning Research, 34(1), 97–103, 2020.



ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA TRANSCRANEAL (CORRIENTE CONTINUA BAJA INTENSIDAD)





Anodal (a-tDCS), Cathodal (c-tDCS) - Sham-tDCS

Estimulación cerebral (20’-30’) por medio de electrodos que emiten una Corriente Galvánica a Baja Intensidad (2 mA)

Estimulación Anódica (a-tDCS) (Magnética):

Favorece la despolarización de las neuronas y aumenta la Tasa de Activación Neuronal

Por el contrario, Estimulación Catódica (c-tDCS y Sham-tDCS) (Corriente Eléctrica):

Se asocian con efectos inversos que suprime la excitabilidad cortical

Universidad Rey Juan Carlos I

Chronic neural adaptation induced by long-term resistance training in humans

Fernández del Olmo M, Reimunde P, Viana O, Martín-Acero R. & Cudeiro J.

European Journal of Applied Physiology, 96(6), 722-728. 2006.

Entrenamiento a Largo Plazo de la Fuerza indujo una:

Menor fuerza evocada por TMS (Estimulación Magnética Transcraneal)

que en sujetos que no estaban entrenados

Esto nos indica la existencia de una adaptación previa en el S.N.C. como resultado del trabajo de fuerza anterior con tensiones elevadas de fuerza muscular

