



# **ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL**

MÓDULO 2. LA FUERZA Y  
SUS ASPECTOS  
BIOLÓGICOS

**- CONMEBOL -  
EVOLUCIÓN**

### Módulo 2. La fuerza y sus aspectos biológicos

La fuerza física es una capacidad fundamental del cuerpo humano que nos permite realizar actividades como levantar, empujar o cargar objetos. Esta capacidad está relacionada con los sistemas musculares y nerviosos del cuerpo, pero también es influenciada por procesos hormonales y endocrinos. A continuación, se explican los fundamentos biológicos y endocrinos de la fuerza.

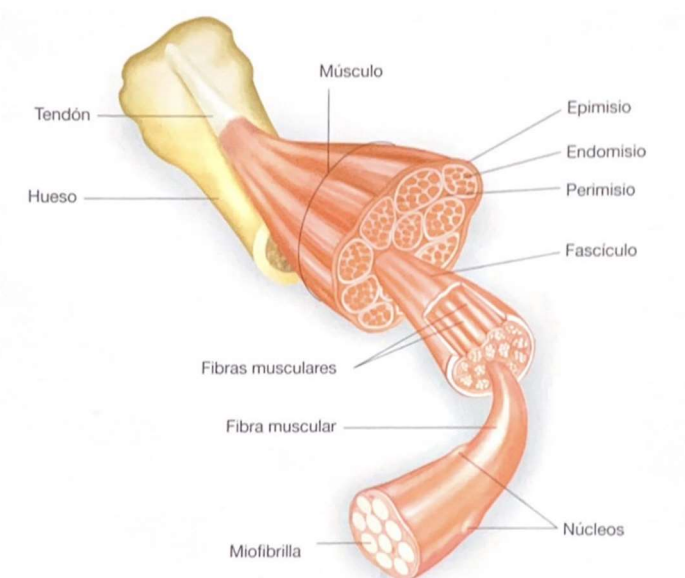
#### Músculo-esquelético

Los músculos son los principales impulsores de la fuerza. El proceso de contracción muscular es iniciado por la liberación de calcio en las células musculares, lo que permite que las proteínas de contracción actina y miosina interactúen y generen la fuerza. La contracción muscular es controlada por el sistema nervioso, que envía señales eléctricas a los músculos para indicarles cuánta fuerza deben producir.

Los músculos esqueléticos son los responsables de la postura y los movimientos del esqueleto.

Consiguen realizar su función gracias a la posibilidad de transformar energía química en mecánica. Las células que constituyen el tejido muscular (células o fibras musculares) disponen de una maquinaria proteica diferenciada que permite el fenómeno de la contracción muscular (López Chicharro, 2006).

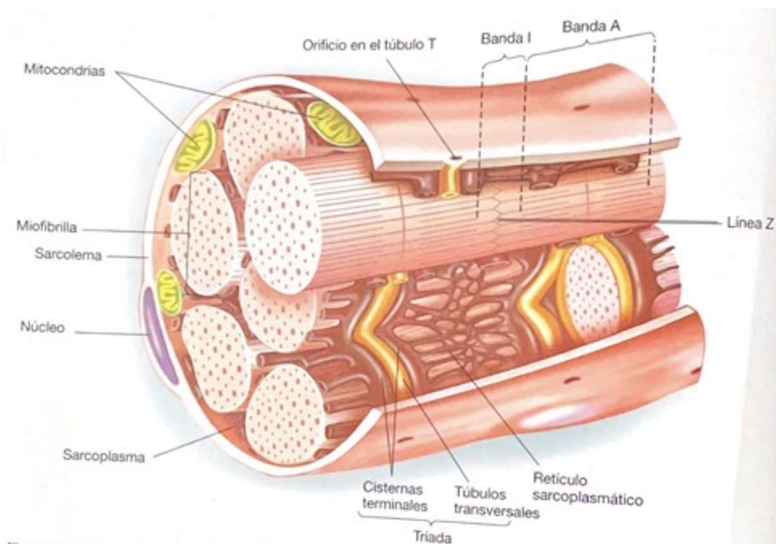
Figura 1. Estructura de básica del músculo



Fuente: Wilmore y Costill, 2010, p. 37.

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

Figura 2. Estructura de la fibra muscular



Fuente: Wilmore y Costill, 2010, p. 38.

**Hipertrofia muscular:** según distintos autores, la fuerza se ve beneficiada por la hipertrofia muscular, que es el aumento del tamaño de las fibras musculares debido a la síntesis de proteínas musculares después del entrenamiento de fuerza.

**Sistema endocrino:** según Chicharro (2006), se cree este sistema que forma una parte muy importante en el complejo de la manifestación de los cambios a corto y a largo plazo en la producción de fuerza.

Las hormonas anabólicas —como la testosterona y la hormona de crecimiento— juegan un papel importante, por lo que son claves a nivel de la modelación de fibras musculares; y nivel metabólico y celular con el trabajo de fuerza. También, en cuanto a las hormonas anabólicas T, GH, IGF-1, durante el entrenamiento de fuerza, aumenta su secreción. Estas hormonas estimulan la síntesis de proteínas musculares, lo que puede conducir a un aumento de la fuerza y la hipertrofia muscular.

**Sistema nervioso central:** el sistema nervioso central también juega un papel importante en la fuerza, ya que es responsable de enviar señales a los músculos para que se contraigan. Además, la coordinación neuromuscular y la capacidad de reclutar un mayor número de unidades motoras también pueden mejorar la fuerza.

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

Por otro lado, Vinuesa Lope y Vinuesa Jiménez (2016) declaran que “quizás la fuerza, aun cuando todas las cualidades deportivas son importantes, un buen nivel de fuerza es imprescindible para cualquier especialidad deportiva” (p. 291).

Además, el objetivo del entrenamiento de fuerza es conseguir que el atleta pueda alcanzar la deseada y la mejor manifestación de fuerza específica de su deporte. En concreto, se quiere conseguir mejorar la fuerza máxima, fuerza-velocidad y/o fuerza-resistencia, en la proporción adecuada (Vinuesa Lope y Vinuesa Jiménez, 2016, p. 311)

La fuerza específica en fútbol es el resultado de una compleja interacción entre los sistemas musculares, nerviosos y hormonales del cuerpo humano. En relación con la fuerza específica, podemos decir que la función modifica la estructura y el sistema complejo e impredecible del juego lleva a adaptar a relacionarse todas las estructuras que forman parte del jugador de fútbol.

Es de sobra conocido que los individuos que tienen una mayor masa muscular suelen tener más fuerza que las personas que tienen una menor masa muscular y que, si se entrena la fuerza, dicha cualidad mejora. Sin embargo, se conocen mucho menos los mecanismos por los que se tiene más o menos fuerza y por los que se incrementa la fuerza con el entrenamiento.

En este Módulo 2, se analizarán dichos mecanismos que están relacionados con componentes estructurales (composición del músculo) y componentes nerviosos; el ciclo estiramiento-acortamiento; y los mecanismos hormonales. El conocimiento de los mecanismos íntimos de producción de la fuerza nos permitirá entender las razones por las que se producen ganancias, estancamientos o pérdidas de fuerza con el entrenamiento.

La capacidad de un sujeto para desarrollar fuerza depende de distintos factores, que son de cuatro tipos:

- Estructurales, o relacionados con la composición del músculo.
- Nerviosos, relacionados con las unidades motoras.
- Los relacionados con el ciclo estiramiento-acortamiento.
- Hormonales.

### Factores estructurales del desarrollo de la fuerza

Comprende dos tipos de factores:

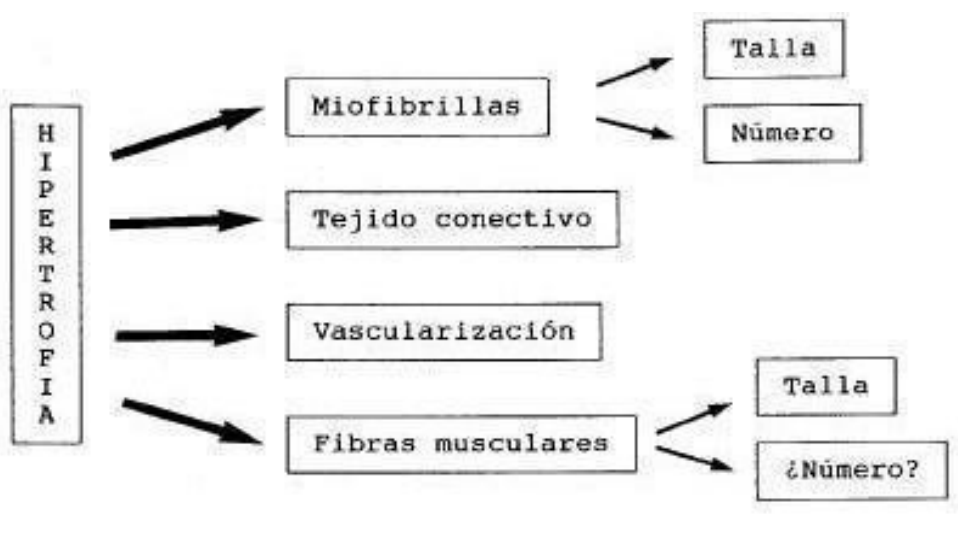
- La hipertrofia.
- Las fibras musculares.

## La hipertrofia o aumento del tamaño del músculo

Según Vinuesa Lope y Vinuesa Jiménez (2016), mediante el entrenamiento por vía morfológica, se busca el aumento de fuerza a través de la hipertrofia muscular, basada en un hecho ya demostrado de que, a mayor número y tamaño de miofibrillas, que conlleva al aumento del tamaño de las fibras musculares involucradas en la acción, existen mayores posibilidades de que la tensión que pueda generar el músculo aumente, a esto acompaña el aumento proporcional del tejido conectivo y la ampliación de la red vascular, en la mayoría de los casos.. Una definición certera la da Seirul-lo (2017), ya que explica que el rendimiento deportivo específico en el fútbol nos plantea que la coordinación (técnica) y el sistema nervioso muscular (reclutamiento muscular) deben tener la eficacia y la eficiencia precisa en la interacción para la consecución del objetivo planteado de acuerdo con las condiciones del entorno (Seirul-lo 2017).

Cuando se realizan estudios longitudinales analizando, por ejemplo, los efectos de unas semanas de entrenamiento de fuerza en una población poco entrenada, se suele observar una ganancia del grosor muscular hacia el segundo mes de entrenamiento, si el entrenamiento es suficientemente intenso y duradero (Tesch 1988). Esto permite pensar que la hipertrofia contribuye de modo significativo a la mejora de la fuerza.

Figura 3. Origen de la hipertrofia muscular.



Fuente: Cometti, 1999, p. 29.

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

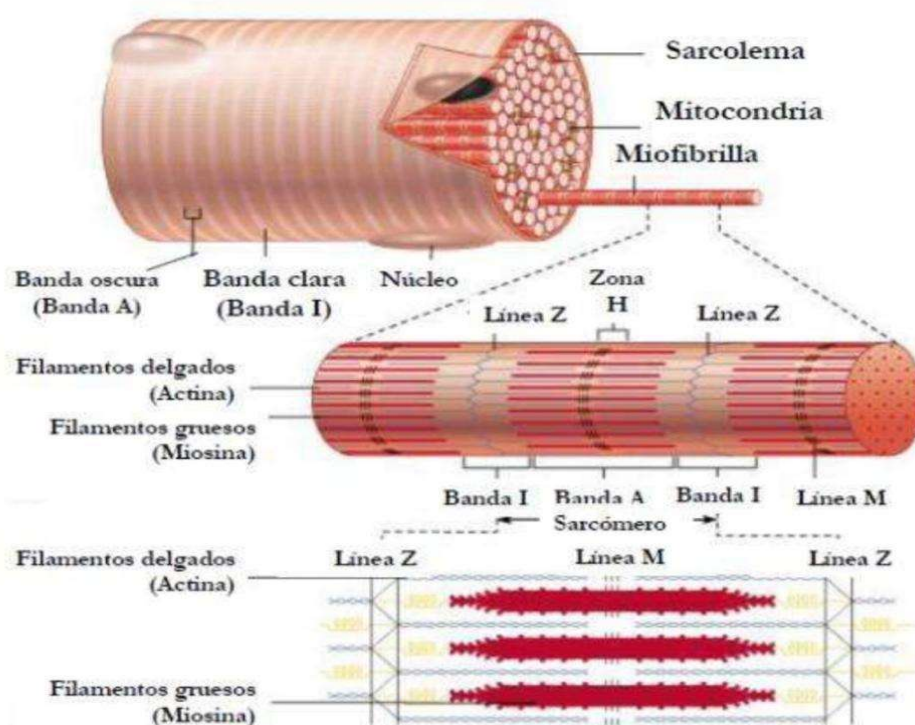
Muestra, de modo esquemático, las causas por las que se cree que se produce la hipertrofia tras el entrenamiento de fuerza.

Teóricamente, un aumento del tamaño del músculo puede ocurrir como resultado de un:

- Aumento del número y la talla de las miofibrillas.
- Aumento del tamaño del tejido conectivo y otros tejidos no contráctiles del músculo.
- Aumento de la vascularización.
- Aumento del tamaño y, probablemente, del número de fibras musculares (MacDougall, 1992).

Para entender mejor presentamos la siguiente imagen en la que se observan los distintos componentes del músculo.

Figura 4. Estructura y niveles de organización del músculo esquelético



Fuente: Wilmore y Costill, 2010.

### El aumento de la talla y el número de miofibrillas

Podemos ver que las investigaciones realizadas en el músculo humano permiten pensar que la hipertrofia producida en el músculo por el entrenamiento de fuerza se acompaña generalmente de un aumento tanto del tamaño como del número de las miofibrillas (MacDougall, 1986).

El aumento en el número de miofibrillas es más complejo y se conoce menos. El mecanismo, que podría ser muy parecido al que ocurre en el niño en las primeras semanas de vida, se puede resumir del siguiente modo: la miofibrilla se iría adaptando en primer lugar aumentando de tamaño, hasta que alcanza un nivel crítico determinado de tamaño y de fuerza a partir del cual las contracciones musculares sucesivas provocan microruptores de las bandas Z de las miofibrillas. A partir de estos microruptores, se forman dos "miofibrillas hijas" que tienen la misma longitud de sarcómero (Goldspink, 1970; Goldspink, 1974).

Por otro lado, el aumento en el número de miofibrillas contribuye en mayor medida a la hipertrofia que el aumento del tamaño (Goldspink, 1970) (Goldspink, 1974). (AMICI Formación en Fitness y Salud, s.f., <https://bit.ly/45hF1hF>)

Aunque se ha señalado anteriormente que la hipertrofia muscular se suele observar después de dos meses de entrenamiento intenso de fuerza, la realidad es que, a nivel microscópico, el aumento de la formación (síntesis) de nuevas proteínas musculares que forman nuevas miofibrillas se empieza a producir desde la primera sesión de entrenamiento (Kraemer, 2000). Por ejemplo, se ha demostrado que, durante las dos primeras horas de recuperación de una sesión intensa de entrenamiento de fuerza, se observa una disminución de la síntesis de proteínas musculares y un aumento de su degradación (Booth et al., 1999). Sin embargo, desde la segunda hora hasta las 48 horas posteriores a la finalización de la sesión de entrenamiento de fuerza, se observa un aumento significativo de la síntesis de proteínas musculares (Gibala, 1995; MacDougall, 1995; Phillips, 1997). Estas modificaciones se observan especialmente en deportistas poco entrenados (Phillips, 1999) y sugieren que, desde las primeras sesiones de entrenamiento de fuerza, el músculo se adapta para producir más proteínas musculares y aumentar su tamaño.

### El aumento del tejido conectivo

Entonces, sabemos que además del tejido contráctil, el músculo está formado por otros tejidos no contráctiles, que representan alrededor del 13 % del volumen muscular total (MacDougall, 1984). De entre dichos tejidos no contráctiles, el principal elemento es el colágeno, que representa el 7% de la masa muscular total.

Debido a que el tejido conectivo ocupa una proporción pequeña del músculo, algunos investigadores consideran que debe tener poca importancia a la hora de contribuir al desarrollo de la fuerza (MacDougall, 1992). Sin embargo, conviene retener algunas

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

características poco conocidas del colágeno, a saber: está compuesto por 3 cadenas de aminoácidos (prolina, hidroxiprolina, glicina).

La hipertrofia muscular se suele acompañar de un aumento proporcional del tamaño y de la fuerza del tejido conectivo; y, viceversa, la atrofia se acompaña de una disminución proporcional del tejido conectivo. Por ejemplo, el tejido conectivo del hombre sedentario representa, como el del culturista entrenado, un 13 % del volumen muscular (MacDougall 1984). Se considera que el aumento del tamaño y de la fuerza del tejido conectivo permite que el aumento del número de las miofibrillas se apoye y se oriente en una amplia y fuerte estructura de soporte (el tejido conectivo) (Hunter, 2000).

Parece ser que, contrariamente a lo que se pensaba, los procesos de adaptación del tejido conectivo son más rápidos que los del tejido contráctil (Goldspink, 1992). (AMICI Formación en Fitness y Salud, s.f., <https://bit.ly/45hF1hF>)

Desde el punto de vista morfológico, Vinuesa Lope y Vinuesa Jiménez (2016) expresan que es necesario diferenciar entre dos tipos de hipertrofia: sarcoplasmática y sarcomérica.

La hipertrofia sarcoplasmática se refiere al aumento del tamaño muscular cuya base está en que aumenta la cantidad de plasma sanguíneo encontrado en el espacio entre las fibras. Esto se produce cuando las cargas de entrenamiento están entre el 60 y 80 %, con series de entre 9 y 20 repeticiones, con pequeños descansos de 30 segundos a 1 minuto entre series. La necesidad del músculo de aportar el “combustible” que se necesite para el esfuerzo que se realice (vía glucolítica) y el que plasma aporta es el motivo del aumento del volumen plasmático.

**Hipertrofia sarcoplasmática:** es el crecimiento del tamaño muscular producido principalmente por un aumento de la cantidad de plasma sanguíneo en el espacio entre las fibras. Se da cuando el atleta entrena con cargas entre el 60 y el 80%, en series de entre 9 y 20 repeticiones y con pausas de recuperación cortas (entre 30 segundos y un minuto como máximo). Este aumento del volumen plasmático se debe a la necesidad del músculo de disponer del «combustible» necesario para el tipo de esfuerzo a realizar (vía glucolítica), y que el plasma le aporta.

**La hipertrofia sarcomérica:** se refiere al aumento de la densidad muscular producida por el aumento de las miofibrillas en número y tamaño. Este tipo de hipertrofia se genera con cargas de entrenamiento por sobre el 80-85 % del 1RM, con series cortas de no más de 6-8 repeticiones y largos descansos. Aquí el sistema que principalmente entrega la energía necesaria es el fosfógeno, por lo que no existe notoriamente un aumento del volumen plasmático interfibrilar.

**Hipertrofia sarcomérica:** alude al incremento de la densidad muscular, gracias al aumento del número y tamaño de sus elementos contráctiles (miofibrillas), no de sus fibras, pues según

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

estudios contrastados, no es posible el aumento del número de fibras, que es una característica «innata». La hipertrofia sarcomérica se experimenta con entrenamientos con cargas por encima del 80-85 % del máximo posible del atleta, series cortas (no más de 6-8 repeticiones) y pausas de recuperación amplias. A diferencia del tipo anterior, siendo principalmente el sistema fosfógeno el encargado de suministrar la energía necesaria en este caso, no existe apenas aumento del volumen plasmático interfibrilar.

Según Balsalobre Fernández y Jiménez Reyes (2014), en últimas investigaciones, el entrenamiento hasta el fallo tiene menor eficacia en acciones importantes de variados deportes como lo son el salto vertical o la aceleración en *sprints* cortos. Aseguran que este tipo de entrenamiento no debe ser utilizado a menos que el objetivo sea únicamente la hipertrofia muscular, como es el caso de los culturistas, ya que genera un alto grado de fatiga y menor producción de potencia durante la serie o la transición a las fibras propias del entrenamiento de hipertrofia, las fibras lentas.

Por otro lado, hacen referencia al entrenamiento en *cluster*, el cual consiste en series de entre 1 a 3 repeticiones, con descansos hasta de 1 minuto entre series. Este, argumentan sus defensores, retrasa la fatiga, estimula los factores neurales de la fuerza en mayor medida y maximiza la producción de potencia. Muy similar a la denominada potenciación-posactivación (PAP), que es un programa que posibilita el aumento del rendimiento físico, mayormente en movimientos explosivos como saltos, lanzamientos o *sprints*, a través del correcto uso de pocos ejercicios con altas cargas (por ejemplo, 3x3 al 85 % del RM en sentadillas) que favorezcan la maximización de los factores neurales de fuerza y retrasar la fatiga.

### El aumento de la vascularización

Entendemos que numerosos estudios han demostrado que los capilares que rodean el músculo, expresados bien sea en número de capilares por fibra muscular o en número de capilares por mm<sup>2</sup> de superficie muscular (densidad capilar), aumenta después de varias semanas de entrenamiento de resistencia aeróbica (Saltin, 1983). Por eso, los atletas entrenados en resistencia aeróbica presentan un mayor número de capilares por fibra y una mayor densidad capilar que los sedentarios (Saltin, 1983).

Hemos visto anteriormente que el entrenamiento de fuerza se suele acompañar de una hipertrofia muscular. Si dicha hipertrofia muscular no se acompañase de una formación de nuevos capilares sanguíneos proporcional al aumento de la talla del músculo, la densidad capilar disminuiría en el músculo hipertrofiado (Tesch, 1992). Los estudios realizados con halterófilos y fisiculturistas por Tesch (1984) y Dudley (1986) permiten pensar que distintos tipos de entrenamiento de fuerza tienen distintos efectos en la vascularización del músculo. Así, por ejemplo, Tesch (1984) observó que los halterófilos de élite tenían el mismo número de capilares por fibra muscular que los sedentarios. Si tenemos en cuenta que el tamaño del músculo en los halterófilos es muy superior al de los sujetos sedentarios, esto implica que la

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

densidad capilar (número de capilares por mm<sup>2</sup> de superficie del músculo) es menor en los halterófilos. Esto permite pensar que el entrenamiento de halterofilia no se acompaña de una proliferación o formación de nuevos capilares en el músculo.

Las características de la densidad capilar de los halterófilos, que se suelen entrenar con cargas de intensidad casi máxima (80-100 %) y con pocas repeticiones, parecen ser muy distintas de las de los culturistas, que se suelen entrenar empleando cargas más ligeras (70 % de 1RM), con muchas repeticiones, hasta el agotamiento. En efecto, los culturistas suelen tener casi el doble de capilares por fibra muscular que los halterófilos (Dudley, 1986).

Esto puede ser el reflejo de una proliferación o formación de nuevos capilares sanguíneos como consecuencia del entrenamiento "de hipertrofia", típico del culturista. Sin embargo, la densidad capilar (número de capilares por mm<sup>2</sup>) del culturista es inferior a la del sujeto sedentario. Esto indicaría que la formación de nuevos capilares debidas al entrenamiento del culturista es proporcionalmente menor que la hipertrofia muscular que presenta. Las diferencias existentes entre los halterófilos y los culturistas en el número de capilares por fibra (más capilares por fibra en los culturistas) explica por qué los culturistas tienen mejores valores de resistencia aeróbica que los halterófilos, cuando realizan un test en bicicleta ergométrica (Dudley, 1988).

Por último, algunos autores han observado que la disminución de la densidad capilar provocada por el entrenamiento de fuerza se acompaña también de una disminución de la densidad del volumen de las mitocondrias de la fibra muscular (MacDougall, 1979). Esto podría explicar, por una parte, los bajos contenidos en enzimas oxidativos encontrados en los músculos de los atletas que practican disciplinas de fuerza y, por otra parte, la inconveniencia de favorecer la hipertrofia muscular en los atletas que practiquen disciplinas de fondo (Tesch, 1992). (AMICI Formación en Fitness y Salud, s.f., <https://bit.ly/45hF1hF>)

### El aumento de la talla y del número de fibras musculares

De esta manera, hemos visto con anterioridad que el aumento de la talla y del número de las miofibrillas contribuye a la hipertrofia muscular. Teniendo en cuenta que las miofibrillas constituyen el componente más importante del volumen total de las fibras musculares, es evidente que las fibras musculares aumentan de tamaño.

Como en el caso de las miofibrillas, la hipertrofia de las fibras musculares podría deberse a dos razones:

- Un aumento en la talla de las fibras musculares.
- Un aumento en el número de las fibras musculares (se le suele llamar hiperplasia).

En lo que respecta a la talla de las fibras musculares, numerosos estudios han observado un

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

aumento de la talla de las fibras musculares después de un período de entrenamiento de fuerza. (Thorstenson, 1976) (MacDougall, 1980) (Häkkinen, 1981a). La magnitud de este aumento varía considerablemente dependiendo del entrenamiento previo del sujeto y, sobre todo, de la intensidad y la duración del entrenamiento (MacDougall, 1992). En general, se puede afirmar que el aumento de tamaño suele afectar de modo preferente a las fibras de tipo II (Thorstenson, 1976; MacDougall, 1980), aunque las fibras de tipo I suelen aumentar de tamaño, pero en menor proporción (Häkkinen, 1981a). El aumento de tamaño de las fibras de tipo I se manifiesta especialmente en el entrenamiento de culturismo (por ejemplo: 10×10 RM), y cuando la duración del entrenamiento de fuerza supera las 12-16 semanas (Häkkinen, 1981a). (AMICI Formación en Fitness y Salud, s.f., <https://bit.ly/45hF1hF>).

Tabla 1. Características Fibras tipo 1 y tipo 2

Características	Tipo I	Tipo II
Fuerza por área transversal	Baja	Alta
Actividad miofibrilar de la ATPasa(pH 9,4)	Baja	Alta
Almacenamiento de ATP intramuscular	Bajo	Alto
Almacenamiento de PC intramuscular	Bajo	Alto
Velocidad de contracción	Lenta	Rápida
Tiempo para la relajación	Lento	Rápido
Actividad de las enzimas glucolíticas	Baja	Alta
Resistencia	Alta	Baja
Depósitos de glucógeno intramuscular	Sin diferencias	
Depósitos de triglicéridos intramusculares	Altos	Bajos

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

Contenido en mioglobina	Alto	Bajo
Actividad de las enzimas aeróbicas	Alta	Baja
Densidad capilar	Alta	Baja
Densidad mitocondrial	Alta	Baja

Fuente: adaptación propia con base en Fleck y Kraemer, 2014.

No podemos dar actualmente una respuesta definitiva en lo que respecta a si la hipertrofia muscular provocada por el entrenamiento de fuerza se acompaña o no de un aumento en el número de fibras musculares (hiperplasia). Los argumentos experimentales que permiten pensar que pudiera existir una hiperplasia de las fibras musculares son los siguientes.

Se sabe que en el hombre el mayor contribuyente del crecimiento del músculo desde antes del nacimiento hasta el primer año de vida es el aumento en el número de fibras musculares (Goldspink, 1974). Este fenómeno, que no se observa en el adulto sedentario, podría muy bien ser del mismo tipo del que se produce tras el entrenamiento de fuerza (MacDougall, 1992).

En los años 70, algunos investigadores encontraron, trabajando con animales, que el crecimiento del grosor del músculo que ocurría tras un entrenamiento de fuerza se acompañaba de un aumento del número de fibras musculares (Reitsma, 1996; Hall-Craggs, 1970; Sola, 1973). Aunque algunos de estos trabajos han sido criticados por la metodología experimental que emplearon (Gollnick, 1981), posteriores estudios más precisos en su metodología realizados con animales han confirmado la existencia de hiperplasia de las fibras musculares tras el entrenamiento de fuerza (Gonyea, 1986; Alway, 1989).

El mecanismo por el que se produce la hiperplasia de las fibras musculares en animales es desconocido. Sin embargo, se considera que podría estar causado por la activación de las "células musculares satélite" como consecuencia del entrenamiento de fuerza. Estas "células satélites", descritas por Mauro (1961), son células de reserva no funcionales que se encuentran en el exterior de la membrana plasmática de la fibra muscular, pero en el interior de la lámina basal. Cuando un ejercicio o una sesión de entrenamiento produce un daño celular en el músculo, se observa una proliferación de "células satélites" (Schultz, 1989) que puede reemplazar a las células dañadas (en el caso de que el daño haya sido tan grande que las células lesionadas mueran) o bien fusionarse con dichas células (en el caso de que el daño celular haya sido grande pero no hayan muerto). En este último caso, existiría un aumento del número de fibras. En esta hipótesis, la hiperplasia se estimularía solamente tras aquellos entrenamientos que dañasen ligeramente a las células musculares sin provocar su muerte.

Este leve daño estimularía a las "células satélites" que, además de reparar el daño, crearían nuevas células musculares. Sin embargo, estas teorías, aunque encajan muy bien con la teoría de los procesos de adaptación debidos al entrenamiento, son meras especulaciones. (AMICI Formación en Fitness y Salud, s.f., <https://bit.ly/45hF1hF>)

Vemos que en lo referente a la existencia de hiperplasia en el hombre, Kadi y col. (1999) han encontrado que los levantadores de pesas tienen un mayor número de fibras musculares en el músculo trapecio que las personas sedentarias. Esto podría hacer pensar que, después de muchos años de entrenamiento, se produce una hiperplasia de las fibras musculares. Pero este estudio no es suficiente y se deberán realizar otros estudios que permitan conocer si se produce o no se produce hiperplasia en las fibras musculares humanas como consecuencia del entrenamiento de fuerza (MacDougall, 1984). (Gonzalez Badillo y Gorostiaga Ayestarán, 2003, p. 68)

### Las fibras musculares

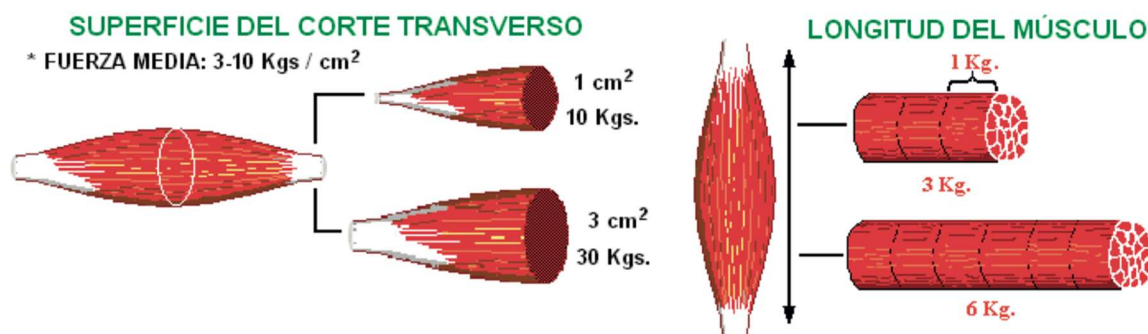
Comprendemos que las fibras musculares son las células de los músculos esqueléticos y tienen como función la de generar fuerza. Billeter (1992) mostraba, de modo esquemático, la estructura del músculo esquelético. En ella se observa que las fibras musculares, células anchas (50 mm) y largas (hasta 10 cm) con cientos de núcleos, están compuestas en el 80 % de su volumen por miofibrillas. Las miofibrillas tienen un diámetro de 1-2 mm y una longitud generalmente similar a la de la fibra muscular.

A su vez, cada miofibrilla está compuesta por una serie de unidades contráctiles llamadas sarcómeros, constituidos por filamentos finos y pesados colocados en el plano longitudinal y situadas entre los llamados discos Z, que tienen una longitud aproximada de 2.5 cm.

Se cree que la contracción muscular se produce cuando los sarcómeros se contraen al deslizarse los filamentos pesados entre los filamentos finos. Esto provoca el acercamiento de los discos Z entre sí y el consiguiente acortamiento de los sarcómeros que conlleva a la contracción del músculo (Billeter, 1992). (González Badillo y Gorostiaga Ayestarán, 2003, p. 69)

Se puede afirmar que el aumento de tamaño suele afectar de modo preferente a las fibras de tipo II (Thorstenson, 1976; MacDougall, 1980), aunque las fibras de tipo I suelen aumentar de tamaño, pero en menor proporción (Hakkinen, 1981a). El aumento de tamaño de las fibras de tipo I se manifiesta especialmente en el entrenamiento de culturismo (por ejemplo: 10 x 10 RM), y cuando la duración del entrenamiento de fuerza supera las 12-16 semanas (Hakkinen, 1981). (González Badillo y Gorostiaga Ayestarán, 2003, p. 68)

Figura 5. La estructura muscular (aspecto morfológico)



Fuente: Vinuesa Lope y Vinuesa Lope, 2016, p. 292.

## a) Tamaño del músculo en reposo:

Cuanto más desarrollado sea el músculo, más posibilidad de generar fuerza (mayor número de sarcómeros en serie y en paralelo). Se mide normalmente por el perímetro del vientre muscular o por el cálculo de la superficie del corte transversal, y en su caso, por la longitud total del músculo.

## b) Longitud del músculo previa a la contracción

Un músculo alargado (sin superar el 12 % de su longitud en reposo) aumenta la facultad de manifestar fuerza. Un músculo acortado (sin tener en cuenta otros aspectos mecánicos) disminuye esta capacidad. El músculo excesivamente elongado pierde posibilidades de manifestar fuerza, al parecer por establecerse menos contactos en los puentes actina-miosina.

## c) Número y grosor de las fibras musculares

Cuanto mayor sea el número y tamaño de las fibras musculares constituyentes del músculo en cuestión, más posibilidad de producir fuerza.

## d) Orientación de las fibras musculares

Los músculos se disponen y ubican según la función que deben cumplir. De modo general, se distinguen cuatro maneras de alineación, que relacionamos en orden a su mayor capacidad de generar fuerza:

1. Multipeniforme
2. Peniforme

3. Bipeniforme

4. Fusiforme

Figura 6. Orientación de las fibras



Fuente: Vinuesa Lope y Vinuesa Lope, 2016, p. 293.

## e) Tipo de fibras que constituyen el músculo

Es importante el tanto por ciento de los tipos de fibras que integran el músculo y su grado de desarrollo. Una distribución normal sería de 52 a 55 % de fibras rojas, lentas, tipo I o ST; el 30 a 35 % de fibras blancas, rápidas, tipo IIa o FTa; y de 12 a 15 % de fibras blancas, muy rápidas, tipo IIb o FTb.

*A priori*, sin otras consideraciones, un mayor porcentaje de fibras blancas predispone para mejores logros en la manifestación de la fuerza máxima.

## f) Calidad de los tejidos elásticos en serie y paralelo así como de las inserciones

De nada serviría una gran capacidad contráctil sin unos tejidos conectivos, tendones e inserciones en consonancia, pues el músculo terminaría rompiéndose por el punto más débil.

## g) Grado de cansancio

Un músculo fatigado es un músculo intoxicado y con menos reservas de energía, y tiene menos posibilidades para activar todo su potencial de fuerza. (Vinuesa Lope y Vinuesa Jiménez, 2016, p. 292-293)

Distinción: Isoformas de la miosina

# ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

Los filamentos pesados de los sarcómeros están formados principalmente por una proteína, la miosina, mientras que los filamentos finos están formados principalmente por otra proteína llamada actina (Billeter, 1992). El extremo libre de la molécula de miosina es el lugar clave del músculo que genera la fuerza necesaria para la contracción muscular. En efecto, en dicho extremo o cabeza de la miosina, se encuentra la molécula de ATP que, en presencia de calcio, se hidroliza en ADP y Pi (fosfato inorgánico); y proporciona la energía necesaria para que la cabeza de la miosina interaccione con el filamento de actina, se produzca el acortamiento de los sarcómeros y, por consiguiente, la contracción muscular.

## La dificultad de trabajar la fuerza en los deportes de equipo

La principal característica de los deportes colectivos es la **variabilidad del entorno**, esto es, que las situaciones que se presentan nunca pueden ser repetidas. Por ello es que es difícil su medición, sobre todo si consideramos que tradicionalmente los modelos de entrenamiento provienen de deportes individuales. Hoy en día, con el avance de la investigación científica, podemos afinar los modelos de entrenamiento y aproximarnos a la realidad de nuestro deporte dejando de lado visiones sesgadas por el atletismo y la natación como sucedía años atrás cuando solo importaban los parámetros fisiológicos y/o bioquímicos para analizar el desempeño de nuestros jugadores.

Gracias a la evolución de la tecnología y la ciencia, existen actualmente herramientas validadas científicamente que se pueden llevar en el bolsillo, como, por ejemplo, aplicaciones para el teléfono celular. Con cuestionarios como el RPE (*rating of perceived exertion*; en español, escala de medición de esfuerzo subjetivo), podemos acercarnos a lo que realmente están sintiendo nuestros deportistas, lo cual puede ser muy distinto de lo que los entrenadores pensamos que nuestros deportistas sienten. Los *softwares* como el Data Volley, el Amisco Pro o el Sagit (para balonmano) nos permiten aproximarnos no solo a lo que sucede en el deporte en general, sino también a lo que acontece con nuestro equipo en tiempo real.

Existen tres parámetros básicos para comprender la fuerza. Estos son:

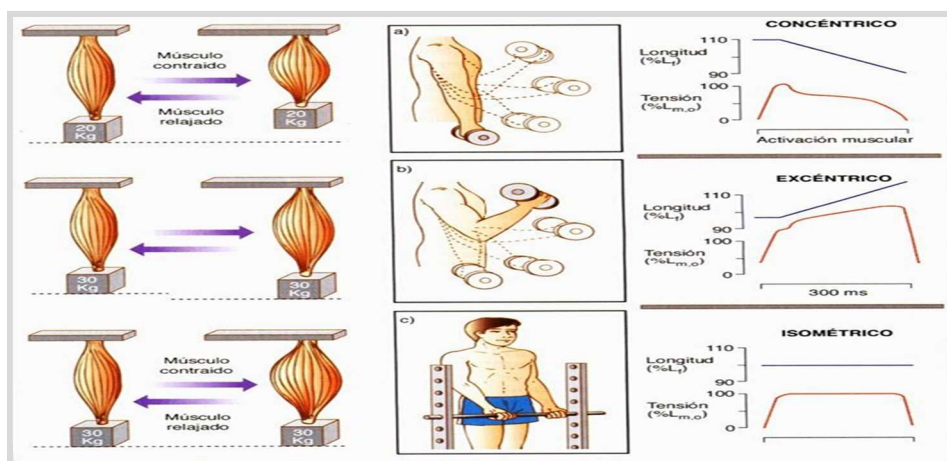
- **El nivel de fuerza:** la cantidad de fuerza aplicada en una acción determinada.
- **El tiempo de aplicación de determinada fuerza:** la cantidad de fuerza que se aplica por segundo (relacionado con el concepto de fuerza explosiva). Entendida la potencia como la capacidad para efectuar acciones motoras en un tiempo mínimo, esto cobra relevancia.
- **El tiempo en que se puede mantener una determinada cantidad de fuerza:** cuando nos referimos a mantener acciones musculares submáximas durante una determinada

# ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

cantidad de tiempo, nos referimos al concepto de resistencia.

Según Zatsiorsky (2006), la fuerza es la habilidad para sobreponerse o contrarrestar una resistencia externa mediante un esfuerzo (tensión) muscular. Si la acción muscular es en dirección opuesta a la resistencia y la supera, esta se denomina una acción concéntrica; si es en la misma dirección a la resistencia, pero no la supera, sino que se produce un estiramiento activo de la musculatura a favor de la gravedad, se denomina acción excéntrica. Mientras que, cuando la longitud de la acción muscular no se modifica, se denomina una acción isométrica (ver Figura 7).

Figura 7. Tipos de Acción muscular



Fuente: López Chicharro 2010, p. 102.

“La fuerza es la capacidad de generar tensión que puede producir cada grupo muscular a una velocidad específica de ejecución”. (Knutgen y Kraemer, 1987, p. 6).

## Ciclo estiramiento-acortamiento (CEA)

Cuando las acciones se dan de manera continuada a fin de que exista una preactivación excéntrica-concéntrica y el tiempo de transición entre la fase excéntrica y concéntrica es muy corto, ocurre lo que se denomina ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) (Komi, 1992).

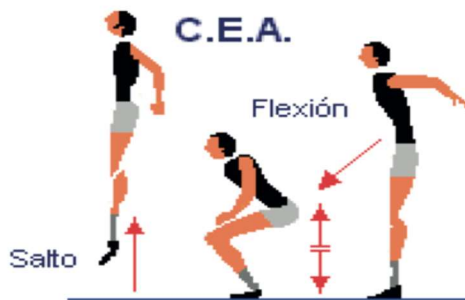
Según Verkhoshansky (2006), se trata de la capacidad específica muscular de manifestar un esfuerzo motor muy fuerte, luego de un estiramiento mecánico intensivo, o sea, durante la transición rápida de trabajo excéntrico a concéntrico.

El CEA proviene de la observación de que todos los segmentos corporales están sujetos a impacto o a fuerzas de estiramiento. Correr, caminar, saltar, son típicos ejemplos en los que fuerzas externas —como, por ejemplo, la gravedad— alargan el músculo. En esta fase de alargamiento, el músculo se mantiene actuando excéntricamente; y, a esta fase, le sigue una

# ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

acción concéntrica.

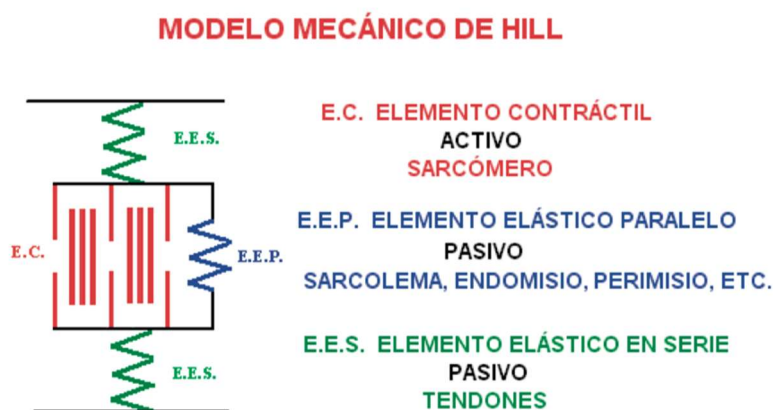
Figura 8. Ejemplo de CEA



Fuente: Vinuesa Lope y Vinuesa Lope, 2016, p. 306.

El modelo mecánico de Hill, expresado en la Figura 9, nos será muy útil para estudiar el comportamiento de los distintos elementos que conforman el músculo a la hora de analizar los diferentes tipos de contracciones.

Figura 9. Modelo mecánico de Hill



Fuente: Vinuesa Lope y Vinuesa Lope, 2016, p. 303.

El principal responsable de la tensión muscular es el **elemento contráctil** (EC) o elemento activo, constituido por los sarcómeros, que operan mediante la activación de los puentes de

# ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

actina y miosina. El modelo se completa con dos elementos pasivos (es decir, sin capacidad contráctil):

- El **elemento pasivo elástico en serie** (EES) representa a los tendones, que actúan como transmisores de la tensión muscular a las palancas óseas.
- El **elemento pasivo elástico en paralelo** (EEP) está formado por todos los tejidos conjuntivos (sarcolema, epimisio, perimisio, etc.), que de algún modo compactan con la estructura muscular, adaptándose a sus cambios de forma.

El elemento contráctil es el que da lugar a las contracciones, que se pueden dividir en dos grandes grupos:

- a) Activas
- b) Reactivas

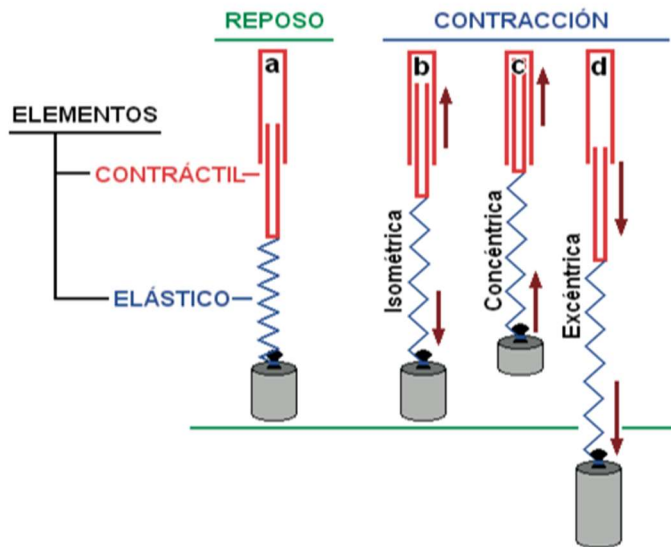
## a) Las contracciones activas

Estas contracciones a su vez se ramifican en tres clases:

- Contracciones isométricas o estáticas.
- Contracciones anisométricas o dinámicas (concéntricas y excéntricas).
- Contracciones combinadas o mixtas (fruto de la unión de las anteriores).

En la siguiente figura, se representan los elementos contráctiles (en rojo) y elásticos en serie (en azul). En ella hemos pretendido ilustrar, de forma gráfica, cómo se comportan los distintos elementos que conforman el músculo, según el tipo de contracción que se realice.

Figura 10. Elementos contráctiles y elásticos en serie



Fuente: Vinuesa Lope y Vinuesa Lope, 2016, p. 304.

Se observa en (a) el músculo en reposo. En (b) el músculo en contracción isométrica no puede levantar el peso y vemos que el elemento contráctil se acorta y el elemento elástico en serie se alarga, pero la totalidad del músculo no varía de longitud.

Se representan en (c) y (d) las contracciones isotónicas anisométricas. En la concéntrica (c), el elemento elástico se alarga (en función de la carga); el elemento contráctil se acorta (pudiendo levantar el peso); y la totalidad del músculo también se acorta. En la excéntrica (d), tanto el elemento contráctil como el elástico se alargan, así como todo el músculo, pues se intenta retener la caída del peso.

## Fuerza explosiva y tasa de desarrollo de la fuerza

Maffiuletti et al. (2016) definen la fuerza explosiva como la habilidad de incrementar la fuerza o torque lo más rápido posible mediante una veloz acción muscular desde el reposo o desde un bajo nivel de activación muscular. Por su parte, Schmit Bleichter (1992) divide estas acciones explosivas en dos tipos: aquellas con un CEA corto (inferior a 250 milisegundos) y aquellas con un CEA largo (superior a 250 ms).

Por otra parte, Rivas Borbón y Sánchez Alvarado (2012) definen fuerza explosiva como la capacidad del sistema neuromuscular para superar resistencias con una alta velocidad de contracción (potencia, fuerza rápida). El sistema neuromuscular acepta y arroja una carga rápida a alta velocidad mediante la coordinación de reflejos y de los componentes elásticos

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

y contráctiles del músculo. La fuerza explosiva determina el rendimiento en todos los deportes llamados «explosivos», es decir, deportes en los que se requiere de acciones como saltar, lanzar, esprintar, golpear, y otros.

La fuerza explosiva (potencia) es una cualidad híbrida que se da por la combinación de los componentes de velocidad y fuerza.

La velocidad es una cualidad más bien innata que cambia poco con el entrenamiento. Por lo tanto, la posibilidad de aumentar la potencia a los jugadores se da casi exclusivamente mediante incrementos en la fuerza.

¿Por qué interesan tanto estos conceptos en los deportes colectivos? Porque, según las investigaciones realizadas por McInnes et al. (1995) en baloncesto, si bien estas acciones representan solo el 15 % del total de las acciones realizadas en un encuentro, son las responsables del éxito o la derrota en la competencia. En los deportes colectivos, acciones como un salto para cabecear, un remate de voleibol, un lanzamiento en suspensión en baloncesto o un disparo en fútbol, por citar solo algunas, son acciones de corta duración y altísima potencia, como analizaremos más adelante.

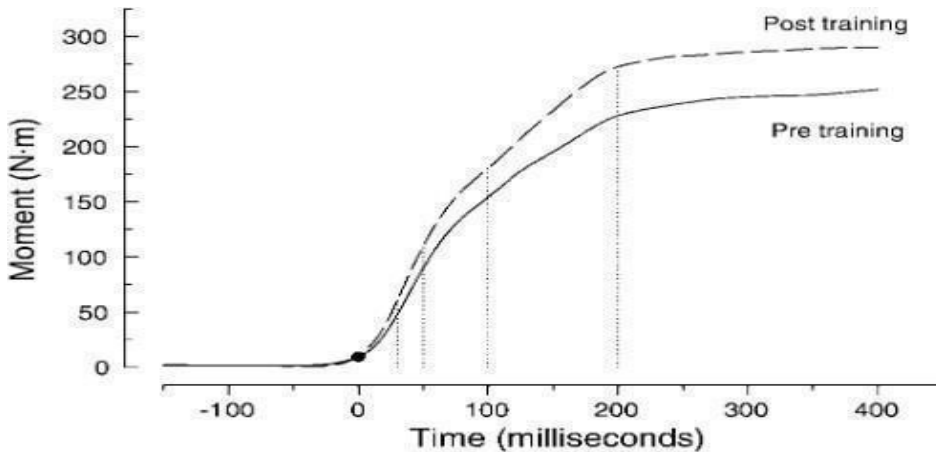
La tasa de desarrollo de la fuerza (RFD), por lo tanto, es derivada de la curva fuerza-tiempo registrada en una activación muscular explosiva y voluntaria. La evaluación de esta curva, si la comparamos con una contracción muscular máxima, tiene, principalmente, las siguientes ventajas:

- 1) parece estar más relacionada a las tareas deportivas;
- 2) es más sensible a detectar cambios agudos y crónicos en las funciones neuromusculares; y
- 3) potencialmente está gobernada por diferentes procesos fisiológicos (Maffiuletti, 2016).

A su vez, esta capacidad de expresar fuerza en poco tiempo está influenciada por numerosos factores del sistema neuromuscular, dentro de los cuales encontramos aquellos que contribuyen al incremento de la fuerza máxima (área transversal muscular y frecuencia de disparo de unidades motoras) así como los que afectan al tiempo necesario para alcanzar un determinado nivel de fuerza (el tipo de fibra y la rigidez o *stiffness* músculo-tendinoso) (Maffiuletti, 2016).

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

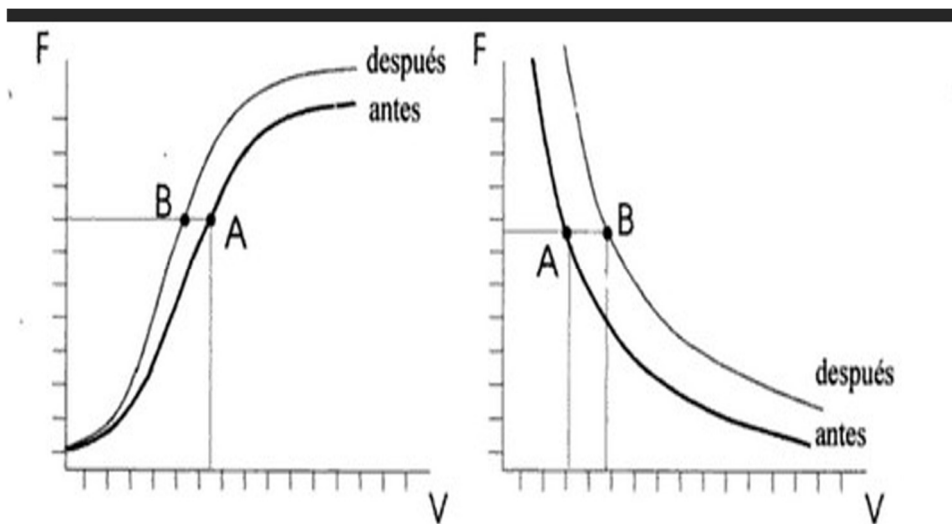
Figura 11. Tasa de desarrollo de la fuerza antes y después del entrenamiento



Fuente: Aagaard et al., 2002, p. 1319

Como vemos en la imagen, esta es la curva promedio de momento-tiempo para 15 sujetos antes y después de un entrenamiento de fuerza de 14 semanas. El comienzo de la contracción está marcado por el círculo negro en tiempo cero. Las líneas punteadas verticales indican intervalos de 30, 50, 100 y 200 ms relativos al comienzo de la activación. Se observan pendientes más pronunciadas luego del entrenamiento en los primeros 200 ms de la curva.

Figura 12. Comparación de curvas fuerza-tiempo y fuerza-velocidad



Fuente: adaptación propia con base en Gonzáles Badillo y Gorostiaga Ayestarán, 2002, p. 49.

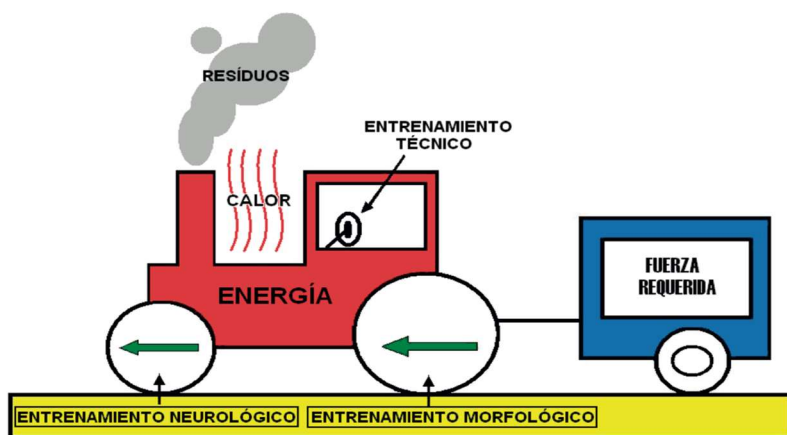
En la Figura 12, a la izquierda observamos la curva fuerza-tiempo (f-t), mientras que a la derecha está la curva fuerza-velocidad (f-v). Ambos son analizados antes y después de un entrenamiento con cargas pesadas. Los cambios producidos en la curva F-T se equiparan a

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

los observados en la curva F-V. En cuanto seamos capaces de generar más fuerza a la misma velocidad aplicada anteriormente, o cuanto más veloz alcancemos ante la misma resistencia, mejor será nuestra curva fuerza-velocidad.

Como vimos en la Figura 12, un correcto programa de entrenamiento tendrá como consiguiente resultado el desplazamiento de la curva fuerza-tiempo hacia arriba y la izquierda. Esto quiere decir que el deportista es capaz de ejercer más fuerza al mismo tiempo. Para ello, es fundamental la elección de las tareas que deberá realizar, pero nos centraremos en ello más adelante.

Figura 13. Interacción de los distintos entrenamientos:



Fuente: Vinuesa Lope y Vinuesa Lope, 2016, p. 313.

El eje delantero representa el entrenamiento neural; el eje trasero, el entrenamiento morfológico; el volante, el entrenamiento técnico; la zona del motor representa las energías necesarias y el calor desprendido; el humo que sale del tubo de escape señala los residuos que se producen con el entrenamiento; y, por último, el remolque se identifica como la fuerza requerida para desplazar la carga.

Como vemos, para que el tractor consiga arrastrar la carga en la dirección adecuada, todos los mecanismos (entrenamientos) tienen que actuar conjuntamente; y, según el tipo de recorrido, un eje «tirá» más que el otro e incluso uno se dejará arrastrar por el otro, pero siempre con las cuatro ruedas actuando en el tiempo, velocidad y dirección que el volante del entrenamiento técnico marque.

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

Con el entrenamiento por la vía morfológica, se consigue hipertrofia muscular mediante el incremento en número y tamaño de las miofibrillas activadas, acompañado de un aumento acorde del tejido conectivo y en la mayoría de los casos, con ampliación de la red vascular.

Debe señalarse que la fuerza de los músculos crece más deprisa que la de los tendones. Por tanto, hay que ser muy cautos y progresivos en los entrenamientos, para no lesionar dichas estructuras.

El crecimiento morfológico que se produce en el entrenamiento de fuerza, guarda íntima relación con los procesos de degradación y síntesis proteica, de manera que se produce la degradación durante los ejercicios y la síntesis durante el descanso.

Se puede afirmar que el incremento de la masa muscular depende, en gran parte, de la cantidad de proteínas degradadas en el entrenamiento y de la posterior supercompensación, que producirá una mayor síntesis proteica y engrosará, como consecuencia, el músculo.

Aunque los fisiólogos no se ponen exactamente de acuerdo en el lugar y en el cómo se producen las adaptaciones neurológicas, es indudable que, con los ejercicios del entrenamiento neural, se mejora el reclutamiento, la frecuenciación y la sincronización de las unidades motoras; y, por ende, la coordinación intra e intermuscular y se adaptan los reflejos musculares y tendinosos a nuevos niveles de intensidad.

### Mecanismos hormonales relacionados con el desarrollo de la fuerza

Hemos visto que el entrenamiento de fuerza se suele acompañar de un aumento del tamaño del músculo, de la fuerza isométrica máxima, de la potencia de los músculos entrenados, así como de adaptaciones del sistema nervioso. El origen de todas estas adaptaciones que se producen en el metabolismo del músculo y del nervio motor es muy complejo y desconocido. Sin embargo, se cree que los mecanismos hormonales forman una parte muy importante de ese complejo sistema que produce las adaptaciones al entrenamiento de fuerza (Kraemer, 1992). En este apartado, se analizarán las características más relevantes, las acciones y los mecanismos de adaptación de las hormonas relacionadas con el entrenamiento de fuerza.

La mayor parte de las hormonas son mensajeros químicos que se sintetizan y almacenan en unas estructuras corporales especiales, llamadas glándulas endocrinas, y en otras células, desde donde se liberan a la sangre para dirigirse a otro órgano, donde produce efectos específicos de activación o de regulación (Kraemer, 2000). Además de en las glándulas endocrinas, algunas hormonas pueden sintetizarse en otras glándulas llamadas autocrinas (la hormona se libera en el interior de la célula que la sintetizó) o en otras glándulas llamadas paracrinas (la hormona se libera en una célula vecina a la glándula en la que se sintetizó) (Kraemer, 2000).

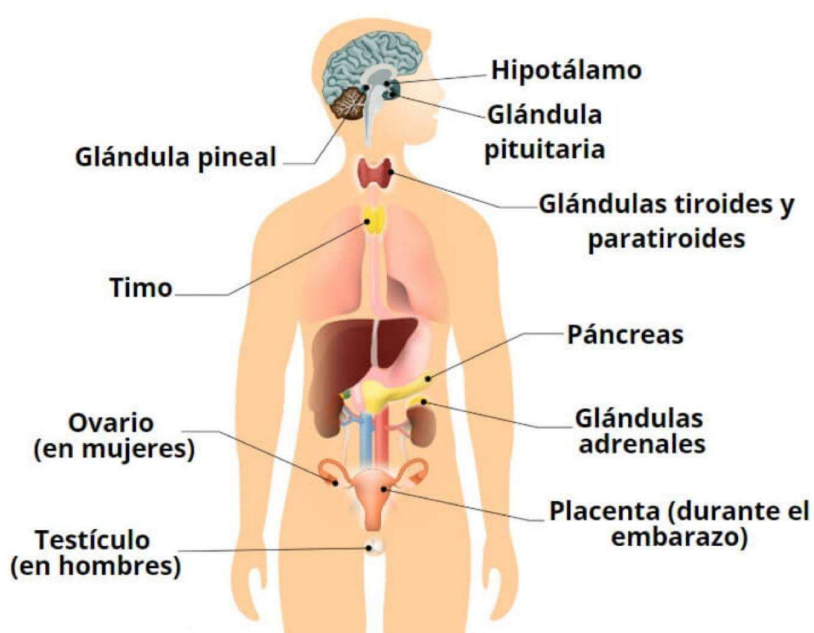
## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

Las principales glándulas endocrinas del cuerpo y las correspondientes hormonas que sintetizan, son las siguientes (entre paréntesis, las hormonas sintetizadas) como indica Kraemer (2000): la hipófisis anterior (hormona del crecimiento, hormona adrenocorticotropa, beta-endorfina, hormona estimulante del tiroides, hormona estimulante del folículo, hormona luteinizante, prolactina, y hormona estimulante del melanocito); la hipófisis posterior (hormona antidiurética, oxitocina); la glándula tiroides (tiroxina, calcitonina); la glándula paratiroides (hormona paratiroidea); el páncreas (insulina, glucagón); la corteza suprarrenal (glucocorticoides, mineralocorticoides); el hígado (IGF); la médula adrenal (epinefrina, norepinefrina, proencefalinas); los ovarios (estrógenos, progesterona); los testículos (testosterona); el corazón (péptidos atriales); y el riñón (la renina).

Las hormonas tienen múltiples funciones. Estas funciones incluyen la regulación de la reproducción, el mantenimiento del equilibrio del organismo, la regulación de la síntesis, almacenamiento, utilización y degradación de los sustratos energéticos, el crecimiento y el desarrollo. La complejidad y la flexibilidad que tiene el sistema hormonal le permite responder y modular al mismo tiempo distintas modificaciones fisiológicas (Kraemer, 2000).

De entre las funciones desarrolladas por las hormonas, la función más relacionada con el entrenamiento de fuerza es probablemente la síntesis y la degradación de las proteínas contráctiles del músculo, como la actina y miosina. Las hormonas que promueven la síntesis de proteínas se denominan anabólicas y las que promueven la degradación de proteínas se denominan catabólicas.

Figura 14. Principales glándulas endocrinas del cuerpo y otras glándulas que segregan hormonas



# ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

Fuente: [Imagen sin título sobre sistema endócrino], s. f., <https://www.lifeder.com/sistema-endocrino>

## Balance anabólico y catabólico

Las razones por las que se cree que los mecanismos hormonales forman una parte muy importante del sistema que produce las adaptaciones al entrenamiento de fuerza (Kraemer, 1992) son las siguientes:

- Algunas hormonas tienen efectos a nivel metabólico y celular muscular que son similares a los observados en el músculo sometido a un entrenamiento de fuerza. Por ejemplo, la insulina, la IGF, la testosterona y la hormona de crecimiento promueven la síntesis de proteínas y se les denomina hormonas anabólicas. Otras hormonas, como el cortisol y la progesterona, promueven la degradación de las proteínas.
- Durante diferentes tipos de sesiones de entrenamiento de fuerza, se produce un aumento de la concentración sanguínea de las diferentes hormonas anteriormente citadas. Este aumento suele ser interpretado como el reflejo de una mayor liberación y utilización de hormonas por los tejidos, debido al ejercicio muscular (Kraemer, 1992). Se cree que la liberación de hormonas durante la sesión de entrenamiento de fuerza se produce como respuesta a las señales que el cerebro y los músculos activados envían a las glándulas endocrinas desde el comienzo de la contracción muscular, para que liberen dichas hormonas (Kraemer, 2000). Esta liberación de hormonas permite que haya más posibilidades de interacción entre las hormonas y los tejidos en los que ejercen su acción (Kraemer, 2000). Además, suministran información al organismo referente al tipo e intensidad del estrés provocado por el ejercicio (por ejemplo: con la epinefrina), las demandas de energía (por ejemplo: la insulina) y las necesidades de recuperación. Al terminar la sesión de entrenamiento de fuerza, las hormonas modulan los procesos de reparación y de síntesis de los tejidos que han sido dañados durante la sesión de entrenamiento. Si el estrés no ha sido excesivo, el músculo reparará los tejidos dañados, modulado por la acción de las hormonas anabólicas (Kraemer, 2000). Por el contrario, si el estrés de la sesión de entrenamiento es excesivo, el músculo podrá presentar un estado más duradero de degradación de proteínas, modulado por la acción de las hormonas catabólicas, y un retraso en la aparición de los procesos de síntesis y reparación (Kraemer, 2000).
- Por último, distintos estudios parecen indicar que las concentraciones basales de hormonas anabolizantes, como la testosterona, permiten evaluar el balance hormonal anabólico-catabólico en el que se encuentra un sujeto después de un periodo de entrenamiento. Los resultados de estos estudios parecen indicar que la mejora de las distintas manifestaciones del desarrollo de la fuerza con el entrenamiento se suele acompañar de un balance hormonal anabólico (reflejado por un aumento de las tasas

## **ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL**

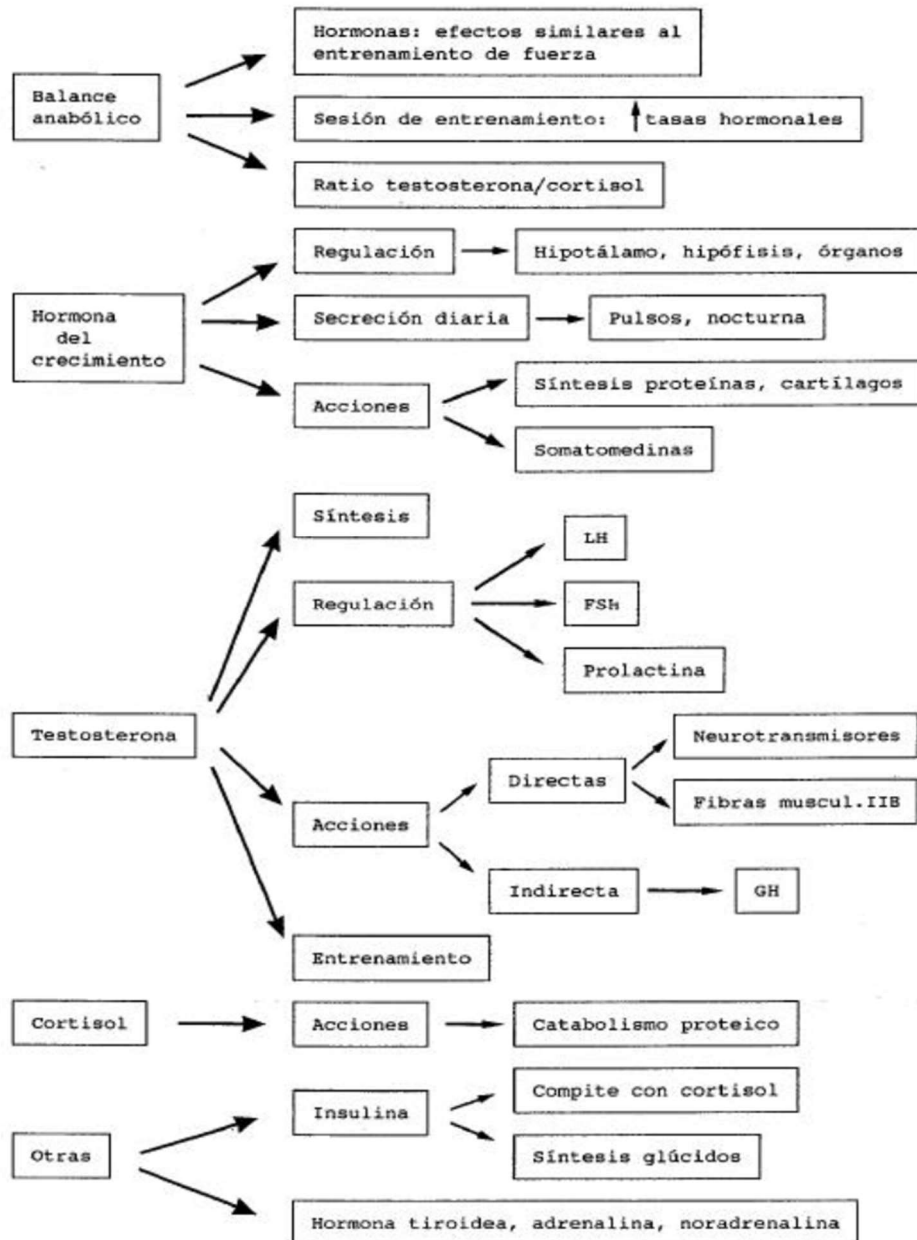
basales de hormonas anabolizantes, como la testosterona, y/o un descenso de las tasas de hormonas catabólicas, como el cortisol); y, a la inversa, un balance hormonal catabólico se suele acompañar de un deterioro de las distintas manifestaciones de la fuerza.

### **Hormona del crecimiento (GH)**

La hormona del crecimiento (GH), también llamada somatotropina, es una hormona polipeptídica secretada por la hipófisis anterior que tiene diferentes efectos sobre el organismo.

# ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

Figura 15. Balance Anabólico



Fuente: Cometti. (1988, p. 24).

## Acciones de la GH

La hormona de crecimiento (también conocida como somatotropina) es una hormona producida por la glándula pituitaria que estimula el crecimiento y la reproducción celular en humanos y otros animales vertebrados. Aunque se ha sugerido que la administración de

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

hormona de crecimiento podría mejorar el rendimiento deportivo en algunos deportes, incluyendo el fútbol, actualmente no está permitida por las autoridades deportivas y puede tener efectos secundarios graves en la salud.

En términos generales, la hormona de crecimiento es más importante en el desarrollo y crecimiento del cuerpo durante la infancia y la adolescencia; y su producción disminuye con la edad. En los deportes de equipo, como el fútbol, la altura y el tamaño pueden ser factores importantes para el rendimiento, especialmente en ciertas posiciones como los defensores centrales y los delanteros. Sin embargo, otros factores como la habilidad técnica, la velocidad, la agilidad y la resistencia también son importantes.

La hormona de crecimiento puede tener cierta influencia en el crecimiento y desarrollo físico de un jugador de fútbol, pero no es un factor determinante para el éxito en este deporte. El entrenamiento adecuado, la nutrición y la habilidad técnica son elementos clave para el éxito en el fútbol.

Las acciones principales son:

- Aumentar la síntesis de proteínas.
- Aumentar la captación de proteínas (aminoácidos) por parte del músculo.
- Reducir la degradación de proteínas.
- Estimular el crecimiento de los cartílagos.
- Estimular la síntesis de colágena.
- Aumentar la retención de nitrógeno, sodio, potasio y fósforo.

Como se puede observar, muchos de los efectos de la GH son compatibles con la hipertrofia que acompaña al entrenamiento de fuerza. En general, la magnitud de la producción de GH durante una sesión de entrenamiento de fuerza depende de la intensidad, volumen y del tiempo de reposo que transcurre entre las series de ejercicios.

Las sesiones de entrenamiento de fuerza que se acompañan de un mayor aumento de liberación de GH son aquellas que presentan concentraciones elevadas de lactato sanguíneo, es decir, los que utilizan cargas elevadas (comprendidas entre el 70 y el 80 % de 1RM), con muchas repeticiones (10 a 5 repeticiones), con varias series (por ejemplo: 3) y con poco tiempo de descanso entre series (por ejemplo: 1 minuto) (Kraemer, 2000). Por el contrario, las sesiones de entrenamiento de fuerza que se realizan con cargas ligeras; pocas repeticiones; pocas series; con 3 o más minutos de recuperación entre series; y con concentraciones

sanguíneas de lactato bajas, no se acompañan de un aumento de la concentración sanguínea de GH (Kraemer, 2000). Es lógico pensar que las sesiones de entrenamiento de fuerza que producen un mayor estímulo de la hipertrofia sean aquellas que se acompañan de una mayor liberación de GH.

### Hormona testosterona

La testosterona es una hormona sexual masculina que tiene un papel importante en el desarrollo muscular y la fuerza. A continuación, se presentan algunas investigaciones relevantes sobre el efecto de la testosterona en la fuerza.

La testosterona es la principal hormona androgénica. En el hombre, el 95 % de la producción total de testosterona tiene lugar en las células de Leydig de los testículos (Braunstein, 1991), que producen aproximadamente 5 a 10 mg/día (Kuoppasalmi, 1985). El resto de la testosterona (5 %) se produce en la corteza suprarrenal y en el cerebro (Hu, 1987). La mujer produce de 10 a 20 veces menos testosterona que el hombre, siendo su origen la corteza suprarrenal, el cerebro y los ovarios (Caquet, 1987).

La testosterona se sintetiza a partir del colesterol. Una vez sintetizada, pasa rápidamente a la circulación sanguínea (Negro-Vilar, 1988). En la circulación, la testosterona se encuentra en el plasma, la mayor parte (97 %) ligada a proteínas (albúmina y SHBG). El 3 % restante se encuentra en el plasma en forma libre, que es la forma biológicamente activa (Rommerts, 1990). Las proteínas ligadas en la sangre a la testosterona (albúmina y SHBG) sirven para transportar y almacenar testosterona en la sangre que puede convertirse en su forma libre y actuar rápidamente en los tejidos (Kraemer, 2000). La concentración media de testosterona total en suero en un hombre sano adulto puede oscilar entre 10.4 y 38.2 nmoles.l<sup>-1</sup>, mientras que la concentración de testosterona libre en suero es de 50 a 130 pmol.l<sup>-1</sup> (Veldhuis, 1987; Braunstein, 1991;).

La concentración sanguínea de testosterona no permanece constante en el hombre durante el día, sino que varía durante la jornada, y tiene forma pulsátil (Veldhuis, 1987). En condiciones normales, el valor más elevado se suele observar durante la madrugada (6 de la mañana) y el valor más bajo suele ocurrir al anochecer (Veldhuis, 1987).

La testosterona estimula, por una parte, los factores nerviosos, (estimulando el aumento de la acción de los receptores de los neurotransmisores y del número de transmisores (Kraemer, 2000) y, por otra parte, las fibras musculares tipo II, (transformándolas hacia fibras de tipo IIB, más fuertes, menos resistentes y con mayor capacidad glucolítica) (Bleisch, 1984; Kelly, 1985). La testosterona estimula la liberación de GH y de somatomedina que, como hemos visto anteriormente, estimulaban la síntesis de proteínas y los procesos de reparación. Por consiguiente, el gran efecto sobre el aumento de la síntesis proteica por parte de la testosterona no solo es debido a su acción directa, sino que, sobre todo, se debe a que potencia las acciones de la GH y la somatomedina.

## Hormona cortisol

Los jugadores de fútbol pueden experimentar altos niveles de estrés durante un partido, lo que puede aumentar los niveles de cortisol en su cuerpo. El estrés puede provenir de diversas fuentes, como la presión de la competencia, la exigencia física del juego y la necesidad de tomar decisiones rápidas y precisas.

Aunque el cortisol es una hormona importante para ayudar al cuerpo a manejar el estrés, los altos niveles de cortisol crónicos pueden tener efectos negativos en la salud. Los estudios han demostrado que los altos niveles de cortisol pueden estar asociados con una mayor susceptibilidad a enfermedades, una disminución de la función cognitiva y un aumento del riesgo de depresión. Por lo tanto, es importante que los jugadores de fútbol aprendan a manejar su estrés durante los partidos y durante la preparación para estos, de modo que los niveles de cortisol no se mantengan elevados de manera crónica. Esto puede incluir técnicas de relajación, meditación y una buena gestión del tiempo y la planificación para reducir el estrés y la ansiedad.

El cortisol, la principal hormona glucocorticoide, se sintetiza en la corteza suprarrenal, componente de la glándula suprarrenal, en una cantidad cercana a 10-20 mg diarios (Kuoppasalmi, 1985). Una vez sintetizado, el cortisol pasa a la circulación sanguínea. En la sangre, el cortisol se encuentra en el plasma, donde la mayor parte (más del 60 %) está unido a proteínas (SHBG y albúmina).

En el caso de los futbolistas, el cortisol puede ser liberado en situaciones de esfuerzo físico extremo, como durante un partido o entrenamiento intenso. Aunque el cortisol puede ser beneficioso en pequeñas cantidades, una liberación prolongada o excesiva de esta hormona puede tener efectos negativos en la salud y el rendimiento del futbolista. Por ejemplo, altos niveles de cortisol pueden causar fatiga, disminución de la fuerza muscular y un mayor riesgo de lesiones.

Además, el cortisol también puede afectar negativamente el estado de ánimo y la concentración del futbolista, lo que puede impactar en su rendimiento durante el partido. Por lo tanto, es importante que los futbolistas aprendan a manejar el estrés y evitar la liberación excesiva de cortisol para maximizar su rendimiento en el campo.

Una buena forma de reducir los niveles de cortisol es a través de técnicas de relajación y meditación, como el yoga o la respiración profunda. También, es importante asegurarse de descansar lo suficiente y tener una buena alimentación para ayudar a mantener los niveles de cortisol bajo control.

Como sucede con la testosterona, la concentración sanguínea de cortisol no permanece constante durante el día, sino que varía durante la jornada y tiene forma pulsátil. El valor más elevado suele observarse por la mañana y es bastante reproducible, si se toma la muestra

sanguínea a la misma hora del día. La concentración media de cortisol en sangre en un hombre o mujer adulto sanos es de 275-550 nanomoles/litro a las 8 de la mañana y de unos 275 nanomoles/litro a las 8 de la tarde. La vida media del cortisol suele ser de 80 a 100 minutos, por lo que, como veíamos en el caso de la testosterona, se tiene que ir sintetizando continuamente para mantener sus niveles en la sangre (Kuoppasalmi, 1985).

La magnitud de la producción de cortisol durante una sesión de entrenamiento de fuerza es bastante paralela a la que se observa con la GH y, por lo tanto, depende de la intensidad, volumen y del tiempo de reposo que transcurre entre las series de ejercicios (Kraemer, 2000). Es decir, que las sesiones de entrenamiento de fuerza que se acompañan de un mayor aumento de la liberación de cortisol son aquellas que presentan concentraciones elevadas de lactato sanguíneo, esto es, las que utilizan cargas elevadas (comprendidas entre el 70 % y el 80 % de 1RM), con muchas repeticiones (10 a 5 repeticiones), con varias series (por ejemplo: 3) y con poco tiempo de descanso entre series (por ejemplo: 1 minuto) (Kraemer, 1992). Por el contrario, las sesiones de entrenamiento de fuerza que se realizan con cargas ligeras, pocas repeticiones, pocas series, con 3 o más minutos de recuperación entre series, y con concentraciones sanguíneas de lactato bajas, no se acompañan de un aumento de la concentración sanguínea de cortisol.

### Otras hormonas

La insulina es una hormona secretada por el páncreas. Aunque dicha hormona es más conocida por la importancia que tiene en el metabolismo de los glúcidos y en algunas enfermedades como la diabetes, la insulina también juega un importante papel en el metabolismo de las proteínas. En efecto, la insulina parece que inhibe la utilización (catabolismo) de las proteínas. Parece que su acción más importante consiste en ocupar los receptores del cortisol de la membrana de la célula muscular e impedir la acción catabólica proteica del cortisol, sobre esos receptores.

Las catecolaminas (como la epinefrina, la norepinefrina y la dopamina) son hormonas que se sintetizan en la médula de la glándula suprarrenal y se estimulan rápidamente desde el cerebro cuando se produce una situación de stress. Las catecolaminas tienen una influencia significativa en la fuerza muscular porque (Kraemer, 2000):

- 1) estimulan al sistema nervioso central para que produzca más fuerza a más velocidad, aumentan la disponibilidad de sustratos musculares y el flujo sanguíneo, y estimulan la producción de otras hormonas, como la testosterona (Kraemer, 2000); y
- 2) durante las sesiones de entrenamiento de fuerza que se acompañan de un aumento significativo de las concentraciones sanguíneas de GH y de cortisol, también se observa un aumento significativo de la concentración sanguínea de catecolaminas.

Existen otras hormonas como la hormona tiroidea o las beta-endorfinas que juegan probablemente un importante papel a la hora de modular e impulsar las adaptaciones del organismo al entrenamiento de fuerza. Sin embargo, han sido poco estudiadas porque parece que su papel es mucho menos importante que el de la GH, insulina, testosterona o cortisol.

## Referencias

- AMICI Formación en Fitness y Salud. (s.f.). Fundamentos biológicos sobre el desarrollo y la manifestación de la fuerza. <https://www.amicivirtual.com.ar/assets/files/musculacion/5fundamentos%20biologicos%20sobre%20el%20desarrollo%20de%20la%20fuerza.pdf>
- Balsalobre Fernández, C. y Jiménez Reyes, P. (2014). Entrenamiento de Fuerza: Nuevas Perspectivas Metodológicas. Editorial Carlos Balsalobre-Fernández.
- Billeter. (1992). Muscular basis of strength. Blackwell Scientific Publication.
- Bleisch, W., Luine, V., Nottebohm, F. (1984). *Modification of synapses in androgen-sensitive muscle. Hormonal regulation of acetylcholine receptor number in the songbird syrinx.* <https://www.jneurosci.org/content/jneuro/4/3/786.full.pdf>
- Booth, J., Marino, F., Hill, C. y Gwinn, T. (1999). Energy cost of rock climbing in elite performers. <https://bjsm.bmj.com/content/33/1/14>
- Braunstein. (1991). Basical and Clinical Endocrinology.
- Caquet, R. (1987). *Examens de laboratoire en pratique medical courante.* Elsevier Health Sciences.
- Cometti, G. (1988). *Mecanismos hormonales de la fuerza.* Paidotribo
- Fleck, S. y Kraemer, W. (2014). Designing Resistance training Programs. Human Kinetics
- Gibala, M. J., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A. y Elorriaga, A. (1995). Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7759443/>
- González Badilla, J. J. y Gorostiaga Ayestarán, E. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza.* INDE.

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

- González Badilla. J. J. y Gorostiaga Ayestarán. E. (2003). Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza [Apunte entregado a los alumnos]. <https://docplayer.es/21484448-Master-universitario-en-alto-rendimiento-deportivo-primer-curso-rama-a-modulo-2-3-profesores-juan-jose-gonzalez-badillo-esteban-gorostiaga-ayestaran.html>
- Hu, Z. Y., Borreau, E., Jung-Testas, I., Robel, P. y Baulieu, E. E. (1987). Neurosteroids: Oligodendrocyte mitochondria convert cholesterol to pregnenolone. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3479785/>
- Kelly, A., Lyons, G., Gambki, B. y Rubinstein, N. (1985). *Influences of testosterone on contractile proteins of the guinea pig temporalis muscle.* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4003155/>
- Komi, P. V. (1992). *Stretch-Shortening Cycle.* In: *Strength and power in sport.* Paavo V. Komi.
- Kraemer, R. R., Kilgore, J. L., Kraemer, G. R. y Castracane, V. D. (1992). *Growth hormone, IGF-1 and testosterone responses to resistive exercise.* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1470017/>
- Kraemer, W. J. (2000). Influence of resistance training volume and periodization. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03635465000280050201>
- Kuoppasalmi. (1985). *Interaction between catabolic and anabolic steroid hormones in muscular exercise.*
- Knutgen y Kraemer (1987). Vol. 1 (1). Terminology and Measurement in Exercise Performance.
- López Chicharro, J. y López Mojares, M. (2006). Fisiología del Ejercicio. Ed. Médica Panamericana.
- MacDougall, J. D. (1992). *Hypertrophy or Hyperplasia in: Strength and power in sport.* Paavo V. Komi.
- Maffiuletti et al. (2016). Rate of Force development: Physiological and methodological considerations.
- Negro-Vilar. (1988). Peptide hormones: effects and mechanisms of action.
- Phillips. (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistive exercise in humans.
- Phillips. (1999). Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover.

## ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL FÚTBOL PROFESIONAL

- Rivas Borbón, M. y Sánchez Alvarado, E. (2012). Fútbol. Entrenamiento actual de la condición física de un futbolista. *MHSalud* 10(2), 1-131.
- Rommerts, F. F. G. (1990). Testosterone: an overview of biosynthesis, transport, metabolism and non-genomic actions. Cambridge University Press.
- Seirul-lo. (2017). *El entrenamiento en los deportes de Equipo*. Mastercede.
- Tesch. (1988). Molecular analysis Of Hodgkin's Disease – Derived sell lines.
- Veldhuis, M. J. W. y Admiraal, W. (1987). Influence of phosphate depletion on the growth and colony formation of phaeocystis pouchetii. *Marine Biology* 95, 47–54.
- Verkhoshansky. (2006). *Todo sobre el método pliométrico*. Paidotribo.
- Vinuesa Lope, M. y Vinuesa Jiménez, I. (2016). *Conceptos y método para el entrenamiento físico*. Ministerio de Defensa de España. [https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/c/o/conceptos-y-m\\_todos-para-el-entrenamiento-f\\_sico.pdf](https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/c/o/conceptos-y-m_todos-para-el-entrenamiento-f_sico.pdf)
- Wilmore, J. y Costill, D. (2010). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Editorial Paidotribo.
- Zatsiorsky, V. y Kraemer, W. (2006). *Science and practice of strength training*. Human Kinetics.