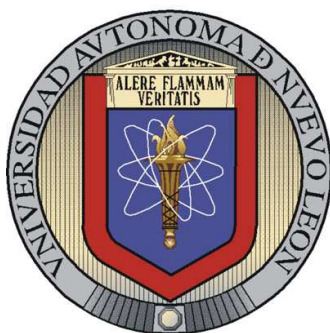


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



NIVELES DE FUERZA MÁXIMA Y EXPLOSIVA EN JUGADORES  
DE FÚTBOL DE TERCERA DIVISIÓN PROFESIONAL

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DEL EJERCICIO CON ESPECIALIDAD EN  
DEPORTE DE ALTO RENDIMIENTO

PRESENTA:

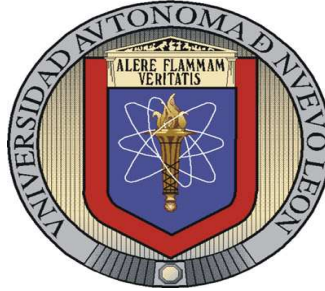
LIC. JESÚS SALDIERNA REYNA

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L. FEBRERO 2012

Jesús Saldierna Reyna

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



NIVELES DE FUERZA MÁXIMA Y EXPLOSIVA EN JUGADORES  
DE FÚTBOL DE TERCERA DIVISIÓN PROFESIONAL

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIAS DEL EJERCICIO CON ESPECIALIDAD EN  
DEPORTE DE ALTO RENDIMIENTO

PRESENTA:

LIC. JESÚS SALDIERNA REYNA

DIRECTOR PRINCIPAL

DR. LUIS ENRIQUE CARRANZA GARCÍA

CO-DIRECTORES

M.C. RICARDO NAVARRO OROCIO

DR. FERNANDO A. OCHOA AHMED

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N.L. FEBRERO 2012



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA



Los abajo firmantes en calidad de directores de tesis, subdirectora de posgrado, así como miembros del Comité de Tesis de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Organización Deportiva, avalamos que la tesis “Niveles de fuerza máxima y explosiva en jugadores de fútbol de tercera división profesional” elaborada por el Sr. Jesús Saldierna Reyna, cumple con los requisitos académicos, científicos y protocolarios para que sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias del Ejercicio con Acentuación en: Deporte de Alto Rendimiento.

**COMITÉ DE TESIS**

---

**Dr. Luis Enrique Carranza García**  
Director

---

**M.C. Ricardo Navarro Orcio**  
Co-Director

---

**Dr. Fernando A. Ochoa Ahmed**  
Co-Director

---

**Dra. Jeanette M. López Walle**  
Subdirectora de Posgrado de la FOD

## PREFACIO

El estudio de los factores que inciden directamente en el resultado de la competición deportiva ha sido de interés desde que se creó la competición. Al respecto hay referencias que datan desde hace aproximadamente 5600 años de antigüedad en la cual los Chinos ya realizaban un entrenamiento formal de la fuerza. Tradicionalmente el término capacidades físicas (englobado dentro de lo que se conoce como Preparación Física en los diferentes deportes) ha sido utilizado como el conjunto de capacidades orgánicas que condicionan o inciden en la mejora del rendimiento deportivo las cuales han sido tradicionalmente clasificadas en cuatro subcomponentes claramente diferenciados: fuerza, resistencia, velocidad, flexibilidad.

Sin embargo, para algunos autores esta clasificación no es coherente con la realidad del movimiento humano y menos aún con la especificidad de la práctica deportiva. Ya que argumentan que la velocidad no implica más que una aplicación explosiva o rápida de la fuerza, y la resistencia más que una aplicación continuada de la fuerza, sin embargo la resistencia cobra una diferenciación importante respecto de la fuerza por la implicación y conocimiento de las distintas vías metabólicas y de los conceptos fisiológicos inherentes. La flexibilidad la consideran como una capacidad aislada aunque siempre dentro de la integración de una aplicación de fuerza. Incluso a la flexibilidad se le considera sobrevalorada dentro de la clasificación de las capacidades físicas tradicionales debido a que son muy pocas las especialidades deportivas que realmente exigen un desarrollo específico de esta cualidad dentro del marco de sus factores de rendimiento, y que para la mayoría de los deportes, la flexibilidad se convierte en un medio más de

recuperación y de prevención de lesiones ante la continuas contracciones agonísticas.

Uno de los deportes que más me apasiona es el fútbol, esto aunado a lo arriba mencionado, en este trabajo nos hemos dado a la tarea de revisar en la literatura científica cual es el gesto motriz más específico que incide directamente en el resultado de este deporte. Encontrando que las acciones a máxima intensidad (p.e. sprints, saltos), son las que definen el rumbo de un partido, por lo tanto aquellos jugadores que puedan aplicar mucha fuerza en poco tiempo serán los que mejor rendimiento en acciones concretas manifiesten en la cancha, al menos desde la perspectiva de la manifestación de fuerza, más sin embargo no podemos dejar de mencionar que además de manifestar mucha fuerza en poco tiempo el jugador a lo largo del partido tendrá que manifestar repetidas veces esta aplicación de fuerza dando pie a la necesidad de la resistencia a la fuerza explosiva.

Una vez que determinamos que las acciones a alta intensidad son fundamentales en el fútbol, fue objeto de esta investigación el establecer datos de referencia de esta manifestación de fuerza (fuerza explosiva) mediante un test de 30 m línea recta que puedan servir de base para otros equipos de similar categoría, así como también intentamos conocer cual es la relación de este test de 30 m línea recta con la manifestación de la fuerza máxima determinada mediante 1RM, ya que la literatura científica manifiesta que aquellos sujetos con mayor valor de 1RM correlaciona con un menor tiempo en la ejecución de un determinado sprint. Por lo tanto, otro de nuestros objetivos fue establecer que relación tiene un test de 30 m línea recta, con un test de 1RM en jugadores jóvenes de fútbol profesional, ya que puede resultar interesante de que cumplirse esta relación (a mayor 1RM menor tiempo en un test de 30 m sprint) resaltará la importancia del trabajo y desarrollo de la fuerza máxima para poder mejorar la velocidad en los sprint o saltos durante los partidos de fútbol en este tipo de jugadores.

Después de más de 5 años como graduado de la Facultad de Organización Deportiva, y la inquietud por saber algo más de mi profesión me di a la tarea de informarme acerca de las opciones que tenía para seguir formándome, como toda mi vida me he dedicado a formar niños y jóvenes en el fútbol me interesó la oferta del posgrado de la Facultad de Organización Deportiva ya que ofrecía la especialidad de Deporte de Alto Rendimiento y me venía como anillo al dedo para lograr lo que anhelaba: saber algo más y ofrecer mejores entrenamientos a mis alumnos. Pero no fue fácil ya que con tantos años alejado de las aulas y el poco tiempo para dedicarme a ello significó importantes desveladas y mucho estrés, que hoy puedo decir con orgullo y tal como firmó su Tesis Doctoral el Dr. Diego Moliner Urdiales, compañero de investigación de mi director de Tesis: “NADA DE ESTO FUE UN ERROR”.

Haciendo una semejanza de lo que he tenido que pasar durante esta intensa experiencia, es precisamente a mi esposa Blanca y a mi hijo Emiliano a quienes quiero dedicar este trabajo por acompañarme y apoyarme en todo momento para culminar esta meta. Agradezco a mi padres, que con tanto esfuerzo me brindaron los medios necesarios para estudiar, el Sr. Félix y la Sra. Gloria (finada) que aunque no ya no esta conmigo yo se que aun me sigue guiando y a mis hermanos Guadalupe, Cristina, Gloria, Félix y Ana Julia por su apoyo moral, que sin duda fue fundamental para la culminación de este proyecto.

También agradezco a los directores de este trabajo, al Dr. Luis Enrique Carranza García por sus valiosas aportaciones y por su gran amistad y al M.C. Ricardo Navarro Orocio por sus importantes aportaciones, por su gran calidad humana y por ofrecerme siempre su amistad incondicional, así como al Dr. Fernando Ochoa por su valiosas aportaciones para enriquecer este trabajo, gracias a ellos, que me han apoyado y creído en mí en todo momento para presentar hoy este trabajo.

## Jesús Saldierna Reyna

---

Aunque se tuvo algunas dificultades para encontrar un equipo que estuviera dispuesto a modificar sus sesiones de entrenamiento para realizar el estudio, afortunadamente en el club de fútbol Tigres de la UANL de tercera división a través de su preparador físico Mario Dominguez y al entrenador Andrés Carranza, pudimos conseguir una muestra adecuada para la investigación, también mencionar que encontramos en los sujetos estudiados una excelente respuesta humana y anécdotas que nunca olvidaré, razón por la cual agradezco de manera especial a toda la plantilla de jugadores y entrenadores que tan desinteresadamente participaron en este trabajo.

## ÍNDICE

1. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA.....	1
1.1. Concepto de fuerza.....	4
1.2. Medición de la fuerza manifestada.....	8
1.3. Características de la manifestación de la fuerza en el deporte.....	10
1.3.1. Pico máximo de fuerza	
1.3.2. Curva fuerza-tiempo	
1.4. Concepto de velocidad.....	15
1.5. Factores biológicos de la fuerza.....	17
1.5.1. Factores estructurales del desarrollo de la fuerza	
1.5.2. Clasificación de las fibras musculares	
1.5.3. Factores nerviosos del desarrollo de la fuerza	
1.5.4. Factores que inciden en el Ciclo estiramiento-acortamiento	
1.5.5. Mecanismos hormonales relacionados con la fuerza	
1.6. Componentes del entrenamiento de la fuerza.....	25
1.7. Metodología del entrenamiento de la fuerza.....	29
1.7.1 Tipos de entrenamiento para las distintas manifestaciones de la fuerza	
1.8. Evaluación de la fuerza.....	38
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	47
3. VARIABLES DE ESTUDIO.....	48
4. INVESTIGACIÓN REALIZADA PARA TESTAR LA HIPÓTESIS.....	49
4.1. Resumen y abstract.....	49
4.2. Introducción.....	50



4.3. Métodos.....	51
4.4. Resultados.....	54
4.5. Discusión.....	57
5. LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTUROS ESTUDIOS.....	61
6. CONCLUSIÓN.....	62
7. REFERENCIAS.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Manifestación de fuerza (F) en el tiempo (t).....	10
Figura 2. Valores de Fuerza Dinámica Máxima Relativa.....	12
Figura 3. Esquema del protocolo del test de 30 m en línea recta.....	45
Figura 4. Protocolo para determinar 1RM de forma indirecta.....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Correlación de 30 m sprint y 1RM en sentadilla paralela al suelo.....	55
Gráfico 2. Correlación de 30 m sprint y índice 1RM/PC.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis en función de si habían trabajado o no con sobrecargas durante su vida deportiva anterior a este estudio.....	56
Tabla 2. Comparativa entre jugadores por debajo y por arriba de la media del Índice de 1RM/PC.....	57

## 1. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

El rendimiento en el fútbol depende de una cantidad incontable de factores: técnicos, tácticos, físicos y mentales. En relación a los factores físicos del fútbol los académicos tradicionalmente los han clasificado en dos principales factores de rendimiento: la resistencia y la fuerza. Sin duda alguna el tema de la resistencia es de gran importancia y por ende de preocupación por los expertos, ya que en la literatura científica, ha sido ampliamente reportado que los jugadores de campo de máximo nivel recorren distancias de entre 8 -12 km durante un partido y cerca de 4 km los porteros (Stølen, Chamari, Castagna & Wisløff, 2005), a su vez los jugadores de campo que mayor distancia recorren son los medio campistas, y que los profesionales recorren más distancia durante un partido que los no profesionales, de aquí que los estudios enfocados en determinar los aspectos relevantes del fútbol han sido centrados en conocer la intensidad realizada en un partido, llegando a la conclusión de que el fútbol es principalmente dependiente del metabolismo aeróbico y que durante 90 minutos de duración de un partido el jugador de término medio compite a una intensidad cercana al umbral anaeróbico (la mayor intensidad de trabajo posible donde el lactato que se produce es igual al que se elimina, el cual está entre el 80% y el 90% de la frecuencia cardiaca máxima de los futbolistas) (Stølen et al., 2005), por ello debido a que el umbral anaeróbico está a un porcentaje por debajo del  $VO_{2max}$  la mayoría de los académicos, preparadores físicos, directores técnicos y científicos estén de acuerdo en enfocar el entrenamiento en mejorar los niveles de  $VO_{2max}$ .

Por otra parte debido a que no existen protocolos estandarizados para medir la fuerza en futbolistas se dificulta el comparar los resultados entre

diferentes estudios (Stølen et al., 2005), los test más comunes utilizan máquinas isocinéticas (Arnason et al., 2004; Casajús, 2001), que para Stølen et al. (2005) no reflejan los movimientos de los miembros involucrados en el fútbol. Para Wisløff, Helgerud y Hoff (1998), los test que emplean pesos libres (barras olímpicas) reflejan la fuerza funcional del jugador de fútbol más adecuadamente. Además de que estos son más fácil de utilizar y más baratos que las máquinas isocinéticas, por lo cual cualquier club puede disponer de ellos.

El mejorar la fuerza incide en la mejora de la técnica y la coordinación (Almåsbaek & Hoff, 1996) intra e intermuscular. El sistema neuromuscular también reacciona sensiblemente en términos de adaptación, a un estímulo de contracción lento o rápido (Schmidtbleicher, 1992). De hecho la velocidad de ejecución (que es considerada como una forma de expresión de la intensidad (González-Badillo, 1991)), constituye una forma de intensificación del entrenamiento, además el mover una misma resistencia a una mayor velocidad incrementa la intensidad del ejercicio, lo que produce una mayor potencia y un mayor índice de realización de trabajo, por lo que repercutiría en el sistema neuromuscular favoreciendo la frecuencia de estimulación, cambios en el reclutamiento y sincronización de las fibras musculares, que tendría una clara incidencia en la estructura del músculo, estimulando e hipertrofiando selectivamente las fibras de contracción rápida (FT), fundamentales en la manifestación de la fuerza explosiva (fuerza rápida) (González-Badillo, 1991).

Actualmente es aceptado que existe una relación entre la fuerza máxima y la fuerza explosiva en jugadores de fútbol de alto nivel (Requena et al., 2009; Wisløff, Castagna, Helgerud, Jones, & Hoff, 2004) y de jugadores de Handball (Marques, van den Tillaar, Vescovi, & González-Badillo, 2007). La fuerza desde el punto de vista mecánico es toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo. Desde el punto de vista fisiológico es la capacidad de producir tensión que tiene el músculo al activarse. La medición de

la fuerza (se expresa en Newtons (N)) se puede hacer en acciones de acortamiento (concéntricas), estiramiento (excéntricas), estáticas (isométricas), o en ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA). La fuerza isométrica o estática máxima es cuando no hay movimiento, es la máxima fuerza voluntaria que se aplica cuando la resistencia es insuperable, es medida con plataformas de fuerza o dinamómetros. La fuerza dinámica máxima es aquella cuando la resistencia (pesas, balones medicinales, peso corporal, etc.) que se utiliza para medirla se supera, pero solo se pueda hacer una vez (1RM), se suele medir con pesos libres (sin instrumentos adicionales de medida), plataformas de fuerza, sistema isocontrol y máquinas isocinéticas (González-Badillo & Gorostiaga, 2002). La fuerza explosiva (FE) es el resultado de la relación entre la máxima fuerza producida (manifestada o aplicada) y el tiempo necesario para manifestarla, ante cualquier resistencia (estática o dinámica). Por tanto la FE (en inglés rate of force development (RFD)) es la producción de fuerza por unidad de tiempo (expresada en  $N \cdot s^{-1}$ ) y puede ser medida casi en cualquier gesto específico de competición como en carrera, salto, lanzamientos, golpes, etc.

En el fútbol como en otros deportes una de las formas más prácticas de determinar la fuerza máxima dinámica es realizando un tradicional test de 1RM utilizando solamente pesos libres como barras y discos olímpicos en ejercicios de sentadilla o prensa de pecho (Requena et al., 2009; Wisløff et al. 1998; Wisløff et al., 2004; Wong & Wong, 2009), este test es sencillo y barato, sin embargo solo puede proporcionar información de fuerza expresadas en kilogramos desplazados en sentido vertical, este test es llamado como una repetición máxima (1RM). Teniendo en cuenta que pocas veces y muy pocos entrenadores o preparadores físicos pueden disponer de máquinas como plataformas de fuerza, sistema isocontrol, el test de 1RM puede ser útil para la programación del entrenamiento y su control.

La fuerza explosiva se suele valorar en los gestos deportivos que más se asemejen a la competición, así a un corredor es más recomendable medirlo cuando corre, un lanzador cuando lanza, etc. En el fútbol los test que suelen ser utilizados para medir la FE son los saltos (SJ, CMJ) (Cronin & Hansen, 2005; Wong & Wong, 2009) y los sprints, ya que ha sido reportado que el 96% de los sprint son menores a 30 m (Valquer, Barros & Sant'Anna, 1998) las distancias de los test de sprint son entre 10-30 m (Wisløff et al., 2004; Wong & Wong, 2009). Los saltos se miden con plataformas de contacto, estas miden el tiempo de vuelo y el tiempo de contacto, los sprint se miden a través de células fotoeléctricas (Stølen et al., 2005) que registran el tiempo en recorrer la distancia preestablecida.

### 1.1. Concepto de fuerza

La fuerza, desde el punto de vista de la mecánica, es toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo. La fuerza también es la causa capaz de deformar los cuerpos, bien por presión (compresión o intento de unir las moléculas de un cuerpo) o por estiramiento o tensión (intento de separar las moléculas de un cuerpo) (González-Badillo & Gorostiaga, 2002). En pocas palabras, la fuerza es empujar algo o tirar de algo (Mc Ginnes, 1999 citado en González-Badillo & Gorostiaga, 2002), o más explícitamente, aquello que empuja o tira por medio un contacto mecánico directo o por la acción de la gravedad y que altera o varía el movimiento de un objeto (Luttgens & Wells, 1985). En definitiva, la fuerza sería la medida del resultado de la interacción de dos cuerpos. Viene definida básicamente como el producto de una masa por una aceleración ( $F=m*a$ ), y su unidad de medida internacional es el Newton. Por tanto, en el sentido que se define la fuerza en la mecánica, la fuerza muscular, como causa, sería la capacidad de la musculatura para deformar un cuerpo o para modificar la aceleración del mismo: iniciar o detener el movimiento de un cuerpo, aumentar o reducir su velocidad o hacerle cambiar de dirección (González-Badillo & Gorostiaga, 2002).

Desde el punto de vista fisiológico, la fuerza, se entiende como la capacidad de producir tensión que tiene el músculo al activarse. Teóricamente, esta capacidad está en relación con una serie de factores, como son: el número de puentes cruzados de miosina que pueden interactuar con los filamentos de actina (Goldspink, 1992), el número de sarcómeros en paralelo, la tensión específica o fuerza que una fibra muscular puede ejercer por unidad de sección transversal ( $\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) (Semmler y Enoka, 2000), la longitud de la fibra y del músculo, el tipo de fibra y los factores facilitadores e inhibidores de la activación muscular. Otras cuestiones, relacionadas con las anteriores, como el ángulo articular donde se genera la tensión muscular, el tipo de activación y la velocidad del movimiento son también determinantes en la producción de tensión en el músculo (Harman, 1993).

La definición de fuerza desde el punto de vista de la mecánica se centra en el efecto externo, generalmente observable, producido por la acción muscular, la atracción de la gravedad o la inercia de un cuerpo. Sin embargo desde el punto de vista fisiológico la fuerza es la tensión generada por el músculo es algo interno, que puede tener relación con un objeto (resistencia) externo o no. Tanto si la tensión es generada por la oposición de una resistencia externa [acción de la gravedad (peso) o inercia de los cuerpos en movimiento] como si se produce por la tensión simultánea de los músculos agonistas y antagonistas, en el músculo se produce una deformación. La magnitud de la deformación es un indicador del estrés producido por las fuerzas que originan dicha deformación (Mc Giness, 1999 citado en González-Badillo & Gorostiaga, 2002). Por otra parte, tensión es el estado de un cuerpo estirado por la acción de las fuerzas que lo solicitan, así como la fuerza que impide que se separen las diversas porciones de un cuerpo que se halla en ese estado. En nuestro caso las fuerzas de tensión son las que tiran internamente de las estructuras que están bajo tensión. Por tanto, la tensión muscular se puede definir como el grado de estrés mecánico producido en el eje longitudinal del

músculo cuando las fuerzas internas tienden a estirar o separar las moléculas que constituyen las estructuras musculares y tendinosas.

La tensión se produce durante la activación del músculo (generalmente se utiliza el término, quizás menos apropiado, de "contracción" en lugar de "activación"), la cual tiene lugar cuando el músculo recibe una impulso eléctrico y se libera la energía necesaria, lo que dará lugar a la unión y desplazamiento de los filamentos de actina y miosina en el sentido de acortamiento sarcomérico y elongación tendinosa. La activación siempre tiende a acortar los sarcómeros, tanto si el músculo se está acortando (activación concéntrica) como elongando (activación excéntrica). Por tanto, el término "activación" puede ser definido como el estado del músculo cuando es generada la tensión a través de algunos filamentos de actina y miosina (Komi, 1986). La mayor o menor rapidez en la activación depende de la tensión producida en la unidad de tiempo, sin tener en cuenta la velocidad del movimiento e incluso ni siquiera si existe movimiento o no. La acción natural del músculo cuando se activa es de acortamiento en el sentido de su eje longitudinal, pero según la voluntad del sujeto o la relación que se establezca con las resistencias externas, la activación del músculo puede dar lugar a tres acciones diferentes: acortamiento o acción dinámica concéntrica o miométrica (superación de la resistencia externa, la fuerza externa actúa en sentido contrario al del movimiento, trabajo positivo), alargamiento/estiramiento o acción dinámica excéntrica o pliométrica (cesión ante la resistencia externa, la fuerza externa actúa en el mismo sentido que el movimiento, trabajo negativo) y mantenimiento de su longitud o acción isométrica o estática [la tensión (fuerza) muscular es equivalente a la resistencia externa, no existe movimiento ni, por supuesto, trabajo mecánico]. La denominación de acción isométrica (igual o la misma medida) no se ajusta a la realidad totalmente, pues lo único que se mantiene igual es el ángulo en el que se está produciendo la tensión muscular, pero la acción del músculo es de acortamiento de fibras y de estiramiento de tejido conectivo, como el tendón (Siff, 1993). Por tanto, desde la observación externa de la acción, como no hay



movimiento, lo más adecuado sería denominar a este tipo de acción como estática, y en relación con la actividad muscular sería una acción concéntrica estática. Para González-Badillo y Gorostiaga (1997), los términos "concéntrico" (el mismo centro) y "excéntrico" (sin centro o distinto centro) no son adecuados, pero indica que su utilización está tan generalizada que no tiene sentido modificarla, aunque para este autor sería más adecuado utilizar acortamiento y estiramiento (o alargamiento), respectivamente. Cuando las tres acciones se producen de manera continua en este orden: excéntrica- isométrica concéntrica, y el tiempo de transición entre la fase excéntrica y concéntrica es muy corto, daría lugar a una acción múltiple denominada ciclo estiramiento acortamiento (CEA), que en el lenguaje del entrenamiento toma el nombre, incorrecto, aunque muy aceptado, de acción pliométrica, ya que en esta acción se da una fase pliométrica ("más" medida, alargamiento), una miométrica ("menos" medida, acortamiento) y una isométrica (transición entre el alargamiento y el acortamiento) (González-Badillo & Gorostiaga, 2002).

En relación a lo anterior, existen dos fuentes de fuerzas en permanente relación: las fuerzas internas, producidas por los músculos esqueléticos, y las fuerzas externas producidas por la resistencia (de los cuerpos a modificar) su inercia (estado de reposo o movimiento). Como resultado de esta interacción entre fuerzas internas y externas surge un tercer concepto y valor de la fuerza, que es la **fuerza aplicada**. La fuerza aplicada es el resultado de la acción muscular sobre las resistencias externas, que pueden ser el propio peso corporal o cualquier otra resistencia o artefacto ajeno al sujeto. Lo que interesa es saber en que medida la fuerza interna generada en los músculos se traduce en fuerza aplicada sobre las resistencias externas. La fuerza aplicada, depende de otros factores, de la técnica del sujeto en la ejecución del gesto que se mide y valora. De tal manera que la medición de la fuerza aplicada es uno de los criterios de mayor validez para hacer una valoración de la propia técnica deportiva. La fuerza aplicada se mide a través de los cambios de aceleración de las resistencias externas y por la deformación que se produce en los

dinamómetros, tanto por efecto de la tensión como de la compresión que se ejerce sobre ellos. Si no se dispone de instrumentos de medida, se estima la fuerza aplicada tomando como referencia el peso que se puede levantar o lanzar en unas condiciones determinadas o la distancia que se puede desplazar el centro de gravedad del propio cuerpo (González-Badillo & Gorostiaga, 2002).

Lo que interesa en el deporte es medir la fuerza aplicada, pues de ella depende la potencia que se puede generar, que es, desde el punto de vista del rendimiento físico el factor determinante del resultado deportivo, tanto cuando la potencia debe ser la máxima en unas condiciones dadas como cuando se trata de mantener durante más o menos tiempo un determinado valor de potencia, que en el fondo no es más que la aplicación de una determinada fuerza. Por tanto, una definición de fuerza aplicable en el rendimiento deportivo sería: fuerza es la manifestación externa (fuerza aplicada) que se hace de la tensión interna generada en el músculo (González-Badillo & Gorostiaga, 2002).

Otra definición de la fuerza en el deporte, adaptando la que proponen Knuttgen y Kraemer (1987) sería: fuerza es la manifestación externa (fuerza aplicada) que se hace de la tensión interna generada en el músculo o grupo de músculos a una velocidad de desplazamiento determinada.

Una tercera definición práctica de la fuerza en el deporte: fuerza es la manifestación externa (fuerza aplicada) que se hace de la tensión interna generada en el músculo o grupo de músculos en un tiempo determinado (González-Badillo & Gorostiaga, 2002).

### 1.2. Medición de la fuerza manifestada

La medición de la fuerza manifestada se puede hacer en acciones de acortamiento, estiramiento, estáticas o en CEA. Cuando se mide la fuerza en acciones dinámicas concéntricas y en CEA (las formas más habituales y útiles en el deporte), se puede medir la fuerza media de todo el recorrido, el pico

máximo de fuerza y la relación de cada valor de fuerza y el tiempo en el que se obtiene.

En acciones dinámicas como un ejercicio de prensa de pecho el pico máximo de fuerza aplicada se encontrará a los pocos milisegundos de haber iniciado el movimiento (al igual que en la sentadilla) (Figura 1), debido al brusco cambio de aceleración producido en esos momentos, y los codos estarán todavía muy flexionados. En algunos casos, cuando la resistencia es muy alta y el sujeto pone mucho empeño en hacer el movimiento muy rápido, se podría alcanzar un segundo pico mayor que el primero después de pasar la fase crítica —el ángulo próximo a los  $90^\circ$  en los codos—, debido, precisamente, a un nuevo cambio importante de aceleración favorecido por la ventaja mecánica de la posición del cuerpo. Si la medición se hiciera comenzando el movimiento en otro ángulo, los resultados serían distintos.

También se podría medir con pesos libres el pico máximo de fuerza (fuerza estática, en este caso) en cada ángulo del recorrido completo del movimiento. Esto se podría hacer, por ejemplo, intentando manifestar la máxima fuerza en determinado número de ángulos de las articulaciones de las rodillas, tobillos y caderas en posición vertical actuando sobre una plataforma dinamométrica mientras se trate de vencer una resistencia (peso) insuperable. Esto mismo se podría hacer midiendo el momento de fuerza de los músculos extensores de la rodilla en posición de sentado, en este caso no con pesos libres sino con máquinas dinamométricas especiales para ello. El ángulo en el que se obtendría el pico máximo de fuerza sería distinto en ambos casos. En el primero, la fuerza aplicada sería progresivamente mayor cuanto más extendida estuvieran las piernas, sin embargo, en el segundo, el pico máximo de fuerza aplicada se encontraría en un ángulo algo inferior a los  $90^\circ$  (si consideramos como cero grados la extensión completa de la rodilla) y descendería claramente a medida que la rodilla se aproxima a la máxima extensión. Estas diferencias no se deben a los ángulos de las rodillas, que son los mismos, sino a la posición en que se mide la fuerza. La posición en el primer caso posibilita la intervención de los músculos biarticulares de la cadera y la rodilla y los extensores de la

espalda, cosa que no ocurre en la posición de sentado. Si todas estas mediciones se hicieran en acción excéntrica, los valores de fuerza serían superiores en todos los ángulos.

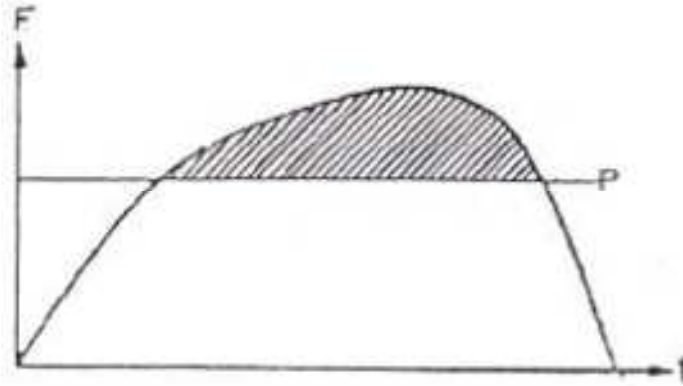
Los resultados de las mediciones de la fuerza aplicada pueden ser muy distintos en función de la forma de medir: posición del cuerpo, grado de estiramiento del músculo y tipo de acción (González-Badillo, 2001).

Al utilizar la máxima resistencia que se pueda desplazar una sola vez, nos encontraremos con el máximo valor de fuerza manifestada por un sujeto en el ejercicio concreto que se mide. Este valor de fuerza, que no es más que la fuerza manifestada al realizar 1RM (máximo peso que un individuo puede desplazar una sola vez en una serie), es Zatsiorsky (1995) lo llama "máximun maximorum", y lo utiliza como expresión de la máxima fuerza aplicada. Pero tan importante como la fuerza manifestada ante la máxima resistencia es la fuerza que se alcanza con resistencias inferiores a la misma, de tal manera que no siempre el que manifiesta más fuerza con una resistencia relativa alta es el que más fuerza manifiesta con las resistencias relativas ligeras. Por ello, para González-Badillo y Gorostiaga (2002), indican que para una mayor y mejor aplicación de las mediciones de fuerza al entrenamiento es necesario que se contemple no sólo la fuerza aplicada cuando las condiciones son las óptimas para manifestar fuerza dinámica (superar la máxima resistencia posible), sino también las resistencias inferiores, que podrán aportar mucha información válida para valorar el efecto del entrenamiento y para dosificar las resistencias.

### 1.3. Características de la manifestación de la fuerza en el deporte

Al hablar de la medición y valoración de la manifestación de la fuerza, los dos únicos valores que se pueden y deban de medir son el pico de fuerza que nos interesa y el tiempo necesario para llegar a alcanzarlo, es decir, valor de la

fuerza que se mide y se quiere analizar y relación entre esa fuerza y el tiempo necesario para conseguirla. La relación fuerza-tiempo da lugar a lo que se conoce como curva fuerza-tiempo. (C f-t).



*Figura 1. Manifestación de fuerza (F) en el tiempo (t). P = resistencia a vencer (Verkhoshansky, 1986). El área sombreada indica la diferencia entre la fuerza a superar (P) y la ejercida por el sujeto. El incremento de esta área es lo que pretendemos mejorar con el entrenamiento. La velocidad con la que se desplace la resistencia (peso) será directamente proporcional a la diferencia entre la fuerza aplicada y el valor de la fuerza que representa la resistencia.*

Toda acción o todo movimiento se produce generando dicha curva. Ante una resistencia a vencer, el efecto del esfuerzo viene determinado por la relación entre esa resistencia y la magnitud de la fuerza manifestada para superarla. Cuanto mayor sea la fuerza y más rápidamente se manifieste, mayor será la velocidad a la que se desplace la resistencia. El objetivo del entrenamiento, por tanto, debe consistir en mejorar en la mayor medida posible la fuerza aplicada para vencer una resistencia dada.

### 1.3.1. Pico máximo de fuerza

#### *Fuerza isométrica/ estática máxima*

El pico máximo de fuerza (PMF) que se mide cuando no hay movimiento es el valor de fuerza isométrica máxima (FIM) o fuerza estática máxima. Esta fuerza es la máxima fuerza voluntaria que se aplica cuando la resistencia es

insuperable. Si se cuenta con los instrumentos adecuados, la medición de esta fuerza dará lugar a la C f-t isométrica o estática. Esta fuerza se mide en N.

### *Fuerza dinámica máxima*

Si la resistencia que se utiliza para medir la fuerza se supera, pero sólo se puede hacer una vez, la fuerza que se mide es la fuerza dinámica máxima (FDM). Esta fuerza se expresa en N. La medición con instrumentos adecuados nos proporcionaría la C f-t dinámica. Cuando no se dispone de instrumentos de medida se puede expresar en kg, pero se desconocería la fuerza aplicada. Se suele considerar como el valor de una repetición máxima (1RM).

### *Fuerza dinámica máxima relativa*

Al medir la fuerza aplicada con resistencias inferiores a aquella con la que se haya medido la FDM (1RM), nos encontraremos con una serie de valores, cada uno de los cuales será una medición de fuerza dinámica máxima, pero todos ellos han de denominarse como valores de fuerza máxima relativa (FDMR), ya que siempre existirá un valor superior de fuerza dinámica que será la FDM. Por tanto, un sujeto tendrá un solo valor de FDM en un movimiento y condiciones concretas, pero tendrá numerosos valores de fuerza debido a las distintas resistencias utilizadas de FDMR (Figura 2). Esta fuerza solo se puede expresar en N. La medición con instrumentos adecuados nos proporcionaría distintas curvas de f-t dinámicas. La relación de estas curvas con la C f-t correspondiente a la FDM o a la FIM nos puede informar de las características del sujeto y de su estado de forma actual (González-Badillo & Gorostiaga, 1997).

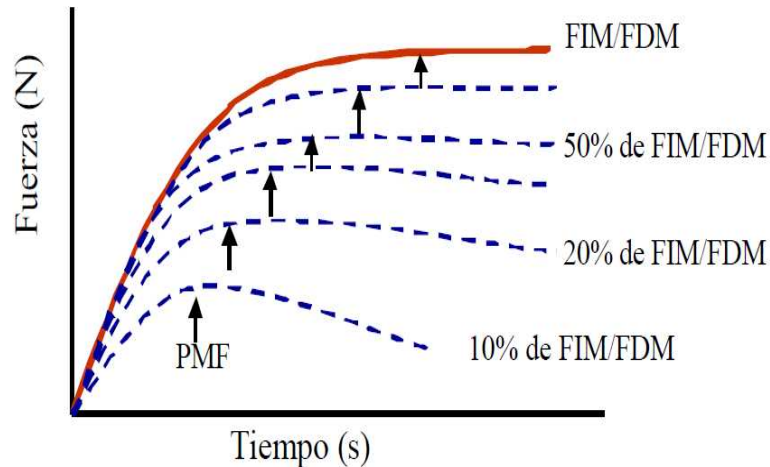


Figura 2. Valores de Fuerza Dinámica Máxima Relativa: cuando la carga es inferior a la FIM o la FDM, el PMF que se puede alcanzar será progresivamente menor.

### Fuerza útil

En el centro del grupo de valores de FDMR nos encontramos con uno especial, que es el que correspondería a la fuerza que aplica el deportista cuando realiza su gesto específico de competición. A este valor de FDMR se le denomina fuerza útil. La mejora de este valor de fuerza debe ser el principal objetivo del entrenamiento y el que más relación va a guardar con el propio rendimiento deportivo. Esta fuerza se produce a la velocidad específica y en el tiempo específico del gesto de competición. En la mayoría de los casos, la velocidad y el tiempo específicos de un mismo sujeto no serán dos valores estables durante toda la vida deportiva, ya que la mejora del rendimiento exigirá necesariamente el aumento de la velocidad y, por tanto, la reducción progresiva del tiempo de aplicación de fuerza para superar una misma resistencia.

El valor de la fuerza útil ha de medirse o estimarse en el gesto (ejercicio) de competición, y se debe considerar propiamente como un valor más de FDMR, ya que si se utilizara una resistencia inferior o superior a aquella que hay que superar en el gesto específico, los valores de fuerza aplicada cambiarían, dando lugar nuevos valores de FDMR, y todos ellos estarían en relación con una hipotética FDM que se podría aplicar en el propio gesto de competición cuando éste se intentara realizar con la máxima resistencia posible.

Dada la importancia de la fuerza útil para el resultado deportivo y para la valoración del efecto del entrenamiento, este valor de fuerza debe ser el principal criterio de referencia para organizar el propio entrenamiento (González-Badillo, 1997).

### 1.3.2. Curva fuerza-tiempo

#### *Fuerza explosiva*

Hablar de la C f-t es lo mismo que hablar de fuerza explosiva (FE) La FE es el resultado de la relación entre la fuerza producida (manifestada o aplicada) y el tiempo necesario para ello. Por tanto, la FE es la producción de fuerza en la unidad tiempo, y viene expresada en  $N \cdot s^{-1}$ . Ésta es la manera más exacta, simple e inequívoca de definir la FE. Si la medición de la fuerza se ha hecho de forma estática, los valores que resulten serán de FE estática, si se ha hecho en acción dinámica, lo que obtenemos es la FE dinámica, y si hemos podido medir la producción de fuerza durante la fase estática y la dinámica en la misma ejecución, tendremos ambos valores de FE y la relación entre ambos. En la literatura internacional científica, la única expresión de FE es la denominada "rate of force development" (RFD), que significa "proporción, tasa o rapidez en el desarrollo o producción de fuerza en relación con el tiempo", y se expresa en  $N \cdot s^{-1}$ . Este término está muy generalizado, y se utiliza tanto en los estudios sobre la fisiología de la activación muscular como en la medición de la fuerza y en la metodología del entrenamiento (Aagaard & Andersen; 1998; Häkkinen, Alén & Komi, 1984; Sale, 1991; Schmidtbleicher, 1992; Siff, 2000; Young, 1993; Young & Bilby, 1993). En esta escrito la FE viene determinada y expresada por la pendiente de la C f-t.

Esta expresión de fuerza se puede medir desde el inicio de la manifestación de fuerza hasta cualquier punto de la C f-t o entre dos puntos cualesquiera de la C f-t. Un mismo sujeto, por tanto, tendrá tantos valores de FE



como mediciones se realicen sobre su mejor C f-t. Estos valores serán de FE estática (isométrica) o de FE dinámica, según con qué tipo de acción se haya hecho la medición. Si la FE se mide entre el inicio de la producción de fuerza y el momento de alcanzar el PMF, tendremos un valor de FE que sería igual al valor del PMF dividido por el tiempo (T) total ( $PMF \cdot T^{-1}$ ) (González-Badillo, & Gorostiaga, 1997).

### *Fuerza explosiva máxima*

Si se hicieran "infinitas" medidas de la FE entre dos puntos de la C f-t, se observaría que existe un momento en el que la producción de fuerza por unidad de tiempo es la más alta de toda la curva. El tiempo en el que se mide esta máxima producción de fuerza es en la práctica de 1 a 10ms. Cuando en la literatura internacional se necesita utilizar este término, el "rate of force development" se expresa con RFD máxima (RFDmax o MRFD). A este valor de FE se le llama, lógicamente, fuerza explosiva máxima (FEmáx), y se define como la máxima producción de fuerza por unidad de tiempo en toda la producción de fuerza, o la mejor relación fuerza tiempo de toda la curva. Al igual que la FE, la FEmáx se expresa en  $N \cdot s^{-1}$ . Si se mide la fuerza estáticamente o si se mide la fase estática de una acción dinámica, la FEmáx casi siempre se habrá producido ya a los 100ms de iniciar la producción de fuerza, coincidiendo con la fase de máxima pendiente de la curva. Esta expresión de fuerza tiene una característica muy especial y llamativa: en el momento de alcanzar esta máxima producción de fuerza por unidad de tiempo se está manifestando una fuerza muy próxima al 30% de la FIM que el sujeto alcanzará en esa misma activación voluntaria máxima que se está ejecutando y midiendo.

### *Déficit de fuerza*

La fuerza dinámica máxima relativa (FDMR) es la máxima fuerza expresada ante resistencias inferiores a la necesaria para que se manifieste la fuerza dinámica máxima (FDM), que se consigue, cuando se realiza 1RM. Equivale al valor máximo de fuerza que se puede aplicar con cada porcentaje

de dicha FDM, aunque también se podría tomar como referencia la fuerza isométrica máxima. La FDMR también se puede definir como la capacidad muscular para imprimir velocidad a una resistencia inferior a aquella con la que se manifiesta la FDM. La mejora sistemática de esta manifestación de fuerza es un objetivo importante del entrenamiento, ya que ésta es la principal y más frecuente expresión de fuerza durante la competición.

El mayor valor de fuerza que se puede alcanzar tiene lugar cuando se mide a través de una acción dinámica excéntrica, en segundo lugar está la acción estática o isométrica (FIM), en tercero la acción dinámica concéntrica con la máxima resistencia superable una vez (FDM), y por último todas las acciones dinámicas concéntricas con resistencias progresivamente inferiores a la necesaria para que se manifieste la fuerza dinámica máxima (FDMRs). En un momento dado, cuando un sujeto puede alcanzar un mayor valor de fuerza es porque las condiciones en las que se ha medido han sido más favorables (acción excéntrica, más tiempo para producir fuerza, mayor resistencia), porque el sujeto siempre es el mismo. Por tanto, cada uno de los máximos valores alcanzados es un indicador del potencial del sujeto en unas condiciones de medición concretas. Pues bien, las pérdidas de fuerza, es decir, la menor aplicación de fuerza en el mismo ejercicio, que se produce cuando las condiciones van siendo cada vez menos favorables, constituyen un verdadero déficit de fuerza, ya que no se alcanza el potencial demostrado en condiciones más favorables. Es decir, se posee una fuerza que no se es capaz de aplicar. Por tanto, la diferencia entre cada valor de fuerza en relación con cualquiera de los superiores, expresada en porcentajes, sería un valor de déficit de fuerza.

### 1.4. Concepto de velocidad

La velocidad es derivada de la distancia que recorre una masa y el tiempo que tarda en recorrerla ( $V=d/t$  m.s<sup>-1</sup>), por lo cual se considera que el nivel de fuerza es fundamental para aplicar una mayor velocidad ante una determinada carga. De hecho para Legaz-Arrese (en edición) cuando se aplica la máxima intensidad posible en el desplazamiento de una determinada carga o

resistencia, la fuerza, velocidad, aceleración y potencia pueden ser utilizados como conceptos sinónimos. Incluso este autor considera que sólo se manifiesta la máxima fuerza cuando se desplaza la carga con la máxima aceleración posible, lo que determina que se ha desarrollado la máxima velocidad, y por tanto la máxima potencia. Sin embargo, al hablar de distintos niveles de carga, la fuerza, velocidad, y potencia no pueden ser utilizados como conceptos sinónimos. Debe tenerse en cuenta que cuanto mayor es el nivel de carga, mayor es la fuerza que puede aplicarse y menor la velocidad de desplazamiento, y por tanto, cuanto menor es el nivel de carga menor es la magnitud de fuerza y mayor la velocidad. La máxima potencia, resultado del producto de la fuerza y la velocidad, se manifiesta habitualmente a una intensidad de carga relativa media.

La fuerza constituye uno de los principales factores de rendimiento en la mayoría de las modalidades deportivas. De hecho, únicamente se puede producir una variación en el movimiento si existe una aplicación de fuerza. La fuerza, al igual que la velocidad, aceleración, trabajo, y potencia, es una variable mecánica derivada de la masa, la distancia, y el tiempo.

La fuerza y la potencia son las variables mecánicas más utilizadas en el contexto del entrenamiento deportivo. Desde una perspectiva física, Legaz-Arrese (en edición) define la fuerza como la acción que produce cambios en el estado de reposo o movimiento de un cuerpo o bien que produce deformaciones, siendo su formulación,  $F = \text{masa} \times \text{aceleración}$ . La potencia establece la relación entre el trabajo realizado por unidad de tiempo, siendo su formulación,  $P = \text{fuerza} \times \text{velocidad}$ .

Ante una determinada magnitud de masa, carga, o resistencia a superar, la fuerza que manifiesta un deportista depende exclusivamente de su capacidad para acelerar la carga. En consecuencia, para cada nivel de carga, el deportista manifiesta la máxima fuerza posible únicamente cuando realiza el máximo esfuerzo para mover la carga a la máxima velocidad posible. Simultáneamente,

esto implica realizar el máximo trabajo por unidad de tiempo, manifestando la máxima potencia para ese nivel de carga. Desde esta perspectiva, cuando se realiza el máximo empeño posible para superar una resistencia, es equivalente indicar que se ha desarrollado la máxima velocidad de desplazamiento, la máxima potencia, y la máxima fuerza. Para Legaz-Arrese (en edición) para una determinada magnitud de carga, la manifestación máxima de fuerza y de potencia la conceptualiza como manifestación de fuerza explosiva. Debido a que durante el rango de movimiento en el desplazamiento de una carga la velocidad no es constante, los valores de aceleración, fuerza, y potencia varían durante el periodo de tiempo de aplicación de fuerza. Así, en realidad, para cada instante de tiempo de duración del movimiento se puede medir valores diferentes de velocidad, aceleración, fuerza, y potencia. La magnitud de la carga también está relacionada con la duración del movimiento, y por tanto, con el tiempo de manifestación de fuerza. Al respecto, se necesita más tiempo para realizar el mismo rango de movimiento conforme incrementa la magnitud de la carga, lo que simultáneamente implica una menor velocidad de desplazamiento. Estas relaciones entre la magnitud de la carga, la fuerza manifestada, el tiempo de manifestación de fuerza, y la velocidad de desplazamiento de la carga, determinan los principios fundamentales del entrenamiento de la fuerza.

### 1.5. Factores biológicos de la fuerza

La capacidad de un sujeto para desarrollar fuerza depende de distintos factores, como: estructurales, o relacionados con la composición del músculo, nerviosos, relacionados con las unidades motoras, los relacionados con el ciclo estiramiento-acortamiento y los factores hormonales (González-Badillo & Gorostiaga, 2002).

#### 1.5.1. Factores estructurales del desarrollo de la fuerza

Los factores estructurales comprenden la hipertrofia y el tipo de fibras musculares.

### *Hipertrofia*

La hipertrofia es un aumento del tamaño del músculo, que puede ocurrir como resultado de: 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). Actualmente no es posible dar 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 las fibras musculares (hiperplasia) (González-Badillo & Gorostiaga, 2002), al respecto los resultados son controvertidos (Kadi et al., 1999; MacDougall, 1992; MacDougall et al., 1984; Thorstenson, 1976).

### *Fibras musculares*

Las fibras musculares son las células de los músculos esqueléticos y tienen como función la de generar fuerza. Según Billeter y Hoppeler (1992), la estructura del músculo esquelético está formado por fibras musculares con células anchas (50  $\mu$ m) y largas (hasta 10 cm), tienen cientos de núcleos, compuestas en el 80% de su volumen por miofibrillas. Las miofibrillas tienen un diámetro de 1-2  $\mu$ m 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 constituidas 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  $\mu$ m. 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.

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. 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 miosina de cada fibra muscular no tiene exactamente la misma composición química y estructura (Billeter & Hoppeler, 1992), sino que existe en diferentes formas moleculares que varían sólo ligeramente entre ellas. A cada una de estas formas moleculares de la miosina se les llama isoformas.

La clasificación de las fibras musculares se realiza en función de las isoformas de la miosina (González-Badillo, 2001).

### 1.5.2. Clasificación de las fibras musculares

La clasificación de las fibras musculares depende del tipo de miosina (isoforma) que tengan sus sarcómeros. La miosina que es capaz de hidrolizar rápidamente el ATP (unas 600 veces por segundo) se denomina miosina rápida. La miosina que sólo puede hidrolizar ATP unas 300 veces por segundo se denomina miosina lenta (Howald, 1984). Por último, se distingue una isoforma de la miosina que puede hidrolizar el ATP a una velocidad intermedia entre la miosina "rápida" y la "lenta" (Howald, 1984). La diferencia en la velocidad de producción de energía entre la miosina lenta y la rápida se traduce en que las fibras musculares que contienen miosina rápida se contraen más rápidamente (tiempo: 40-90 ms) y producen más fuerza que las fibras musculares que contienen miosina lenta (tiempo de contracción de 90-140 ms). Esta diferencia en la velocidad de contracción y de producción de fuerza de las

fibras musculares que contienen uno u otro tipo de miosina, es la que ha dado origen a la clasificación de las fibras musculares en rápidas (IIB), intermedias (IIA) y lentas (I) (Billeter & Hoppeler, 1992). El método que se emplea para clasificar las fibras musculares consiste en estudiar la tinción histoquímica de una porción de músculo extraído por medio de una punción-biopsia.

Cometti (2005), indica que las fibras I (lentas) se diferencian de las fibras IIB (rápidas) en que tienen una velocidad de contracción más lenta (fibras lentas más de 100 ms en vez de 40-80 ms de las rápidas), producen menos fuerza, tienen una mayor vascularización y capacidad oxidativa y una menor capacidad anaeróbica, se fatigan menos, utilizan como sustratos energéticos predominantes los glúcidos y lípidos por la vía aeróbica, en vez de la vía anaeróbica, su tamaño es más pequeño y tienen un menor número de miofibrillas en cada fibra muscular (Harris et al., 2000). Además, las fibras I (lentas) tienen una menor capacidad para sintetizar proteínas que las fibras II (rápidas), aunque suelen presentar una menor degradación de las proteínas (Goldspink, 1992). Por último, las fibras II (rápidas) tienen mayor capacidad para hipertrofiarse (Häkkinen, Alén, & Komi, 1985) y responden mejor al entrenamiento de fuerza que las fibras I (lentas) (Tesch, 1989).

### 1.5.3. Factores nerviosos del desarrollo de la fuerza

Se cree que el principal factor que interviene en la producción y en la mejora de la fuerza es, además del aumento de la masa muscular, la capacidad que tiene el sistema nervioso para activar esos músculos (Sale, 1992).

#### *La unidad motora*

El término "unidad motora", que está constituida por un nervio motor (o motoneurona) y las fibras musculares inervadas por dicho nervio. El número de fibras musculares inervadas por una motoneurona puede variar entre 5 (en los músculos que intervienen en movimientos de gran precisión) y más de 1000 (en

los músculos que intervienen en movimientos de poca precisión) (Billeter & Hoppeler, 1992). La principal función de la unidad motora es la contracción muscular.

### *Tipos de unidades motoras*

Las unidades motoras se clasifican en rápidas-resistentes a la fatiga, FF, (inervan fibras IIA), rápidas- no resistentes a la fatiga, FR, (inervan fibras musculares IIB) y lentas, S, (inervan fibras musculares de tipo I) (Burke, 1981).

### *Activación de las unidades motoras de un músculo durante la contracción muscular*

La producción de fuerza máxima de un músculo requiere que todas sus unidades motoras sean reclutadas (activadas). Existen tres características que hay que tener en cuenta para entender cómo se activan las diferentes unidades motoras de un músculo durante la contracción muscular:

Cada motoneurona produce una fuerza de contracción de sus fibras musculares que varía según la frecuencia con la que se estimule su nervio motor (Sale, 1992). Cuando se realiza una contracción isométrica submáxima de un músculo, no se activan (reclutan) todas las unidades motoras, sino que siguen el "principio de la talla", activándose en primer lugar las de más baja talla (unidades motoras S, que inervan fibras lentas) y, más adelante, cuando se necesita hacer más fuerza, se van activando las unidades motoras de mayor talla (fibras rápidas).

En los movimientos explosivos, realizados a máxima velocidad pero produciendo una fuerza muy inferior a la fuerza isométrica máxima, la frecuencia de estimulación del nervio es muy superior a la frecuencia necesaria para obtener la máxima tensión (fuerza) de las fibras musculares inervadas por su nervio motor. Además, es muy posible que, en este caso, el reclutamiento de



las unidades motoras no siga el "principio de la talla" (González-Badillo & Gorostiaga, 1997).

### *Frecuencia de impulso nervioso de la unidad motora*

Cuando el sistema nervioso central activa una unidad motora, la intensidad del impulso nervioso responde a la "ley del todo o nada", es decir, que la unidad motora o se activa o no se activa, y cuando se activa, la intensidad del impulso eléctrico es siempre la misma, así como la fuerza o tensión producida en las fibras musculares por un impulso nervioso aislado de una motoneurona es siempre la misma (Sale, 1992). Pero además, el sistema nervioso central puede enviar impulsos nerviosos a una unidad motora a diferentes frecuencias (frecuencia de impulso es el número de impulsos nerviosos (excitaciones) por segundo que las fibras musculares reciben de su motoneurona (Sale, 1992)). El aumento de la frecuencia de impulso se acompaña de un aumento de la fuerza o tensión muscular producida por las fibras musculares inervadas por el nervio motor estimulado. Este aumento de la tensión está directamente relacionado con el aumento de la frecuencia de estimulación del nervio motor, hasta llegar a un punto a partir del cual la tensión no aumenta, aunque se siga aumentando frecuencia de estímulo. Al respecto cuando la motoneurona descarga un solo impulso nervioso, se observa un aumento leve de la fuerza de contracción; si se aumenta la frecuencia a varios impulsos por segundo, hay un aumento de tensión proporcional a la frecuencia de impulso, hasta llegar progresivamente a una frecuencia a partir de la cual no aumenta la tensión máxima.

### *Reclutamiento de las unidades motoras*

Para que un músculo produzca la mayor fuerza isométrica máxima, es necesario que todas sus unidades motoras estén activadas y, además, que sus respectivas frecuencias de impulso nervioso sean lo suficientemente elevadas como para que produzcan la máxima tensión. Sin embargo, cuando no se manifiesta la mayor fuerza isométrica parece ser que el mecanismo de

reclutamiento y de frecuencia de impulso de las unidades motoras es distinto según se trate de contracciones isométricas submáximas realizadas a una velocidad de contracción submáxima de intensidad progresivamente creciente hasta llegar a la contracción isométrica máxima, o según se trate de contracciones musculares muy rápidas (explosivas) (González-Badillo & Gorostiaga, 1997).

En el primer caso (contracciones isométricas submáximas de intensidad progresivamente creciente y de velocidad de contracción submáxima), la mayoría de los autores parecen estar de acuerdo en señalar que el reclutamiento de las unidades motoras de un músculo se realiza por el "principio de la talla" (Burke, 1981; Henneman & Mendell, 1981). Es decir, que para producir una fuerza submáxima de baja intensidad se reclutan en primer lugar las unidades motoras de baja talla, mientras que cuando se va aumentando la fuerza, se van activando además las unidades motoras rápidas-resistentes a la fatiga que inervan las fibras IIA y, por último, a intensidades próximas de la fuerza isométrica máxima, se activan las unidades motoras de mayor talla (rápidas-NO resistentes a la fatiga, que inervan fibras musculares IIB).

El método que se utiliza para medir la adaptación neural de un músculo al entrenamiento de fuerza es la electromiografía (Sale, 1992). Dicho método consiste en registrar y medir, mediante unos electrodos colocados en la superficie del músculo, la actividad eléctrica producida por las fibras musculares de las unidades motoras que se han activado durante la contracción muscular. Dicha actividad eléctrica (denominada IEMG) será mayor cuanto mayor sea el número de unidades motoras activadas y/o mayor sea la frecuencia de estimulación de cada unidad motora (González-Badillo & Gorostiaga, 1997).

*Posibles mecanismos de adaptación neural con el entrenamiento de fuerza*

Se considera que las mejoras de fuerza que se producen en sujetos poco entrenados durante las primeras semanas de entrenamiento son fundamentalmente de origen neural (Häkkinen & Komi, 1983; Narici, 1998), debidas a una mejora del aprendizaje motor y de la coordinación (Rutherford et al., 1986). Los posibles mecanismos de adaptación neural al entrenamiento de fuerza podrían ser de 3 tipos: 1) aumento de la activación de los músculos agonistas, 2) mejora de la coordinación intramuscular y 3) mejora de la coordinación intermuscular.

### 1.5.4. Factores que inciden en el Ciclo estiramiento-acortamiento

En general, los tipos de contracciones musculares se clasifican en dinámicos (concéntricos, excéntricos) y estáticos (isométricos), sin embargo González-Badillo y Gorostiaga (1997), considera esta clasificación demasiado simplista puesto que no refleja la función natural de los músculos humanos durante los movimientos normales, ya que durante movimientos naturales como correr, andar o saltar, los músculos realizan contracciones musculares en las que a una contracción muscular excéntrica (ejemplo: estiramiento de cuádriceps durante la fase de apoyo de la carrera) le sigue inmediatamente otra contracción concéntrica (ejemplo: contracción concéntrica del cuádriceps durante la fase de impulso de la carrera). La combinación de la fase excéntrica (en la que el músculo se activa mientras se estira) y la fase concéntrica que le sigue forma un tipo de función muscular natural que se denomina el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) (stretch-shortening cycle) (Norman & Komi, 1979; Komi, 1984). En el ámbito del entrenamiento deportivo se suele denominar al CEA como "contracción pliométrica". Sin embargo, Knuttgen y Kraemer (1987), creen que el término "pliométrico" se refiere solamente a la fase de estiramiento del músculo. Por ello estos autores (Knuttgen & Kraemer, 1987), recomiendan que no se utilice el término "pliométrico" sino el de CEA, tal como previamente lo definió Komi (1984). Sin embargo, en la literatura

deportiva cuando se hace referencia al CEA el término "pliométrico", se suele utilizar como sinónimo.

Lo que caracteriza al ciclo estiramiento-acortamiento, al que se le denomina (CEA), es que la última fase del ciclo (la contracción concéntrica) es más potente cuando está inmediatamente precedida de una contracción excéntrica que cuando se realiza de modo aislado.

### 1.5.5. Mecanismos hormonales relacionados con la fuerza

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).

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).

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 (Kraemer, 2000).

### 1.6. Componentes del entrenamiento de la fuerza

Para obtener una mejora en el rendimiento de cualquier cualidad física es necesario proporcionar una serie de estímulos físicos y técnicos al organismo, que en su conjunto van a constituir la carga externa de entrenamiento. El tipo y grado de la carga está en relación con las características y estructura de sus componentes. Y el resultado va a depender de la organización de dichos componentes. González-Badillo y Gorostiaga (1997), consideran los siguientes componentes en el entrenamiento de la fuerza: volumen, intensidad, velocidad y potencia de ejecución, densidad y tipo de ejercicio que se realiza.

#### *Volumen*

El volumen es una de las variables sobre las que gira toda posibilidad de cambio en el entrenamiento, y, por tanto, será un dato a tener en cuenta al definir las características del programa a realizar.

La mejor forma de expresar el volumen, aunque no sea suficiente, es por el número de repeticiones que se realizan. El tiempo bajo tensión o duración del estímulo, es decir, el tiempo real, sin contabilizar las pausas de descanso, que dura la aplicación de la carga, está en íntima relación con el número de repeticiones, por lo que también sería una forma acertada de medir el volumen de trabajo, aunque, por ser mucho más difícil su cuantificación, no sea la manera más práctica.

Pero el volumen por sí solo, aunque se exprese por repeticiones o por tiempo real de aplicación de cargas, es un dato insuficiente para programar y

valorar el entrenamiento. Siempre deberá venir asociado a los demás componentes de la carga. Esto nos va a permitir diferenciar con mayor precisión las características del esfuerzo realizado.

Pero el significado del volumen no queda delimitado totalmente con estos datos, es necesario considerar, además, y fundamentalmente, el tipo de ejercicio con el que se trabaja. Cuando los ejercicios son muy diferentes: recorrido del punto de aplicación de la fuerza, valor absoluto de la resistencia que se puede desplazar, grupos musculares que intervienen, dificultad técnica, velocidad de ejecución..., el grado y carácter de la carga es diferente, aunque todos los demás factores que definen el volumen sean iguales.

Como regla general, a mayor volumen de trabajo debe corresponder un mayor rendimiento, pero este principio no se cumple en muchas situaciones. El del volumen va a proporcionar una mejora permanente del rendimiento en los primeros años de práctica, pero con el incremento de los resultados y la especialización del entrenamiento esta fuente de progresión y variabilidad ya no funciona. La efectividad del valor de la carga aparentemente se reduce de año en año (Matveyer & Giljatsova, 1990). Por lo que para González-Badillo y Gorostiaga (1997), el objetivo es: buscar el volumen óptimo de trabajo.

Los estudios indican que parece haber una zona óptima de cantidad de entrenamiento que proporciona un incremento óptimo de los resultados. No obstante, esta zona óptima está pobremente definida, y sobrepasarla puede llevar al síndrome de sobreentrenamiento (Lehmann et al., 1993; Kuipers, 1996).

Los conocimientos científicos sobre la efectividad y contenido de los métodos de entrenamiento están muy poco desarrollados (Pampus, Lehnertz, & Martin, 1990). En el mismo sentido se manifiesta Kuipers (1996) cuando dice

que existen pocos datos científicos acerca del entrenamiento para alcanzar el pico máximo de rendimiento.

### *Intensidad*

La intensidad es, probablemente, la variable más importante del entrenamiento de fuerza. La progresión en los resultados depende del incremento de la intensidad, tanto en términos absolutos como relativos, aunque, al igual que ocurre con el volumen, hay que buscar los valores óptimos para cada objetivo de entrenamiento. El volumen merece nuestra atención cuando se realiza con intensidades óptimas. La intensidad limita los valores del volumen: el número de repeticiones totales, y, sobre todo, de repeticiones por serie, está en relación inversa a la intensidad que empleamos (González-Badillo & Gorostiaga, 1997).

La intensidad de un estímulo es el grado de esfuerzo que exige un ejercicio. En el entrenamiento de fuerza con cargas, la intensidad viene representada por el peso que se utiliza en términos absolutos o relativos, pero, fundamentalmente por la velocidad y potencia, por las repeticiones por serie y por la densidad, y todo definido por el carácter del esfuerzo.

### *Intensidad máxima: absoluta y relativa*

La intensidad máxima absoluta se expresa por el peso utilizado. La intensidad relativa por el porcentaje que representa dicho peso del máximo en el ejercicio (1RM). Sin embargo, para González-Badillo y Gorostiaga (1997), la expresión de la intensidad a través de porcentajes de 1RM tiene algunos inconvenientes, como que el RM no se debe medir en sujetos jóvenes o con poca experiencia en el entrenamiento de fuerza, porque los resultados no serían fiables (existiría una inhibición por miedo, inseguridad y falta de técnica), porque podría entrañar algún riesgo de lesión, y porque no es necesario, pues

hay otras formas de hacer una estimación de la RM que pueden ser totalmente válidas para organizar el entrenamiento sin necesidad de hacer un test máximo.

### *Densidad*

La densidad viene expresada por la relación entre el trabajo total o el número de repeticiones realizados y el tiempo empleado en ello. En este sentido, se identifica con una forma de expresar la potencia mecánica global de una unidad de entrenamiento. Dado que se asume o se espera que cada repetición se deba hacer a una velocidad alta o máxima, la densidad viene determinada principalmente por el tiempo de recuperación entre repeticiones y series, aunque también se extiende a la recuperación entre sesiones y entre ciclos completos de entrenamiento. El tiempo de recuperación viene a completar, las características de la intensidad del entrenamiento. Cuanto mayor sea la densidad del entrenamiento, es decir, menor recuperación entre acciones, mayor es la intensidad (González-Badillo y Gorostiaga, 1997).

### *Ejercicios*

Los ejercicios son el contenido, la materia del entrenamiento. Sirven como medio para desarrollar la fuerza y como medio para canalizarla posteriormente hacia una óptima manifestación de la misma en el ejercicio de competición.

La manifestación de fuerza se hace siempre a través de un ejercicio. Por tanto, no se trata de adquirir fuerza en términos generales y en cualquier dirección, sino en una acción concreta y con unas características determinadas. El que más peso levanta en una sentadilla no es el que más lanza, ni siquiera el que más salta o el que hace una mejor arrancada. Esto no significa que no haya una correlación entre estas variables, sino que la fuerza desarrollada y el ejercicio que se utiliza para ello deben estar al servicio de la fuerza específica que es la que permite una mejor realización técnica y alcanzar un mayor rendimiento. Por tanto, no tiene sentido malgastar energías y correr riesgos de



sobrecarga e interferencias técnicas realizando ejercicios no adecuados o en una proporción desmesurada (González-Badillo, & Gorostiaga, 1997).

La definición de un ejercicio depende del tipo de activación: concéntrica, excéntrica, estática, CEA o una combinación de varios de ellos; y de la estructura dinámica y cinemática del mismo, con especial atención a la velocidad de ejecución y al momento en el que se produce la máxima tensión o manifestación de fuerza: al principio, en la zona central o al final del recorrido del movimiento.

Existen numerosas clasificaciones de los ejercicios de entrenamiento en función del contexto en el que se hacen y de los objetivos a los que se aplican. González-Badillo y Gorostiaga (1997) realizaron una clasificación de los ejercicios que deben aplicarse en el entrenamiento de fuerza en función de dos criterios: a) según sus efectos y b) según la velocidad a la que se alcanza 1RM:

a) Según sus efectos:

\* Localizados: poca transferencia

- Básicamente, entrenamiento de músculos, no de movimientos:
- Pectoral, bíceps, tríceps, isquios, cuádriceps y similares

\* Generalizados: transferencia media o alta

- Fuerza máxima: sentadilla, tirones
- Máxima potencia y gran explosividad: ejercicios olímpicos y sus elementos
- Potencia media o máxima y gran velocidad: saltos, lanzamientos

\* Específicos: transferencia alta o máxima

- Situaciones de competición o muy semejantes a la competición
- Competición

b) Según la velocidad a la que se alcanza 1RM

- A baja velocidad: ejercicios no olímpicos
- A alta velocidad: ejercicios olímpicos

### 1.7. Metodología del entrenamiento de la fuerza

El objetivo del entrenamiento de fuerza es poner al deportista en disposición de conseguirla óptima manifestación de fuerza en las actividades específicas. Por ello, cada especialista debe definir claramente sus prioridades en función de las necesidades de su deporte. En el análisis de las necesidades hay que tener en cuenta las características del ejercicio de competición al menos en estos aspectos: postura al aplicar la fuerza, ángulos articulares en los que se manifiesta el pico de fuerza, modos de activación muscular, velocidad de ejecución y fuentes energéticas predominantes. Es decir, la fisiología y la biomecánica son el punto de partida en la concepción del entrenamiento y el criterio de referencia en el control del mismo.

Teóricamente, la fuerza máxima que puede producir una fibra depende del número de sarcómeras dispuestas en paralelo. Por tanto, la máxima fuerza de un músculo dependerá del número de fibras dispuestas en paralelo entre sí. Esto se traduce en que la capacidad de un músculo para producir fuerza depende de su sección transversal (fisiológica). Pero no a mayor sección muscular corresponde necesariamente mayor fuerza. Otro factor que influye es la *fuerza intrínseca* del músculo, a la que se le denomina tensión específica. La tensión específica es expresada como la fuerza que una fibra muscular puede ejercer por unidad de área de sección transversal (Semmler y Enoka, 2000). El valor de la tensión específica depende de la densidad de los filamentos de la fibra muscular y de la eficacia de la transmisión de la fuerza desde las sarcómeras al esqueleto (hueso). No se conoce con precisión si la densidad de los filamentos se puede modificar con el entrenamiento prolongado o por la

utilización de distintos tipos de entrenamiento. La eficacia de la transmisión de la fuerza se relaciona con la modificación de las estructuras que transmiten la fuerza de las sarcómeras al esqueleto: proteínas que proporcionan la conexión entre filamentos, entre sarcómeras dentro de las miofibrillas, entre las miofibrillas y su membrana (sarcolema) y entre las fibras musculares y el tejido conectivo (Semmler y Enoka, 2000). Por tanto, la masa muscular y la tensión específica deciden el potencial de fuerza en el sujeto. Pero el aprovechamiento de ese potencial viene matizado por la influencia del efecto neural, como se comprueba, por ejemplo, por el efecto dissociado sobre masa muscular y rendimiento, la especificidad del efecto del entrenamiento, los cambios en la cantidad de impulsos en una contracción máxima, el déficit bilateral o el efecto de la coordinación. De hecho, se ha propuesto que hay una interacción entre los mecanismos neurales e hipertróficos en el desarrollo de la fuerza, la cual depende de la intensidad del entrenamiento, de la velocidad de contracción, del volumen, de la frecuencia, de la acción muscular, del ángulo en el que se realiza el entrenamiento y del desentrenamiento (Kraemer y Ratamess, 2004).

### *La hipertrofia*

El papel de la hipertrofia en la mejora de la fuerza dentro de un ciclo de entrenamiento empieza a ser relevante después de varias semanas, aunque desde las dos primeras semanas ya se están produciendo cambios cualitativos en la adaptación de las fibras, como pueden ser las transformaciones de fibras IIb a IIa (Staron et al., 1994).

Algunos autores han sugerido (MacDougall et al., 1982; Tesch & Larson, 1982) que podría haber un óptimo techo para el desarrollo muscular. Esto parece confirmarse por algunas experiencias: después de 24 semanas de entrenamiento con cargas entre el 70 y el 120% (trabajo excéntrico para porcentajes superiores al 100%), sólo se produjo hipertrofia en las 12 primeras semanas y ninguna significativa en las 12 siguientes. Esto nos llevaría a la

conclusión de que no sería conveniente prolongar un entrenamiento orientado a la hipertrofia más allá de las 12-14 semanas con intensidades superiores al 70%. Sería necesario modificar el tipo de trabajo o descansar hasta que el organismo renovara su capacidad de adaptación o ambas cosas.

Pero también el grado de desarrollo de la masa muscular debe tener un límite óptimo desde otro punto de vista: la hipertrofia provoca una activación precipitada de los órganos de Golgi y la consiguiente inhibición de la tensión muscular que va a llevar a una reducción del nivel de fuerza (Ehlenz et al., 1990). Como en la mayoría de los casos no se puede, y, además, no se debe renunciar a un desarrollo muscular mínimo u óptimo para mejorar las posibilidades de fuerza, es necesario combinar este tipo de entrenamiento con ejercicios en estiramiento con cargas y sin cargas y la utilización de cargas altas y a mayor velocidad que "enseñen" al sistema nervioso a evitar la inhibición temprana.

### *Efecto neural*

El efecto neural se detecta fundamentalmente por dos tipos de observaciones. Una es la disociación que se produce entre los cambios en el tamaño de los músculos y la mejora de la fuerza. La otra es la especificidad de la mejora en el rendimiento.

### *Mecanismos responsables de la adaptación neural*

Se considera que la mejora de la fuerza por la actividad neural depende del incremento de la activación nerviosa, la óptima sincronización de unidades motoras y la activación conjunta de distintos grupos musculares. La mejora de estos procesos puede permitir la reducción del déficit bilateral, aumentar el nivel de sincronización o reducirlo según el tipo de entrenamiento, ser responsables de que la mejora del rendimiento se produzca en la tarea específica, reducir el volumen de masa muscular activado para producir una misma fuerza y, en

definitiva, justificar las decisiones que se tomen en la elección de los ejercicios y formas, posturas y regímenes de activación muscular.

El objetivo del entrenamiento con respecto a estos mecanismos consiste en mejorar los procesos intra e intermusculares: reclutamiento, frecuencia de estímulos, sincronización, activación refleja del músculo, reducción de los mecanismos inhibidores de la máxima tensión muscular y optimización de la coordinación intermuscular.

En relación al **reclutamiento** está en función de las cargas utilizadas. La variación del orden de reclutamiento es parcialmente responsable del tipo de efecto producido por el entrenamiento. Cuando se elige la vía de la coordinación intramuscular para el desarrollo de la fuerza, el objetivo del entrenamiento es enseñar al sistema nervioso a reclutar todas las unidades motoras (UMs) necesarias a una frecuencia óptima para conseguir la máxima activación. Cuando se levanta un peso medio o bajo no son reclutadas las UMs rápidas, la frecuencia de descarga de las motoneuronas es submáxima y la actividad de las UMs es asincrónica (Zatsiorsky, 1992). Por tanto, los ejercicios con cargas moderadas no son medios efectivos para el desarrollo de la fuerza a través de la coordinación intramuscular. En los deportistas de elite, habituados al trabajo de fuerza, la coordinación intramuscular óptima se produce cuando el peso utilizado es igual o superior al 85-90% de su mejor marca personal y se realiza con la máxima velocidad posible.

La **frecuencia de estímulo** es un mecanismo complementario del reclutamiento. La combinación de ambos permite la gradación de la fuerza: ante un mismo reclutamiento, a más frecuencia de estímulo, mayor es la producción de fuerza y potencia, y más rápidamente se consigue la fuerza máxima.

La **coordinación intermuscular** es otra vía por la que podemos conseguir más fuerza y, sobre todo, una mayor aplicación de la misma. Lo

característico de este tipo de adaptaciones que la ganancia de fuerza es mayor si se mide ésta a través del propio ejercicio con el que se ha entrenado.

La coordinación intermuscular es un componente importante de la especificidad del entrenamiento. Sale (1986), dice que al menos se pueden distinguir cuatro factores que determinan la especificidad del entrenamiento, y, que, por tanto, deben ser considerados en la realización del mismo:

- El aumento de la fuerza es mucho mayor en el mismo régimen de activación que se ha utilizado al realizar el entrenamiento, disminuyendo su efecto ampliamente en las demás.
- En la activación isométrica, la mejora de la fuerza se produce en el ángulo de entrenamiento, y no hay incrementos significativos en las posiciones / ángulos no habituales.
- El efecto del entrenamiento es específico a la velocidad de acortamiento del músculo usada en el propio entrenamiento.
- El entrenamiento de fuerza también puede ser específico según que los ejercicios se hagan unilateral o bilateralmente.

La reducción del volumen de masa muscular activada para ejercer la misma fuerza después de una fase de entrenamiento se considera también un efecto neural (Ploutz et al., 1994).

### 1.7.1. Tipos de entrenamiento para la mejora de las distintas manifestaciones de la fuerza

Todas las variables y factores que intervienen en la mejora de las distintas expresiones de fuerza se organizan y estructuran en unidades de entrenamiento a través de porcentajes, repeticiones por serie, series y pausas de recuperación. El carácter del esfuerzo (CE) estará presente en todas las

unidades de entrenamiento y es el que realmente ha de controlar el ajuste de la intensidad del mismo.

### *Entrenamiento de la Fuerza máxima y Fuerza Explosiva*

González-Badillo y Gorostiaga (1997), distinguen los siguientes entrenamientos para la mejora de la fuerza máxima y la fuerza explosiva:

- Unidades de entrenamiento en régimen de activación concéntrica y excéntrica-concéntrica con CEA de intensidad máxima, media y baja.
- Unidades de entrenamiento en régimen de activación isométrica.
- Unidades de entrenamiento en régimen de activación excéntrica.

A su vez las unidades de entrenamiento en régimen de activación concéntrica y excéntrica-concéntrica con CEA de intensidad máxima, media y baja las diferencia en:

- Unidades de entrenamiento con porcentajes máximos I
- Unidades de entrenamiento con porcentajes máximos II
- Unidades de entrenamiento con porcentajes medios I
- Unidades de entrenamiento con porcentajes medios II
- Unidades de entrenamiento con porcentajes bajos I
- Unidades de entrenamiento con porcentajes bajos II
- Unidades de entrenamiento de tipo mixto: pirámide
- Unidades de entrenamiento concéntrico puro
- Unidades de entrenamiento excéntrico-concéntrico explosivo
- Unidades de entrenamiento excéntrico-concéntrico de máxima intensidad (CEA llamado pliométrico)
- Unidades de entrenamiento a través de ejercicios específicos con cargas
- Unidades de entrenamiento con porcentajes combinados
- Unidades de entrenamiento basadas en la potencia y velocidad de ejecución

Todas estas unidades de entrenamiento se diferencian por tener características propias del movimiento de ejecución y en cuanto a los componentes del entrenamiento como lo es el porcentaje de carga, el número de repeticiones por serie, series, descanso entre series y velocidad de ejecución.

Con las unidades de entrenamiento en régimen de activación isométrica, se puede conseguir una fuerza suplementaria del 5-15% con respecto a la concéntrica. Aunque esto es variable, según el ejercicio, los sujetos y la fase de entrenamiento en que se encuentren (González-Badillo & Gorostiaga, 1997).

Según Cometti (2005), la masa muscular desarrollada con el método isométrico es inferior que con el concéntrico y también se observa que esta ganancia de masa se produce sin un acompañamiento de capilarización. La activación eléctrica necesaria para producir la misma fuerza es inferior a la contracción concéntrica, pero superior a la activación excéntrica (González-Badillo & Gorostiaga, 1997).

### *Entrenamiento de la resistencia a la fuerza*

La resistencia a la fuerza o la "fuerza-resistencia", como se suele decir en algunos casos, *no es un tipo de manifestación de fuerza* equivalente a la fuerza máxima o la fuerza explosiva, sino *la capacidad para mantener un pico de fuerza o una producción de fuerza (fuerza explosiva) concretos durante un tiempo determinado*. El tiempo será el correspondiente a la duración de la prueba, el cual, en algunos casos puede incluso venir influido, en parte, por la propia resistencia a la fuerza, como por ejemplo en cualquier competición de carrera, natación, contrarreloj en ciclismo etc. El grado de resistencia a la fuerza vendrá definido por las pérdidas de fuerza (máxima y explosiva) sufridas a una misma intensidad por el deportista de manera involuntaria durante una prueba o un entrenamiento.



González-Badillo y Gorostiaga (1997), consideran que el entrenamiento de la resistencia a la fuerza se puede decir que realmente no existe o no debe existir fuera del gesto específico de competición. Además que se ha de considerar que siempre que se realiza un entrenamiento específico estamos entrenando la resistencia a la fuerza.

Exceptuando algunas pocas especialidades deportivas, todas las demás dependen de la resistencia a la fuerza en mayor o menor medida. Si un corredor de 400 m pierde velocidad en los últimos 100 m es porque aplica menos fuerza sobre la pista y la aplica más lentamente (independientemente de las causas de tipo metabólico o neuromuscular de las que dependa esta pérdida), es decir, su rendimiento está limitado por la capacidad para mantener la aplicación de un determinado pico de fuerza en un tiempo concreto, por tanto, el rendimiento individual está dependiendo de la resistencia a la fuerza. El mismo razonamiento sería válido para pruebas mucho más breves como por ejemplo los 100 m o para cualquier otra más larga como el maratón. En este caso lo que aplica para la carrera es igualmente aplicable si se nada, rema, pedalea o se juega al fútbol o al voleibol.

Siempre que tienda a perder velocidad de manera involuntaria, tanto si es entrenando o compitiendo en cualquier deporte o levantando un peso, se está en *situación de resistencia a la fuerza*. En esta *situación* se sufre una pérdida progresiva de fuerza, pero al mismo tiempo se estimula la capacidad de resistencia a la fuerza.

Dado que esta resistencia a la fuerza es, lógicamente, muy específica, y teniendo en cuenta el efecto de la especificidad del tipo de ejercicio y entrenamiento realizado sobre del rendimiento, se puede deducir que salir del escenario propio de competición para hacer ejercicios supuestamente parecidos (“específicos”) en el gimnasio con numerosas repeticiones para mejorar la resistencia a la fuerza no es lo más razonable. Lo que hay que hacer en el

gimnasio no es entrenar la resistencia a la fuerza, sino entrenar/mejorar la fuerza (máxima y explosiva) con los ejercicios más adecuados a la especialidad y con las series, repeticiones por serie y carácter del esfuerzo propios del entrenamiento de fuerza González-Badillo y Gorostiaga (1997).

Por tanto, el entrenamiento de la resistencia a la fuerza debe hacerse con el propio ejercicio de competición durante los entrenamientos específicos de cada deporte. Siempre que "se entrena la resistencia" con el ejercicio específico se entrena la "resistencia a la fuerza". En deportes cíclicos, a mayor intensidad (velocidad desplazamiento o de ejecución del gesto) mayor incidencia se hace sobre la fuerza, pero siempre en situación de "resistencia", dado que el número de repeticiones del gesto en estos deportes difícilmente bajará de las 20-30 acciones (gestos de competición) repetición o serie en un entrenamiento. En los deportes acíclicos la resistencia y la resistencia a la fuerza tienen menor importancia en el rendimiento, pero su desarrollo también será estimulado por la repetición en mayor o menor número del propio gesto de competición.

Según la resistencia a vencer, la frecuencia e intensidad del gesto y la duración de la prueba, pueden darse una gran diversidad de situaciones. Esto hace que no exista un entrenamiento de resistencia a la fuerza tan definido como lo es, por ejemplo, el de fuerza máxima. Por tanto, el entrenamiento de resistencia a la fuerza también es específico de cada deporte.

### 1.8. Evaluación de la fuerza

La evaluación de la fuerza forma parte del control del entrenamiento. El control tiene como objetivo proporcionar constante información acerca de los efectos del trabajo realizado y del estado físico-técnico del deportista. A través de él se racionaliza el proceso de entrenamiento, ya que gracias a la

información se puede proporcionar el estímulo más ajustado y obtener los mejores rendimientos con el menor esfuerzo (González-Badillo & Gorostiaga, 1997).

### *Objetivos de la evaluación*

La valoración de la fuerza se puede hacer al menos para conseguir los siguientes objetivos:

- \* Controlar el proceso de entrenamiento / cambios en el rendimiento
- \* Valorar la relevancia de la fuerza y la potencia en el rendimiento específico: varianza explicada
- \* Definir las necesidades de fuerza y potencia
- \* Definir el perfil del deportista: puntos fuertes y débiles
- \* Comprobar la relación entre los progresos en fuerza y potencia y el rendimiento específico: relación entre cambios
- \* Predecir los resultados.
- \* Prescribir el entrenamiento más adecuado en función de:
  - Las necesidades de fuerza y potencia en el deporte y del propio sujeto
  - Los resultados de los tests realizados hasta el momento
- \* Valoración de la influencia de la fuerza y la potencia sobre las demás cualidades
- \* Discriminar entre deportistas del mismo y de diferentes niveles deportivos
- \* Contribuir a la identificación de talentos.

### *Factores que influyen en la medición*

Cuando se pretende realizar una medición, se debe considerar lo siguiente:

¿Qué es lo que se pretende medir?: fuerza, velocidad, fatiga, técnica, relación entre diferentes cualidades, la carga de entrenamiento... No siempre es fácil conocer la esencia y la estructura de lo que se quiere medir, por lo que a veces se quiere medir una cosa y se medie otra. Por tanto, hay que buscar la validez

de la medición, asegurarse de que lo que se pretende medir es realmente lo que se medie. En la mayor parte de los casos, se medie una cosa a través de otra: por ejemplo, la fuerza explosiva a través de la elevación del centro de gravedad en un salto vertical. Para que esto tenga validez, es necesario que se compruebe que lo que se mide directamente refleja en realidad la cualidad o característica que se quiera medir indirectamente.

El instrumento de medida ha de poseer una constancia y precisión suficientes, de forma que cada magnitud de la característica, cualidad o fenómeno que se mide reciba idéntica o suficiente semejanza en la valoración en todos los casos en que sea utilizado el instrumento. De esto depende la confianza que podamos conceder a los datos, es decir, la fiabilidad de la medición.

También es necesario considerar las circunstancias en las que se realiza la medición: el calentamiento previo, la temperatura, la hora, y, sobre todo, la actitud del deportista, que no siempre se "entrega" de la misma forma en la realización de un test.

### *Método isométrico*

Este método consiste en realizar una activación muscular voluntaria máxima contra una resistencia insalvable. Se pueden utilizar aparatos especialmente diseñados para ello o procedimientos más "caseros". Entre los primeros están las células de carga (galgas extensiométricas o piezoeléctricas), colocadas en plataformas dinamométricas o en otros tipos de transductores de fuerza, y las máquinas isocinéticas. Entre los segundos estarían los pesos libres utilizados con cargas progresivas hasta llegar a una resistencia imposible de desplazar. Con los primeros se obtiene más información y más precisa que con los segundos (González-Badillo y Gorostiaga, 1997).

### *Método isocinético*

Consiste en realizar activaciones musculares concéntricas y excéntricas, en las que la velocidad permanece constante durante la mayor parte del recorrido.

Las activaciones isocinéticas sólo pueden realizarse con máquinas electrónicas especiales. Su utilidad está limitada por el coste del material y por ciertos problemas que presenta el propio sistema de medida.

En la fase inicial del movimiento es necesaria una aceleración en el desplazamiento angular de la articulación que está siendo sometida al test, hasta que se alcanza la velocidad establecida de antemano y ésta queda regulada, fijada, por el mecanismo de control de la máquina. A altas velocidades, el tiempo para obtener la fase isocinética es muy alto, por lo que sólo una pequeña fase del recorrido es, realmente, isocinética.

Asociado a la alta velocidad está también el "choque" que se produce al "frenar" la máquina, de manera brusca, el movimiento de un miembro de la articulación medida, con la consiguiente oscilación en el registro de la fuerza. Por tanto, parece que un método isocinético no es muy apropiado para medir fuerzas a altas velocidades. De aquí se deduce que el pico de fuerza máxima siempre vendría expresado más tardíamente que si desde el primer momento se pudiese aplicar la máxima fuerza. Esto también va a influir en el ángulo en el cual se produce dicha fuerza.

Según estos planteamientos, estas máquinas tendrían una aplicación más apropiada con velocidades muy bajas y con activaciones isométricas, que también se pueden realizar con ellas, en distintos ángulos. En algunos casos, están equipadas para realizar pruebas de activación excéntrica máxima, lo que probablemente sería de utilidad, aunque creemos que en un segundo plano (González-Badillo y Gorostiaga, 1997).

Las principales ventajas de este sistema de medición son que permite comparar músculos agonistas y antagonistas, permite medir acciones isométricas, concéntricas y excéntricas y se pueden comparar los miembros entre sí (desequilibrios).

Según Kannus (1994), las mayores desventajas de las mediciones isocinéticas se deben a que es un movimiento no natural.

### *Métodos isoinerciales activaciones concéntricas con pesos libres o máquinas*

Estos métodos se dividen en tres grupos:

- Pesos libres sin instrumentos adicionales de medida
- Pesos libres medidos con el instrumento de medición lineal de fuerza "Isocontrol"
- Plataformas de fuerza

### *Pesos libres sin instrumentos adicionales de medida*

Es el sistema más habitual, sencillo y barato de medir la fuerza, aunque sólo puede proporcionar información sobre valores de fuerza dinámica máxima expresados en kilogramos desplazados en sentido vertical, generalmente. El resultado de estos tests también se conoce como "una repetición máxima" (1RM). Teniendo en cuenta que pocas veces podemos medir la fuerza isométrica máxima, y mucho menos la excéntrica, la medición o la estimación de este dato puede ser útil tanto para la programación del entrenamiento como para su control. Los ejercicios utilizados para medir 1RM en la mayoría de los deportistas no deben exigir una técnica compleja como sentadilla, prensa de banca. Para deportistas con niveles importantes de fuerza se suele utilizar además de los anteriores los ejercicios de técnica compleja (aquellos que implican un mayor número de grupos musculares y su realización exige al menos un dominio mediano de su técnica), entre ellos, los más fáciles y usados son la arrancada de fuerza y cargada de fuerza.

### *Pesos libres medidos con el "Isocontrol"*

Al realizar los tests con pesos libres, nos podemos acercar bastante a la situación real de competición, lo cual es muy positivo, pero nos quedamos

escasos de información. Cuando utilizamos máquinas isocinéticas, tenemos más información, pero nos alejamos mucho de las condiciones que se dan en los movimientos explosivos, los más frecuentes en las actividades deportivas.

Con el dispositivo electrónico de medición lineal de fuerza concéntrica, denominado "Isocontrol", se pueden conseguir los mismos datos que con los pesos libres y, además, otros relacionados con la velocidad, fuerza y potencia desarrolladas durante el ejercicio.

Por tanto, también se obtienen algunos de los ofrecidos por las máquinas isocinéticas, pero sin sus inconvenientes, y adaptándose mucho mejor a las características de los movimientos reales de entrenamiento.

El instrumento "Isocontrol" realiza una medición directa del espacio (desplazamiento vertical, generalmente) recorrido por la resistencia en función del tiempo. La resolución de la medición del espacio es de 0.2 mm. El tiempo se mide con una precisión de reloj de 0.2 ms, con una frecuencia de 1000 Hz, por tanto se obtiene un dato cada milisegundo.

El instrumento se utiliza principalmente para trayectorias verticales, con pesos libres o con máquinas. Aunque la trayectoria se desvíe de la vertical, la precisión de la medida sigue siendo alta. El instrumento posee un sistema interno de autocorrección. Según los estudios de precisión efectuados en el Instituto Nacional de Tecnología Aeronáutica (INTA) de Madrid, si la trayectoria fuera vertical, el error sería prácticamente cero, si se desvía cinco grados, el error en la distancia es del 0.38%, y si se desvía diez grados es del 1.5%.

Las medidas de precisión del espacio realizadas en el INTA, comparando el "Isocontrol" con la Columna Lineal Aurki (FagorCorporation), con una resolución de 5 mm, arrojan un error medio del 0.0061% cuando se comparan diez distancias desde 100 mm a 1500 mm con 40 mediciones de una distancia de 1000 mm el error es de -0.03% (González-Badillo & Gorostiaga, 1997).

El instrumento consta de un “Módulo Central”, que desempeña la misión de conectar los sensores de medición con el PC, de un alimentador de 24 voltios, que proporciona la alimentación para el funcionamiento del “Módulo Central” y del sensor dinámico o encóder, que consta de un cable de dos metros con un dispositivo para engancharlo a la barra.

### *La máxima potencia en relación con el ejercicio realizado*

En casi toda la bibliografía ha reportado que la potencia máxima se alcanza con el 30% de la fuerza máxima, sin especificar cuál es esa fuerza máxima. En el mejor de los casos –y de manera más correcta y cierta– se dice que es el 30% de la fuerza isométrica máxima (FIM). Pero para González-Badillo y Gorostiaga (1997), esto no es suficiente y, además, puede llevar a claros errores. Ya que después de medir la potencia en distintos grupos de deportistas en algunos de los ejercicios de uso más habitual y que constituyen la base de la mayoría de los entrenamientos de fuerza, se ha encontrado que la máxima potencia se produce con porcentajes muy distintos de 1RM (González-Badillo, 2000).

### *Métodos basados en el Salto Vertical*

Estos están basados en varios tipos de saltos entre ellos están el salto sin contramovimiento (SJ), salto con contramovimiento (CMJ), salto en profundidad (DJ). Cada uno de ellos tiene distintas aplicaciones según Bosco (1992).

Uno de los instrumentos más estables para medir la capacidad de salto es la plataforma de contacto. Aunque la realización incorrecta del test puede generar errores importantes. Con ella se puede medir el tiempo de vuelo en el salto, que es transformado en una estimación de la altura de manera inmediata a través de un microprocesador. También se puede medir el tiempo de contacto cuando se hacen varios saltos seguidos o un salto en profundidad.



### *Evaluación de la acción motriz (carrera)*

Para determinar los efectos globales del entrenamiento de fuerza en los desplazamientos se requiere determinar el tiempo en cubrir una distancia determinada. Para medir el tiempo de un desplazamiento de carrera, lo más habitual es utilizar una serie de barreras de células fotoeléctricas que registran los tiempos parciales y/o acumulados. Estas mediciones pueden complementarse con la grabación en video de los ensayos para el posterior análisis de la técnica. Cada barrera de células fotoeléctricas se compone de un emisor y receptor láser conectados por telemetría a un receptor que transmite la información al software.

Los tests realizados para medir el tiempo en recorrer una determinada distancia dependen de las características de las distintas modalidades deportivas, siendo los más habituales, especialmente en los deportes de equipo, el test de 30 m en línea recta y la carrera en zigzag de 20 m.

En el test de 30 m en línea recta, se establecen como indicadores distintos de la capacidad de aceleración al tiempo transcurrido en recorrer los primeros 10 m y los últimos 20 m. Como se representa en la figura 3, la distancia es medida a partir de la longitudinal de cada barrera de células fotoeléctricas. Al objeto de no activar la primera barrera de células, la línea de salida se retrasa ligeramente. No hay consenso en la literatura sobre la distancia entre la línea de salida y la longitudinal de la primera barrera de células, 5 cm (Jason Vescovi, comunicación personal en: Legaz-Arrese, en edición), 0.5 m (Gorostiaga et al., 2006; Padullés, 2004). Las células fotoeléctricas deben colocarse sobre un trípode a una altura que varía en función de los estudios, 0.4 m ~1 m (Vescovi & McGuigan 2008). Se recomienda seleccionar el mejor tiempo de 2 ejecuciones. Si la diferencia de tiempo en recorrer 30 m es superior a 0.1 seg, se recomienda ejecutar un tercer intento, seleccionando el mejor de los 2 tiempos más próximos (Vescovi & McGuigan, 2008). El tiempo de descanso entre intentos debe situarse entre 90 seg (Gorostiaga et al., 2006) y 2 min (Little & Williams,

2005). Para la ejecución de un test de sprint se requiere de un calentamiento previo incluyendo carrera continua, aceleraciones, y estiramientos (Gorostiaga et al., 2006).

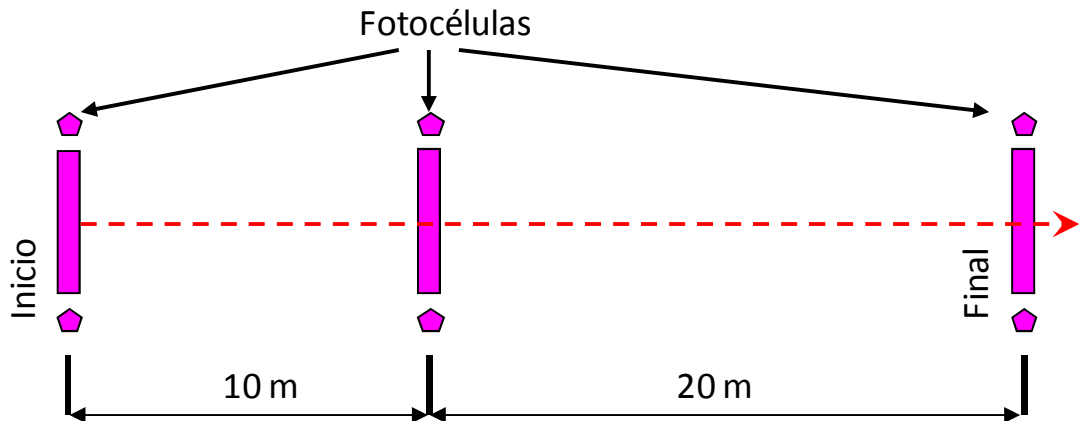


Figura 3. Adaptado de Mirkov D, et al. *J Strength Cond Res* 2008;22:1046-50, en Legaz-Arrese (en edición).

El test de 20 m en zigzag, consiste en recorrer a la máxima velocidad 4 secciones de 5 m delimitadas por conos que están dispuestos en un ángulo de 100°. La selección de este test está basada sobre la rápida aceleración, desaceleración, y control de equilibrio requerido para una carrera corta con cambios de dirección. En algunos deportes como fútbol se ejecuta también este test con balón, pudiendo establecer el índice técnico relacionando el tiempo del test con y sin balón (Mirkov et al., 2008).

La velocidad de desplazamiento de carrera también puede medirse utilizándose un medidor de distancia láser. Esta tecnología por ejemplo fue aplicada en el mencionado estudio de Schade et al. (2005), para determinar en distintos intervalos de distancia la velocidad de aproximación en el salto con pértiga. Mediante esta tecnología se puede disponer de un registro continuo de la velocidad de desplazamiento.

Para desplazamientos en carrera de mayor duración, únicamente se requiere desplazar la barrera de células fotoeléctricas hasta la distancia de medición deseada y/o incluir tantas barreras como tiempos parciales se deseen obtener. En competiciones oficiales de carreras se utiliza el sistema videofinish o fotofinish, que consiste en una imagen continua sincronizada con una escala de tiempo captada mediante una cámara fotográfica o una cámara de video que enfoca la línea de llegada. Actualmente, tiene una precisión de hasta una diezmilésima de segundo. Este sistema, es el utilizado en la mayoría de las competiciones oficiales de las modalidades deportivas de desplazamiento (Legaz-Arrese, en edición).

## 2. OBJETIVO E HIPÓTESIS

Objetivo. Determinar si un test de 1RM en miembros inferiores está asociado con el test de 30 m sprint en jugadores jóvenes profesionales de fútbol.

Hipótesis asociada. Los jugadores jóvenes profesionales de fútbol que mayor fuerza manifiestan en 1RM son los que menor tiempo realizan en el test de 30 m sprint.

## 3. VARIABLES DE ESTUDIO

Para este estudio tenemos como variables 1RM, test 30 m sprint, índice 1RM/PC, índice de masa corporal (IMC).

Teniendo como variables independientes: índice de 1RM/PC y nivel de entrenamiento previo con sobrecargas.

Variables dependientes: 1RM, test 30 m sprint.

Definición de las variables

1RM: es una acción dinámica donde se manifiesta el mayor nivel de fuerza al desplazar una carga máxima en una sola repetición.

Test 30 m sprint: consiste en recorrer una distancia de 30 m en línea recta en el menor tiempo posible.

1RM/PC: es la diferencia que hay entre los kilogramos levantados en 1RM y el peso corporal.

IMC: es una medida de asociación entre el peso corporal y la talla de un individuo (peso corporal (kg)/estatura (m<sup>2</sup>)).

## 4. INVESTIGACIÓN REALIZADA PARA TESTAR LA HIPOTESIS

### 4.1. Resumen y abstract

#### RESUMEN

Objetivo: determinar si la fuerza máxima (1RM) correlaciona con el test de 30 m sprint en jugadores jóvenes profesionales de fútbol. Método: trece jugadores de fútbol (media (DS) edad 15.7 (0.48) años, altura 176 (6.3) cm, peso 64.1 (7.4) kg, realizaron test de 1RM y 30 m sprint. Resultados: no se encontró una correlación significativa entre 1RM en sentadilla paralela al suelo y 30 m sprint ( $r=-0.253$ ,  $p=0.404$ ). Conclusión: en jugadores jóvenes profesionales 1RM no correlaciona con test de 30 m sprint, probablemente debido a una falta de adaptación al trabajo con sobrecargas.

Palabras clave: fútbol, fuerza máxima, fuerza explosiva, test 30 m sprint

#### ABSTRACT

Aim: to determine if the maximum strength (1RM) can be correlated with the 30-m (meters) test in young male soccer players. Method: on thirteen soccer players (median (DS), age 15.7 (0.48) years old, height 176 cm (6.3), weight 64.1 kg (7.4), the 1RM and 30-m sprint test was conducted. Results: it was not found a significant correlation between 1RM in squat parallel to the ground and the 30-m sprint ( $r=-0.253$ ,  $p=0.404$ ). Conclusion: in young male professional soccer players the 1RM does not correlates with the 30-m sprint test, probably this is due to a lack of adaptation to the work with higher overloads.

Key words: soccer, maximal strength, rate of force development, 30-m sprint test

### 4.2. Introducción

Durante un partido de fútbol los jugadores de nivel elite recorren una distancia de 8-12 km, la diferencia en la distancia recorrida es dependiente del sistema de juego empleado (Bangsbo, Nørregaard & Thorsø, 1991; Reilly, 1996; Reilly & Thomas, 1976), al respecto recientemente ha sido demostrado que una mejora en la capacidad aeróbica en jugadores de fútbol juveniles de nivel elite incrementa la distancia recorrida, la intensidad de juego, el número de sprints realizados y el manejo del balón durante el partido (Helgerud, Engen, Wisløff & Hoff, 2001), sin embargo no podemos dejar de lado la importancia de la fuerza ya que durante la competición el jugador profesional de fútbol realiza numerosos cambios de dirección ejecutando continuamente intensas contracciones musculares para mantener el equilibrio y control del balón contra la presión del contrario (Withers, 1982), por consiguiente la fuerza y la potencia tienen tanta importancia como la resistencia en jugadores de fútbol de máximo nivel (Wisløff, Castagna, Helgerud, Jones & Hoff, 2004). La potencia es el producto de la fuerza y velocidad (Stølen, Chamari, Castagna & Wisløff, 2005), por lo que un incremento de ésta incide en la mejora de la ejecución de acciones de máxima intensidad que son decisivas durante un partido (p.e.

ganar un balón por aire al saltar, en un golpeo, cambios de dirección y realizar sprint a máxima velocidad en un duelo contra un oponente), es por esto que la fuerza/potencia toma un especial interés en el fútbol. Es conocido que la potencia es principalmente dependiente de la fuerza máxima (Bührlé & Schmidbleicher, 1977), una de las formas de determinarla es mediante 1RM, a su vez 1RM ha sido relacionado con el test de 30 m sprint, en atletas de lanzamientos y/o saltos (Schmidbleicher, 1992), así como en futbolistas profesionales de nivel elite ( $r=0.71$   $p<0.01$ ) (Wisløff et al., 2004), sin embargo, al menos en nuestro conocimiento se desconoce si esta relación también se da en jóvenes jugadores profesionales de fútbol. De existir esta relación también en jugadores jóvenes profesionales se puede especular al menos teóricamente que incrementando la fuerza máxima se pudiera incidir en la mejora de la aceleración y la velocidad de las habilidades críticas del juego, así como dar las pautas para la detección de talentos y el brindar datos concretos que ayuden a reorientar el entrenamiento. El objetivo del presente trabajo es determinar si un test de 1RM en miembros inferiores está asociado con el test de 30 m sprint en jugadores jóvenes profesionales de fútbol. Con la hipótesis de que los jugadores jóvenes profesionales de fútbol que mayor fuerza manifiestan en 1RM son los que menor tiempo realizan en el test de 30 m sprint.

### 4.3. Métodos

Este estudio es de tipo transversal y de correlación entre las variables, los participantes de este estudio fueron invitados mediante una carta oficial a la directiva del club.

#### *Participantes*

Un total de 18 varones jugadores juveniles profesionales de fútbol (tercera división, México) inicialmente formaron parte de la muestra del estudio, sin embargo durante el transcurso de las pruebas 5 jugadores no pudieron terminar las valoraciones, ya que 3 sufrieron una lesión durante la competición,

uno se reportó enfermo y otro más fue llamado a entrenar con una categoría filial superior, por lo que nuestra muestra final consistió en 13 jugadores, edad 15.7 (0.48) años (media (DS)); altura 176 (6.3) cm; peso 64.1 (7.4) kg; IMC 20.84 (2.0) kg/m<sup>2</sup>, frecuencia de entrenamiento 6 (0.0) días/semana, duración de las sesiones 2.5 (0.0) horas. Los jugadores fueron divididos de forma aleatoria en 2 grupos (A y B), el protocolo del estudio se efectuó en dos diferentes días, separados por 1 semana, en el primer día grupo A realizó test de 1RM y grupo B test de 30 m sprint, en el segundo día se intercambiaron las valoraciones (grupo A realizó test de 30 m sprint, grupo B test 1RM), esto con el objeto de evitar la influencia del entrenamiento, los dos días seleccionados para los test fueron después de 36 horas posteriores a una competición. Todos los jugadores dieron su consentimiento firmado así como sus padres para participar en el estudio.

### *Test de 1RM*

La determinación de utilizar un test directo de 1RM conlleva un riesgo innecesario para los huesos y ligamentos de sufrir una lesión (Braith, Graves, Leggett, & Pollock, 1993), y además probablemente, un margen de error superior a la determinación indirecta debido a deficiencias en la ejecución técnica (Legaz-Arrese, Vélez-Blasco & Carranza-García (En edición)). Por lo tanto, siguiendo las recomendaciones de Legaz-Arrese et al. (En edición) para la estimación del 1RM de forma indirecta el calentamiento general consistió en realizar carrera continua por 5 min, movilidad articular enfocado en miembros inferiores. Como calentamiento específico los jugadores realizaron 3 series progresivas que oscilaron entre el 30% y 70% de 1RM y entre 10 y 6 repeticiones de sentadilla paralela al suelo (< a 90° el ángulo de flexión de rodilla) realizada con una barra y pesos estándar para competiciones olímpicas (T-100G; Eleiko, Halmstad, Suecia), descansando 2 -3 min entre series, posteriormente se realizaron ~3 intentos de 3-5 repeticiones hasta el fallo muscular (Figura 3), para posteriormente aplicar la fórmula de Brzycki (1993) para determinar 1RM ( $1RM = (\text{peso levantado} / (1.0278 - [0.0278 \times \text{rep.}]))$ ). Los

jugadores fueron familiarizados con la ejecución de las sentadillas paralelas al suelo como parte de su entrenamiento normal de fuerza con 1 frecuencia por semana, durante las 2 últimas semanas previas a este estudio.

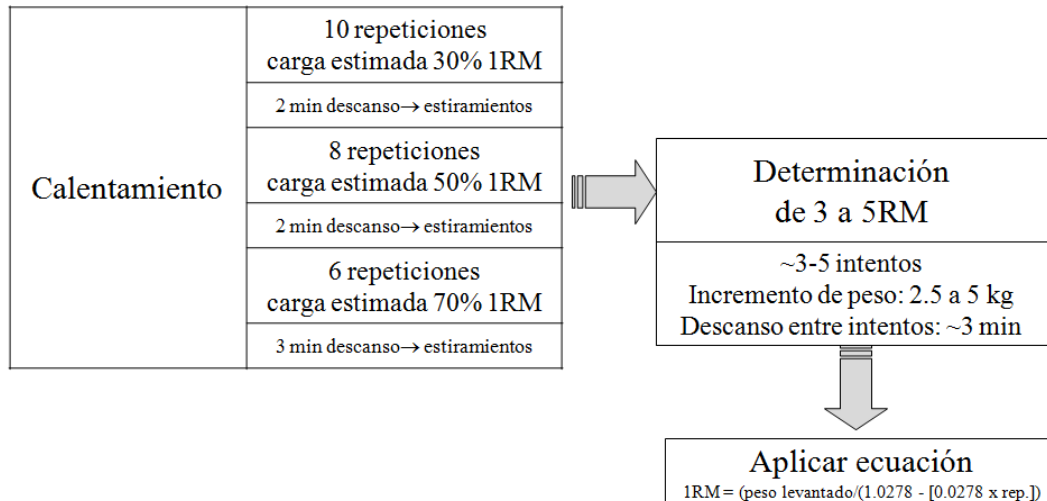


Figura 4. Protocolo para determinar 1RM de forma indirecta, adaptado a partir de Legaz et al. (En edición).

### Test de 30 m sprint

Una vez realizado un calentamiento específico para competición que consistió en: a) trote ligero, b) movilidad articular, b) ejercicios básicos de pase y conducción, c) ejercicio de espacio reducido de posesión de balón 3 vs 3 (este calentamiento les tomo ~30 min), los jugadores tuvieron una recuperación de 7 min antes de realizar el test de 30 m sprint en línea recta. El test fue realizado en la cancha de juego sobre una superficie de pasto natural, para las 2 sesiones que tomo este estudio 2 horas antes a la medición fue podado el césped a la misma altura, los jugadores utilizaron el calzado normal para un partido oficial, el tiempo fue obtenido por un sistema telemétrico de fotocélulas (Byomedic, System, Barcelona, España), cada sujeto realizó al menos 2 repeticiones separadas por 5 min de recuperación. El sujeto decidió por sí mismo la salida. Con el objeto de no activar la primera barrera fotoeléctrica, la línea de salida se retrasó 50 cm detrás de la primera fotocélula atendiendo las recomendaciones de Gorostiaga et al. (2006). La posición de salida fue desde



parado. Las células fotoeléctricas se colocaron sobre un trípode a una altura de 40 cm (Padullés, 2004), el tiempo del sprint empezaba registrarse cuando el jugador cruzaba la primera fotocélula colocada en la salida, y paraba cuando se cruzaba el láser de la fotocélula de llegada. Si la diferencia de tiempo en recorrer la distancia de los 30 m fue superior a 0.1 seg, se ejecutó un tercer intento, utilizando en el análisis el mejor de los 2 tiempos más próximos (Vescovi & McGuigan, 2008).

### *Análisis estadístico*

El análisis estadístico fue realizado utilizando el software SPSS (versión 15.0, SPSS, Inc., IL,). Los valores son expresados como media y desviación estándar (DS). Antes de comparar medias fue analizada la normalidad de las variables con los test de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk. La comparación para el nivel jugadores entrenados y no entrenados con sobrecargas, así como para el nivel del Índice de 1RM/PC fue utilizado el test t de student para muestras independientes. El coeficiente de correlación de Pearson fue utilizado para determinar la interrelación entre las variables seleccionadas. Fue establecido un nivel de significación estadística de  $p < 0.05$ .

## 4.4. Resultados

Se obtuvieron los siguientes resultados: 1RM 77.00 (10.2) kg, test de 30 m 4.35 (0.18) seg, índice de 1RM/PC 1.21 (0.18). No se encontró una correlación significativa entre 1RM y test de 30 m ( $r = -0.258$ ,  $p = 0.395$ ) (ver gráfico 1), ni con el índice de 1RM/PC ni test de 30 m sprint ( $r = -0.253$ ,  $p = 0.404$ ) (ver gráfico 2). El peso presentó una correlación significativa con el índice de 1RM/PC  $r = -0.587$ ,  $p = 0.035$ ), así como 1RM correlacionó significativamente con el índice 1RM/PC ( $r = 0.629$ ,  $p = 0.021$ ). Con el fin de analizar la influencia de haber trabajado anteriormente con sobrecargas sobre 1RM, el índice 1RM/PC y el test de 30 m sprint, se subdividió la muestra en dos grupos: a) jugadores que

habían trabajado previamente con sobrecargas y, b) jugadores que no habían trabajado nunca con sobrecargas, para este análisis se aplicó un test de T de student para muestras independientes, no se encontraron diferencias significativas en 1RM, test 30m sprint, ni en el índice de 1RM/PC con relación a haber trabajado previamente con sobrecargas de forma programada ( $p>0.05$ ) (ver tabla 1).

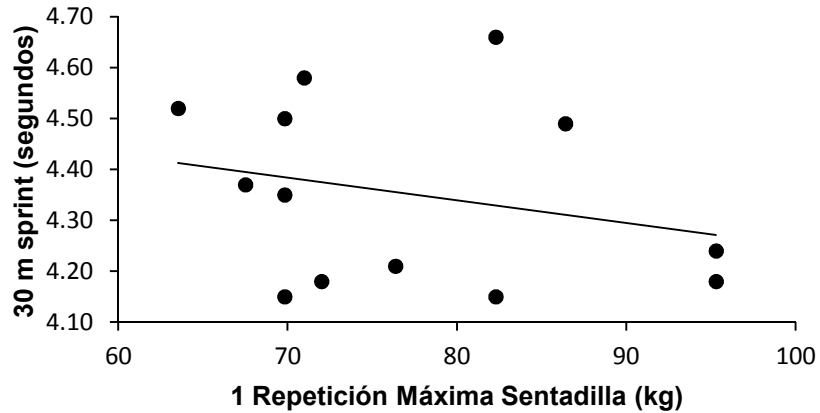


Gráfico 1. Correlación de 30 m sprint y 1RM en sentadilla paralela al suelo

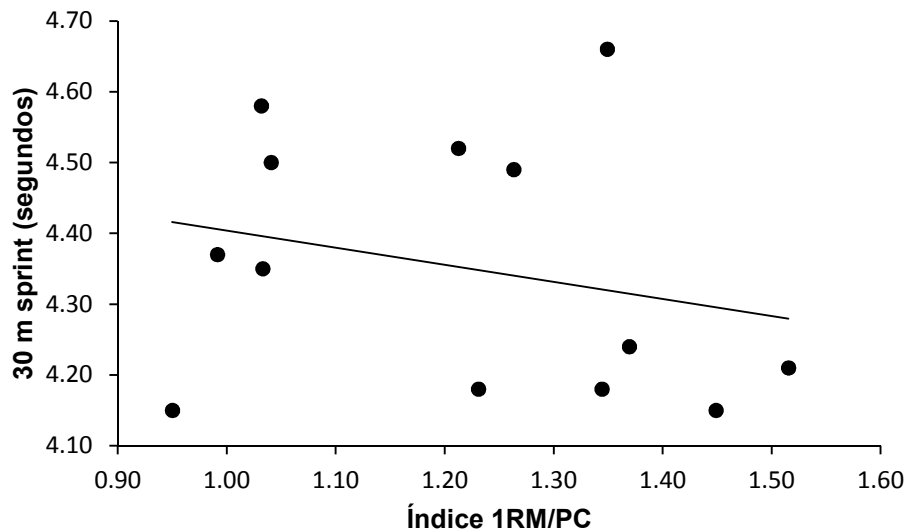


Gráfico 2. Correlación de 30 m sprint y índice 1RM/PC.

Tabla 1. Análisis en función de si habían trabajado o no con sobrecargas durante su vida deportiva anterior a este estudio.

	Entra. previo*	N	Media	DS	P-Valor
Test 30m	Si	7	4.30 (seg)	0.16	0.448
	No	6	4.41 (seg)		
1RM	Si	7	76.71 (kg)	11.21	0.508
	No	6	77.33 (kg)		
Índice RM/PC	Si	7	1.21	0.18	0.361
	No	6	1.22	0.21	
IMC	Si	7	21.24 (kg/m <sup>2</sup> )	2.16	0.599
	No	6	20.38 (kg/m <sup>2</sup> )		
Peso corporal	Si	7	63.90 (kg)	7.90	0.575
	No	6	64.30 (kg)		

*Entra. previo\*= Entrenamiento previo con sobrecargas. Para efecto de este análisis se consideró entrenamiento con sobrecargas previo como aquellas sesiones programadas sistemáticamente en la sala de musculación durante la anterior temporada.*

## Jesús Saldierna Reyna

---

Así mismo con el objeto de comparar a los jugadores por su nivel de 1RM/PC (fuerza relativa) la muestra fue subdividida en dos grupos a) jugadores con el índice de 1RM/PC mayor a 1.21 y b) jugadores con el índice de 1RM/PC menor a 1.20. Solamente pudimos observar diferencias significativas con un mayor 1RM en los jugadores del grupo a, en comparación con el grupo b ( $p=0.027$ ), pero no con el test de 30 m sprint ( $p=0.295$ ) (ver tabla 2). Tampoco correlacionaron significativamente los jugadores con un índice 1RM/PC superior a 1.21 entre el test de 30 m sprint, 1RM, ni con 1RM/PC ( $p>0.05$ ).

Tabla 2. Comparativa entre jugadores por debajo y por arriba de la media del Índice de 1RM/PC

	Índice 1RM/PC	N	Media	DS	P-Valor
Test30m	<1.20	5	4.39 (seg)	0.16	0.295
	>1.21	8	4.33 (seg)	0.20	
1RM	<1.20	5	69.80 (kg)	1.10	0.027
	>1.21	8	81.50 (kg)	10.77	
Índice 1RM/PC	<1.20	5	1.01	0.04	0.111
	>1.21	8	1.34	0.11	
IMC	<1.20	5	21.34 kg/m <sup>2</sup>	1.69	0.069
	>1.21	8	20.54 kg/m <sup>2</sup>	2.21	

## 4.5. Discusión

El principal resultado encontrado fue que no hubo relación entre 1RM y el test de 30 m ( $r=-0.258$ ,  $p=0.395$ ). Este resultado contradice lo encontrado por otros autores (Requena et al., 2009; Wisløff et al., 2004). Wisløff et al. (2004) encontraron una correlación significativa entre a mayor 1RM, menor tiempo realizado en 30 m sprint. Los valores absolutos de 1RM y 30 m sprint reportados por Wisløff et al. (2004) son muy superiores a los nuestros, sin embargo cabe mencionar que los sujetos participantes en ese estudio fueron futbolistas profesionales dedicados de tiempo completo al fútbol con una media de edad de 25.8 años, por su parte Requena et al. (2009) también encontraron correlación significativa entre estas dos variables (1RM y test de sprint  $r=-0.47$   $p<0.05$ ), en este estudio los jugadores eran semiprofesionales que entrenaban al menos 6 días a la semana con una media de edad de 20 años. En un reciente estudio (Wong & Wong, 2009) con jugadores de similar edad y peso a nuestra muestra encontró valores medios de 1RM de 116.3 kg (muy superior a nuestra datos 77.00 kg), y tiempo en 30 m sprint de 4.32 seg (versus 4.35 seg de nuestra muestra). Al respecto los valores de 1RM de ese estudio son muy superiores a los nuestros, no obstante esta diferencia no es tan marcada en el tiempo realizado en el test de 30 m sprint, resaltar que los jugadores del estudio de Wong y Wong (2009) fueron seleccionados nacionales de China. Así mismo en jugadores de nivel elite se han reportado tiempos de 4.0 seg en 30 m sprint (Wisløff et al., 2004). Con estos datos y a falta de otros estudios similares al nuestro parecen sugerir que el no haber encontrado una relación entre 1RM y test de 30 m pudieran deberse a los valores tan bajos de 1RM de nuestra muestra con relación a los datos reportados por Wong y Wong (2009), más, que al tiempo realizado en los 30 m sprint. Esta reflexión induce a especular en base a nuestra experiencia práctica, que los bajos valores de 1RM de nuestro estudio correspondan a la falta de adaptación al trabajo con sobrecargas

máximas-submáximas y/o a que no manifestaron su máximo esfuerzo, probablemente a las molestias que conlleva el sostener una barra con cargas altas sobre los deltoides cuando no se está habituado a ello. Recordemos que nuestros jugadores solamente tuvieron 2 sesiones de trabajo con sobrecargas previas a la valoración de 1RM. Un reciente estudio encontró una alta correlación en un test y retest de 1RM en sujetos no entrenados con 6 sesiones de adaptación previo a la primera valoración (Levinger et al., 2009). Destacar que aunque no fue objeto de este estudio, días posteriores al test de 1RM a nuestros jugadores se les realizó un test de máxima potencia utilizando un sistema isocontrol, la cual algunos la alcanzaron con el 90% de su 1RM, sin embargo algunos autores soportan que la máxima potencia en sentadilla se obtiene entre un 45% y un 60% de 1RM (Izquierdo, Häkkinen, Gonzalez-Badillo, Ibáñez & Gorostiaga, 2002; Siegel, Gilders, Staron & Hagerman, 2002), en nuestra experiencia en sujetos entrenados con sobrecargas la máxima potencia se alcanza con cargas entre el 60-70% de 1RM (datos no publicados), por lo que prácticamente es casi imposible que nuestros jugadores hayan manifestado su máxima fuerza en el test de 1RM, soportando la teoría de González-Badillo y Gorostiaga (1997) de que el test de 1RM no debe medirse en sujetos jóvenes o con poca experiencia en el entrenamiento de fuerza ya que los datos no serían fiables debido a que no manifiestan su máximo esfuerzo este tipo de sujetos por miedo, inseguridad y falta de técnica. Todos estos argumentos parecen afirmar que nuestros resultados se debieron muy probablemente a una falta de adaptación a las sentadillas con carga, evidenciando que los jugadores objeto de nuestro estudio requieren de un trabajo orientado a mejorar la adaptación, así como también al desarrollo de la fuerza máxima, que pueda repercutir positivamente en la mejora del rendimiento de los gestos específicos del fútbol. La teoría de que nuestros jugadores no manifestaron su máxima fuerza en el test de 1RM debido a una falta de adaptación al trabajo con sobrecargas parece soportarse aún más ya que no se encontraron diferencias significativas entre los jugadores que la temporada anterior habían trabajado con sobrecargas y los que nunca habían trabajado con sobrecargas. Esta reflexión parece sugerir que

los jugadores de nuestra muestra acusan también una falta de trabajo de fuerza máxima.

Sin embargo, estas comparaciones deben tomarse con reservas debido a que en el fútbol no existen protocolos estandarizados para determinar los diferentes niveles de fuerza por lo que se dificulta la comparación entre los resultados de los diferentes autores (Wisløff et al., 2004). Por ejemplo nosotros realizamos la sentadilla paralela al suelo, mientras otros autores solo la realizan hasta un ángulo de 90°, el problema de esta metodología es que se requiere de un goniómetro para medir el ángulo de flexión de la rodilla, además pocos estudios hacen referencia entre el tiempo de recuperación entre series, así como el número de series realizadas hasta encontrar 1RM o si lo hacen de forma directa o indirecta.

Por otra parte los valores de 30 m sprint reportados por los diferentes autores también pueden estar sujetos en gran medida a la superficie en donde se realizan los test, ya que hay estudios como Wong y Wong (2009) que realizaron el test de 30 m en una pista de atletismo, para evitar la resistencia que supone el correr sobre pasto de una cancha de fútbol oficial, así como las diferencias que supone el tiempo empleado para el calentamiento que va de los 10 hasta 30 min, los ejercicios realizados, el tiempo de recuperación entre series, la distancia entre la salida y la primera fotocélula, influencia del aire, todos estos factores pueden incrementar la diferencias encontradas con nuestros resultados y lo reportado en la literatura.

La falta de herramientas tecnológicas para controlar el ángulo de flexión y la distancia del recorrido de la carga en 1RM limitan nuestros resultados, futuros trabajos deberán emplear herramientas para dilucidar nuestros resultados.

Tanto la fuerza máxima como la fuerza explosiva son importantes factores para el éxito del fútbol debido a que son factores de rendimiento importantes de juego (Reilly & Thomas, 1976; Wisløff et al., 2004). Algunos autores (Almåsbaek & Hoff 1996; Sale, 1992; Schmidtbleicher, 1992) recomiendan trabajar tanto la fuerza máxima como la fuerza explosiva de

## Jesús Saldierna Reyna

---

manera sistemática dentro del plan semanal de entrenamiento utilizando pesos libres en lugar de máquinas isométricas o isocinéticas, ya que estas últimas no reflejan el movimiento de los miembros inferiores involucrados en la competición (Requena et al., 2009; Wisløff et al., 2004), realizando pocas repeticiones con cargas altas y altas velocidades de contracción muscular. Además el trabajo de la fuerza en todas sus manifestaciones debe de estar centrado en la transferencia de la fuerza máxima al gesto específico de competición como correr a máxima velocidad, ya que es aquí, donde se dan las acciones críticas del partido incidiendo en el resultado de la competición.



## 5. LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTUROS ESTUDIOS

La falta de herramientas tecnológicas como encoder lineal, goniómetros electrónicos y un metrónomo para controlar el ángulo de flexión y la distancia del recorrido de la carga en 1RM limitan nuestros resultados, futuros trabajos deberán emplear estas herramientas tecnológicas para dilucidar nuestros resultados.

Además nuestra muestra estuvo conformada por jugadores de un mismo equipo de fútbol, probablemente podamos encontrar diferentes resultados al utilizar una mayor muestra donde se incluyan a jugadores de otros equipos que compiten en la misma liga, debido al tipo de entrenamiento que cada jugador realice en sus respectivos equipos.

Futuros estudios deberán realizarse cubriendo las limitaciones de este estudio, agregando al protocolo utilizado en este trabajo una tercera valoración donde se incluya un test de 1RM empleando tecnología como un sistema isocontrol y/o un goniómetro electrónico para controlar las variables de la distancia, el tiempo, la masa y el ángulo de flexión al realizar 1RM y en una muestra donde incluya a más jugadores de otros equipos que compiten en la misma liga, así como también otro protocolo deberá ser diseñado para establecer la influencia de incluir un programa de adaptación de 6-8 sesiones previas a la valoración de un test de 1RM en jugadores jóvenes profesionales de fútbol.

## 6. CONCLUSIÓN

Los resultados encontrados en este estudio nos obligan a rechazar nuestra hipótesis previamente planteada, ya que al contrario con lo que ocurre con jugadores élite profesionales, en jugadores jóvenes profesionales no hay una correlación significativa entre 1RM de miembros inferiores y un test de 30 m sprint, evidenciando que futuros estudios deben centrarse en dilucidar estas discrepancias.

### Conclusión

Del presente estudio podemos concluir: a) en jugadores jóvenes profesionales de fútbol no existe una relación entre la fuerza máxima en 1RM con el test de 30 m sprint, b) estos resultados probablemente sean debidos a que un test de 1RM requiera de un elevado nivel de adaptación al ejercicio empleado para su valoración, c) futuros estudios deberán ser realizados para comparar la correlación entre utilizar y no utilizar herramientas tecnológicas al hacer 1RM y comprobar su relación con el test de 30 m sprint.

## 7. REFERENCIAS

1. Aagaard, P. & Andersen, J. L. (1998). Correlation between contractile strength and myosin heavy chain isoform composition in human skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 30(8), 1217-1222.
2. Almåsbaek, B., & Hoff, J. (1996). Coordination, the determinant of velocity specificity? *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2046-2052.
3. Arnason, A., Sigurdsson, S.B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 278-285.
4. Bangsbo, J., Nørregaard, L., & Thorsø F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 16, 110-116.
5. Billeter, R. & Hoppeler, H. (1992). Muscular basis of strength. En: Komi P. (Ed.), *Strength and power in sport*, (pp. 39-63). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
6. Bosco. C. (1992). La valutazione della forza con il test di Bosco. Roma: Società Stampa Sportiva.
7. Braith, R.W., Graves, J.E., Leggett, S., & Pollock, M.L. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25, 132-138.
8. Brzycki, M. (1993). Strength testing: Predicting a one-rep max from reps to fatigue. *Journal of Physical Education Recreation and Dance*, 64, 88-90.
9. Bührle, M., & Schmidtbleicher, D. (1977). Der einfluss von maximalkrafttraining auf die bewegungsschnelligkeit (The influence of maximum strength training on movement velocity). *Leistungssport*, 7, 3-10.
10. Burke, R. E. (1981). Motors units: anatomy, physiology, and functional organization. En: Brooks V. B. (Ed), *Handbook Physiology, Section I:*

- The Nervous System, Vol. II.* (pp. 345-422). Washington: American Physiological Society.
11. Casajús, J. A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(4), 463-469.
  12. Cometti, G. (2005). *Los métodos modernos de musculación*. Barcelona: Paidotribo. Cuarta Ed.
  13. Cronin, J. B., & Hansen, K. T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 349-357.
  14. Ehlenz, H., Grosser, M., & Zimmermann, E. (1990). *Entrenamiento de la fuerza*. Barcelona: Martínez Roca.
  15. Goldspink, G. (1992). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. En: Komi P. V. (Ed.), *Strength and power in sport*, (pp. 211-229). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
  16. González-Badillo, J. J. & Gorostiaga, E. (1997). Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo. Barcelona: Inde. Segunda Ed.
  17. González-Badillo, J. J. & Gorostiaga, E. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona: Inde. Tercera ed. Ed.
  18. González-Badillo, J. J. (1991). *Halterofilia*. Madrid: Comité Olímpico Español.
  19. González-Badillo, J. J. (2000). Concepto y medida de la fuerza explosiva en el deporte. Posibles aplicaciones al entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo (RED)*, XIV(1), 5-16.
  20. González-Badillo, J. J. (2001). Aplicaciones de los resultados de los tests de fuerza al entrenamiento deportivo. En: Campos J. (coord.), *Biomecánica y Deporte* (pp. 291-299). Valencia: Ayuntamiento de Valencia.

21. Gorostiaga, E. M., Granados, C., Ibañez, J., González-Badillo, J. J., & Izquierdo, M. (2006). Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 357-366.
22. Häkkinen, K. & Komi, P. V. (1983). Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(6), 455-460.
23. Hakkinen, K., Alen, M., & Komi, P. V. (1984). Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *European Journal Applied Physiology*, 53, 97-105.
24. Häkkinen, K., Alén, M., & Komi, P.V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125, 573-585.
25. Harman, E. (1993). Strength and power: a definition of terms. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 15(6), 18-20.
26. Harris, G. R., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Proulx, C. M., & Johnson, R. L. (2000). Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14, 14-20.
27. Helgerud, J., Engen, L.C., Wisløff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 1925-1931.
28. Henneman, E., & Mendell, L. M. (1981). Functional organization of motoneuron pool and its input. En: Brookhart, J. M. & Mountcastle, V. B. (Eds.), *Handbook of Physiology: The Nervous System II*, (pp. 423-507). Bethesda, Md : American Physiological Society.
29. Howald, H. (1984). Transformation morphologiques et fonctionnelles des fibres musculaires, provoquées par l'entraînement. *Revue Medicale de la Suisse Romande*, 104(10), 757-769.

30. Izquierdo, M., Häkkinen, K., Gonzalez-Badillo, J.J., Ibáñez, J., & Gorostiaga, E.M. (2002). Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *European Journal of Applied Physiology*, 87, 264-271.
31. Kadi, F., Eriksson, A., Holmers, S. & Thornell, L. E. (1999). Effects on anabolic steroids on the muscle cells of strength trained athletes. *Medicine & Science Sports & Exercise*, 31(11), 1528-1534.
32. Kannus, P. (1994). Isokinetic evaluation of muscular performance: Implications for muscle testing and rehabilitation. *International Journal of Sports Medicine*, Suppl1, S11-S18.
33. Knuttgen, H. G. & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1, 1-10.
34. Komi, P. V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and strength- shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12, 81-121.
35. Komi, P. V. (1986). Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International Journal Sports of Medicine*, 7(Suppl 1), 10-15.
36. Kraemer, W. J. (1992). Hormonal mechanics related to the expression of muscular strength and power. En: Komi, P. V. (Ed.), *Strength and power in sport*, (pp. 169-179). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
37. Kraemer, W. J. (2000). Neuroendocrine responses to resistance exercise. En: Baechle, T.R. (Ed.), *Essentials of Strength Training and Conditioning*, (pp 91-114). Champaign, Illinois: Human Kinetics. Second Ed.
38. Kraemer, W.J., Ratamess, N.A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674-688.

39. Kuipers, H. (1996). How much is too much. Performance aspects of overtraining. *Research Quarterly Exercise and Sport*, 67(Suppl 3), S65-S69.
40. Legaz-Arrese A. (en Edición). *Manual de entrenamiento deportivo*. Badalona, España: Paidotribo.
41. Legaz-Arrese, A., Vélez-Blasco, M., & Carranza-García, L.E. (en Edición). Evaluación y control de fuerza explosiva. Capítulo III. Optimización de la Fuerza, en: Legaz-Arrese A. (Ed.), *Manual de entrenamiento deportivo*. Badalona, España: Paidotribo, S.L.
42. Lehmann, M., Foster, C. & Keul, J. (1993). Overtraining in endurance athletes: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(7), 854-862.
43. Levinger, I., Goodman, C., Hare, D.L., Jerums, G., Toia, D., & Selig, S. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 310-316.
44. Little, T., & Williams, A. G. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 76-78.
45. Luttgens, K. & Wells, K. (1985). Kinesiología. *Bases científicas del movimiento humano*. Madrid: Editorial Augusto E. Pila Teleña.
46. MacDougall, J. D. (1992). Hypertrophy or hyperplasia. En: Komi P. V (Ed.), *Strength and power in sport*. (pp. 230-238). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
47. MacDougall, J. D., Sale, D. G., Always, S.E., & Sutton, J.R. (1984). Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *Journal of Applied Physiology*, 57(5), 1399-1403.
48. MacDougall, J. D., Sale, D. G., Elder, G. C., & Sutton, J. R. (1982). Muscle ultrastructural characteristics of elite powerlifters and bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 48(1), 117-126.

49. Marques, M. C., van den Tillaar, R., Vescovi, J. D., & González-Badillo, J. J. (2007). Relationship between throwing velocity, muscle power, and bar velocity during bench press in elite handball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 414-422.
50. Matveyer, L. P. & Giljatsova, V. B. (1990). The dynamics of the training load. En: *A collection of European Sports Science*, Translations, 39-41.
51. Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., Kukolj, M., Ugarkovic, D., & Jaric, S. (2008). Evaluation of reliability of soccer-specific field tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 1046-1050.
52. Narici, M. (1998). Changes in human muscle architecture in disuse-atrophy evaluated by ultrasound imaging. *Journal of Gravitational Physiology*, 5(1), 73-74.
53. Norman, R.W., & Komi, P. V. (1979). Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 106(3), 241-248.
54. Padullés, J. M. (2004). *Evaluación en los deportes colectivos*. Barcelona: Fundación FC Barcelona.
55. Pampus, B., Lehnertz, K., & Martin, D. (1990). The effect of different load intensities on the development of maximal strength and strength endurance. En: *A collection of European Sports Science Translations* (part II), 20-25.
56. Ploutz L. L., Tesch, P. A., Biro, R. L. & Dudley, G. A. (1994). Effect of resistance training on muscle use during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76(4), 1675-1681.
57. Reilly, T. (1996). Motion analysis and physiological demands. In: *Science and soccer*. London: RTE & FN Spon.
58. Reilly, T., & Thomas, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of Human Movement Studies*, 2, 87-97.
59. Requena, B., González-Badillo, J., de Villareal, E., Erelina, J., García, I., Gapeyeva, H., & Pääsuke, M. (2009). Functional performance, maximal



- strength, and power characteristics in isometric and dynamic actions of lower extremities in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5), 1391-1401.
60. Rutherford, O. M., Greig, C. A., Sargeant, A. J., & Jones, D. A. (1986). Strength training and power output: transference effects in the human quadriceps muscle. *Journal of Sports Sciences*, Autumn, 4(2), 101-107.
61. Sale, D. G. (1986). Neural adaptation in strength and power training. En: Jones, N. L., McCartney, N., & McComas, A. J. (Eds.), *Human Muscle Power*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, Inc.
62. Sale, D. G. (1991). Testing strength and power. En: MacDougall, J. D., Wegner H. A., & Green, H. J. (Eds.) *Physiological testing of the high performance athlete*. Champaign, Illinois: Human Kinetics. Second Ed.
63. Sale, D. G. (1992). Neural adaptation to strength training. En: Komi, P. V. (Ed.), *Strength and power in sport*, (pp. 249-266). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
64. Schade F, Brüggemann GP, Isolehto J, et al. (2005). Pole vault at the World Championships in athletics Helsinki. IAAF: [www.iaafacademy.com](http://www.iaafacademy.com).
65. Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power events. En: Komi, P. V. (Ed.), *Strength and power in sport*, (pp. 381-395). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
66. Semmler, J. G. & Enoka, R. M. (2000). Neural contributions to changes in muscle strength. En: V. Zatsiorsky, V. M. (Ed.) *Biomechanics in sport*, (pp. 3-20). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
67. Siegel, J.A., Gilders, R.M., Staron, R.S., & Hagerman, F.C. (2002). Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16, 173-178.
68. Siff, M. C. (1993), Understanding the mechanics of muscle contraction. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 15(5), 30-33.
69. Siff, M. C. (2000). Biomechanical foundations of strength and power training. En: Zatsiorsky, V. M. (Ed.) *Biomechanics in sport* (pp. 103-139). Oxford: Blackwell Scientific Publications.

70. Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W.J., et al. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 76, 1247-1255.
71. Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine*, 35(6), 501-536.
72. Tesch, P. A. (1989). CK and LD isozymes in human single muscle fibers in trained athletes. *Journal of Applied Physiology*, 66(6), 2717-2720.
73. Tesch, P.A., & Larsson, L. (1982). Muscle hypertrophy in bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(3), 301-306.
74. Thortensson, A. (1976). Muscle strength, fibre types and enzyme activities in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, (Suppl 443), 1-44.
75. Valquer, W., Barros, T.L. & Sant'Anna, M. (1998). High intensity motion pattern analyses of Brazilian elite soccer players. In: *IV World Congress of Notational Analysis of Sport*, (p. 80). Porto: HM Tavares Fernando.
76. Vescovi, J. D., & McGuigan, M. R. (2008). Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *Journal of Sports Sciences*, 26(1), 97-107.
77. Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 285-288.
78. Wisløff, U., Helgerud, J., & Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(3), 462-467.
79. Withers, R.T. (1982). Match analyses of Australian professional soccer players. *Journal of Human Movement Studies*, 8, 159-176.
80. Wong, D. P. & Wong, S. H. (2009). Physiological profile of Asian elite youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5), 1383-1390.

81. Young, W. B. (1993). Training for speed/strength: heavy vs. light loads. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 15(5), 34-42.
82. Young, W. B., & Bilby, G. E. (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(3), 172-178.
83. Zatsiorsky, V. M. (1992). Intensity of Strength training. Facts and Theory: Russian and Eastern European Approach. *Journal of the National Strength and Conditioning Association*, 14(5), 46-57.
84. Zatsiorsky, V. M. (1995). *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics.