

1.3. EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

1.3.1. INTRODUCCIÓN

El entrenamiento con sobrecargas ha mostrado ser efectivo para mejorar la velocidad de ejecución en tareas motrices específicas de los deportes colectivos, como el golpeo en fútbol (Taïana y cols. 1993), los lanzamientos en beisbol (Lachowetz y cols. 1998, McEvoy y Newton 1998), y balonmano (Cardoso y González-Badillo 2006, Gorostiaga y cols. 1999) y los saltos en voleibol (Newton y cols. 1999). Además, el entrenamiento con sobrecargas es efectivo para la prevención de lesiones (Wedderkopp y cols. 1999, Carraffa y cols. 1996) y para mantener niveles óptimos de condición física durante toda la temporada (Cardoso y González-Badillo 2006).

Sin embargo, la efectividad del entrenamiento con sobrecargas depende de la manipulación óptima de los componentes del entrenamiento (Kraemer y Ratammes 2004). El objeto final de este apartado es determinar los principios científicos que determinan la óptima combinación de los componentes del entrenamiento con sobrecargas. Previamente se requiere un análisis global de la importancia del entrenamiento de fuerza para incrementar el rendimiento de los deportes colectivos, de la fuerza manifestada en las tareas motrices específicas, y de los factores neuromusculares determinantes del nivel de fuerza manifestado. Es precisamente el análisis de los factores neuromusculares los que van a justificar la necesidad del entrenamiento con sobrecargas en los deportes colectivos. Todos estos aspectos son por tanto, objeto de análisis en este apartado.

1.3.2. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA FUERZA APLICADOS AL RENDIMIENTO DE LOS DEPORTES COLECTIVOS

1.3.2.1. Importancia de la fuerza para la mejora del rendimiento en los deportes colectivos

La fuerza constituye uno de los principales factores de rendimiento en la mayoría de las modalidades deportivas. De hecho, desde una perspectiva purista, la fuerza es la única capacidad condicional debido a que sólo hay movimiento si hay una aplicación de fuerza, así la velocidad no es más que una manifestación rápida de la fuerza y la resistencia una manifestación prolongada de la fuerza.

Desde una perspectiva física podemos definir la fuerza como la acción que produce cambios en estado de reposo o movimiento de un cuerpo o bien que produce deformaciones, siendo su formulación $F = \text{masa} \times \text{aceleración}$. La manifestación de fuerza en el ámbito deportivo es tan variada como todos los posibles gestos y situaciones motrices de las distintas modalidades deportivas. Por tanto, podemos establecer una definición de la fuerza más aplicada al rendimiento deportivo, como la fuerza manifestada ante una determinada carga a una velocidad de ejecución concreta en una variedad infinita de acciones motrices.

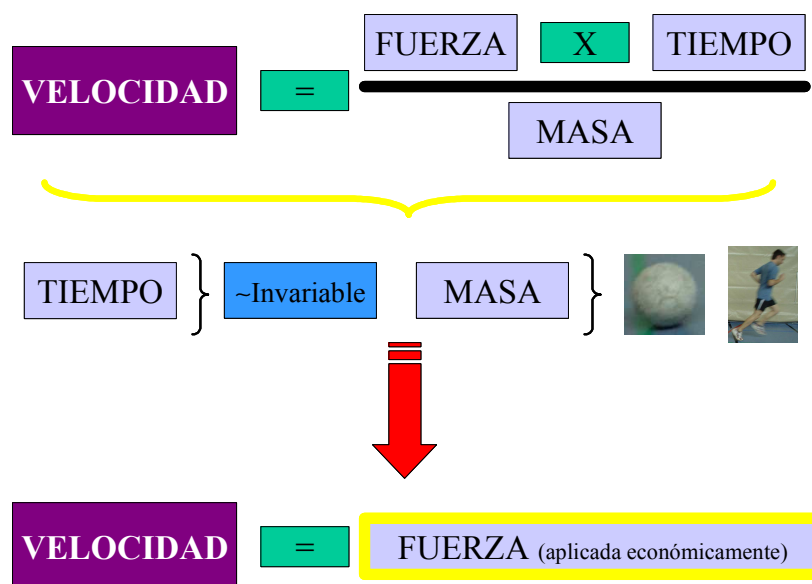
La aplicación de fuerza en los deportes colectivos va a depender de numerosos factores:

- Tipo de resistencia a vencer: el propio peso corporal, el balón, un adversario.
 - La magnitud de la resistencia: cargas altas cuando disputamos una posición con un adversario, cargas medias cuando realizamos una aceleración y/o un cambio de dirección, cargas bajas cuando golpeamos el balón.
 - La duración de aplicación de fuerza: milisegundos cuando golpeamos un balón, varios segundos cuando realizamos una aceleración.
 - Estado psicofisiológico: sin fatiga al inicio del partido o con fatiga en el transcurso del mismo.
-

- En acciones motrices diversas: golpesos, saltos, paradas, aceleraciones, etc.

Lógicamente, resulta imposible realizar un análisis específico de la influencia de todos estos factores en cada una de los movimientos de los deportes colectivos. Sin embargo, es conocido que la mayoría de las acciones motrices decisivas en el rendimiento de estos deportes vienen determinadas por la máxima velocidad de ejecución. Al respecto un mito extendido durante muchos años en la teoría del entrenamiento es que el deportista que es fuerte no es veloz. Como se observa en la figura (17) una sencilla demostración de la física aplicada nos determina lo contrario.

Figura (17). La fuerza determinante del rendimiento de las modalidades deportivas



Únicamente podremos incrementar la velocidad de desplazamiento del peso corporal, o la velocidad con que golpeamos o lanzamos un implemento, incrementando la fuerza y/o el tiempo, o disminuyendo la masa a superar en la aplicación de fuerza. La variabilidad del tiempo en la aplicación de la fuerza en las tareas motrices específicas es muy limitada, ya que es dependiente de la resistencia a superar y de la propia dinámica de juego, donde el interés radica en aplicar fuerza en el menor tiempo posible. Respecto a la masa, en el caso de los implementos deportivos, viene determinada por el reglamento, y sólo cuando la resistencia a

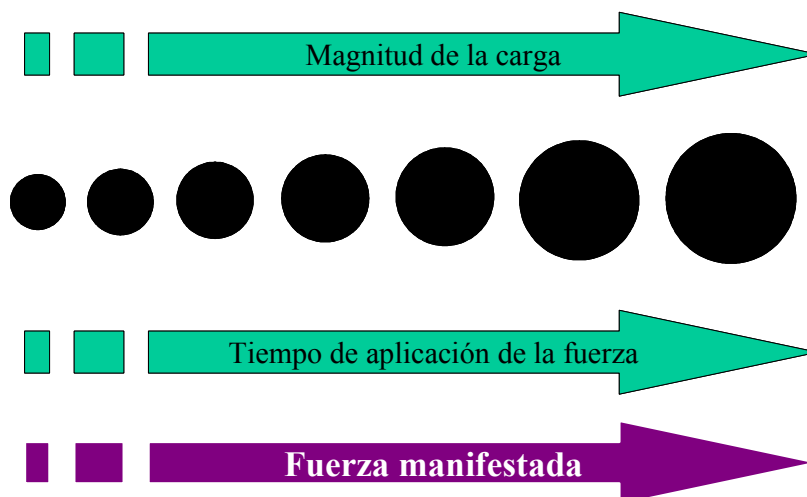
superar es el propio peso corporal podremos reducirla hasta los niveles óptimos apropiados para cada deporte. A partir de estas especificaciones, podemos afirmar que la única forma que el jugador dispone de desarrollar mayor velocidad es incrementando la fuerza aplicada.

1.3.2.2. La fuerza manifestada en los deportes colectivos: relación fuerza-tiempo

La mayoría de las acciones en los deportes colectivos se realizan aplicando una fuerza y velocidad submáximas donde la precisión y decisión adquieren un papel principal. Sin embargo, como hemos especificado, numerosas acciones decisivas deben ejecutarse a la máxima velocidad y por consiguiente aplicando la máxima fuerza posible.

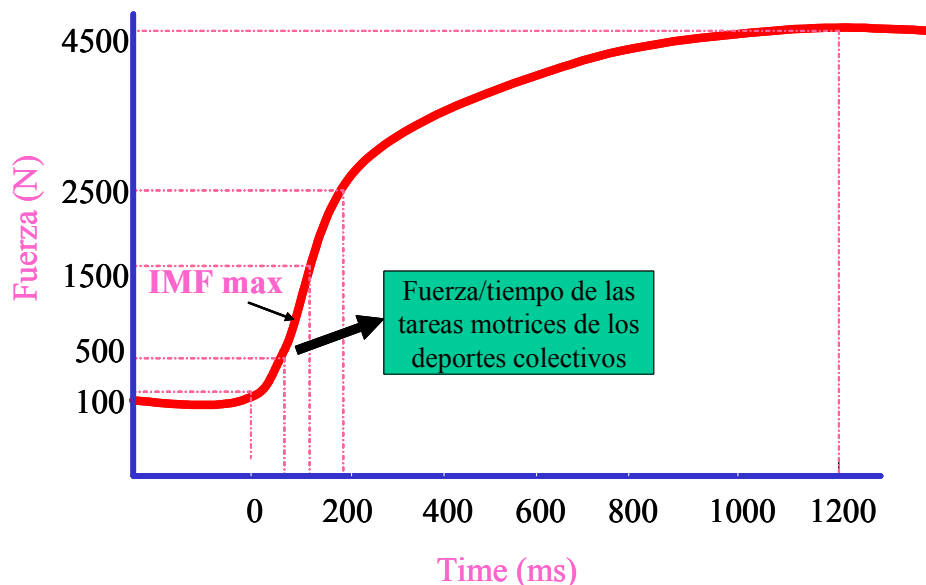
Dos factores interrelacionados son de relevancia en el análisis de la fuerza de cualquier gesto motriz, la resistencia a superar y el tiempo de manifestación de la fuerza. Cuando la resistencia a superar es muy elevada, tanto el tiempo de manifestación de fuerza como la fuerza aplicada es mayor que cuando la resistencia a superar es más baja. De esta forma existe una relación proporcional entre la magnitud de la resistencia a superar, la duración en la aplicación de la fuerza y la fuerza manifestada (figura 18).

Figura (18). Relación de la fuerza con la magnitud y la duración



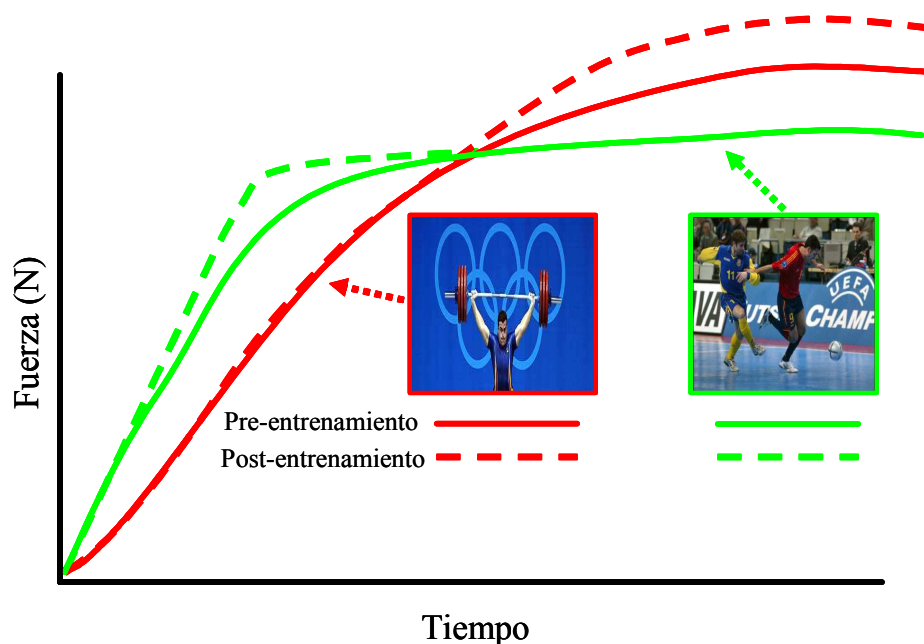
Como hemos indicado previamente, en los deportes colectivos, la manifestación de fuerza se realiza ante diferentes magnitudes de resistencia. Sin embargo, en la mayoría de las acciones la resistencia a superar es relativamente baja, el peso corporal y el implemento deportivo, y el tiempo de aplicación de la fuerza inferior a 200 ms. Por consiguiente, ante este tipo de resistencias y tiempo de aplicación de la fuerza, la fuerza manifestada es menor que la fuerza máxima disponible (figura 19); podemos decir por tanto, que en realidad sólo aplicamos un porcentaje de nuestra máxima fuerza, el porcentaje que dejamos de manifestar se denomina déficit de fuerza.

Figura (19). Fuerza/ tiempo de las tareas motrices en deportes de equipo



Como consecuencia de lo expuesto, el objeto del entrenamiento de fuerza es imprimir mayor velocidad y por tanto mayor fuerza ante una misma resistencia a superar (por ejemplo el balón o el peso corporal), reduciendo así, para ese nivel de resistencia el déficit de fuerza aplicado. De esta forma, el objeto final del entrenamiento de fuerza debe ser específico a la magnitud de la resistencia y al tiempo de manifestación de fuerza. Como se representa, en la figura (20), cada deportista tiene que incrementar su manifestación de fuerza para los niveles correspondientes a su manifestación en competición.

Figura (20). El objetivo del entrenamiento de la fuerza en función de las necesidades de competición



1.3.2.3. Los factores neuromusculares determinantes de la manifestación de fuerza en los deportes colectivos

El movimiento es consecuencia de la transformación de energía química en energía mecánica a partir de los distintos procesos metabólicos que permiten la contracción muscular. Pero además de la influencia metabólica, la habilidad para manifestar fuerza depende de los factores neuromusculares, que adquieren una relevancia diferenciada en función de la manifestación de fuerza aplicada.

Los factores estructurales y el rendimiento en los deportes colectivos

Las capacidades de desempeño del músculo esquelético humano son dependientes en parte de las varias isoformas de las proteínas contráctiles. Al respecto la miosina es una de las proteínas claves de la contracción muscular. La identificación de distintas propiedades histoquímicas en la enzima ATPasa encontrada en la región globular de la cabeza de la miosina, determina distintos tipos de miosina y por tanto distintos tipos de fibras musculares (Fry 2004), que a su vez están influenciadas por el tipo de nervio motor.

Usando esta terminología, se pueden distinguir tres principales tipos de fibra muscular, (I, IIA y IIB), que se diferencian en sus características funcionales en gran parte por la velocidad de la actividad de la enzima ATPasa (Figura 21).

Figura (21). Las características de los distintos tipos de fibras musculares

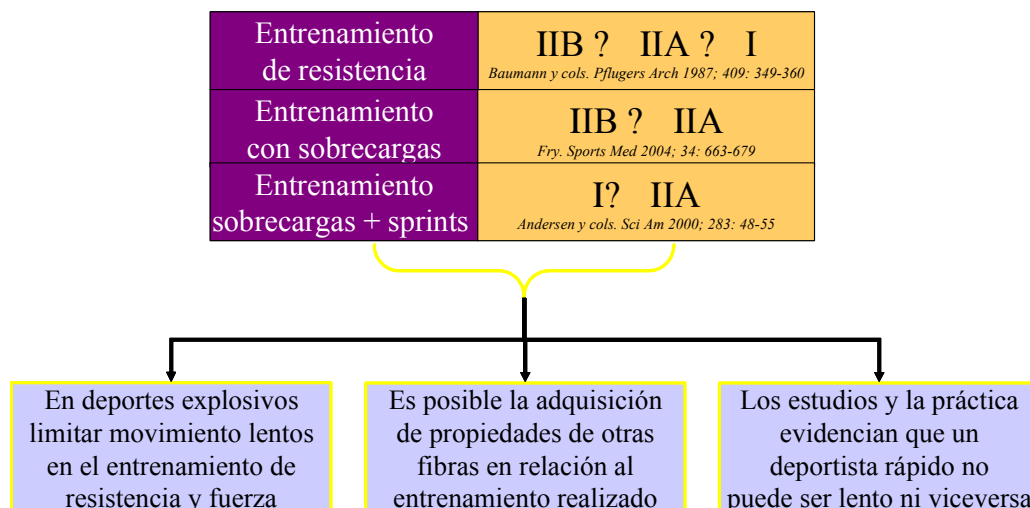
	Tipo I	Tipo IIA	Tipo IIB
Capacidad oxidativa	Alta	Moderadamente alta	Baja
Capacidad glucolítica	Baja	Alta	Más alta
Velocidad de contracción	Lenta	Rápida	Rápida
Resistencia a la fatiga	Alta	Moderada	Baja
Fuerza unidad motora	Baja	Moderadamente alta	Alta

Adaptado de Wilmore and Costill. Physiology of sport and exercise 2004; Human Kinetics.

Dado que el tipo de fibra determina, tanto la velocidad de contracción muscular como su resistencia a la fatiga, es evidente que la distribución de fibras en los grupos musculares implicados en las distintas modalidades deportivas constituye uno de los principales factores determinantes del rendimiento. Tal y como hemos establecido en los factores de rendimiento de los deportes colectivos, desde la perspectiva condicional, las dos principales características que deben resaltar en un jugador, son la manifestación de fuerza explosiva y la resistencia a la fuerza explosiva. Necesariamente, por consiguiente, un jugador debe disponer en primer orden de un alto porcentaje de fibras tipo IIB (para una manifestación de fuerza explosiva) y de tipo IIA (para que el irremediable descenso en la manifestación de fuerza durante el transcurso del partido sea el menor posible).

La distribución del tipo de fibra muscular es todavía más relevante para el rendimiento deportivo si consideramos que depende casi exclusivamente de factores genéticos, y por tanto, con escasas posibilidades de ser modificada con el entrenamiento (figura 22).

Figura (22). Tipos de fibra muscular y posibilidades de modificación por el entrenamiento



Uno de los efectos más evidentes en el entrenamiento de fuerza es el incremento del área de la sección transversal del músculo o hipertrofia muscular. De forma general se puede decir que la fuerza del músculo depende en gran medida de su sección transversal, y por tanto se puede establecer una relación entre los kilogramos levantados y el grosor del músculo. Esta relación tan básica implica que un incremento de la sección transversal del músculo es igual a un incremento de la fuerza. Sin embargo, actualmente sabemos que aquel deportista que levanta más kilogramos en un ejercicio no tiene por que ser el más fuerte en una habilidad deportiva concreta, o ni tan siquiera aquel que tiene mayor hipertrofia muscular es el más capaz de generar la máxima fuerza, debido tanto a la cantidad de factores de los que depende la manifestación de fuerza como a la variedad de ejercicios y acciones motrices en los que es posible manifestarla.

Dos aspectos parecen limitantes para el desarrollo de la hipertrofia muscular asociada a un incremento del rendimiento deportivo en los deportes colectivos:

- Como se ha especificado previamente, la velocidad en el desplazamiento del peso corporal depende de la manifestación de fuerza y de la masa, por lo que un incremento efectivo de hipertrofia muscular debe ir acompañado de un incremento al menos en la misma magnitud de la capacidad de manifestar

fuerza. Por este motivo, en las modalidades deportivas donde la resistencia a superar es el propio peso corporal, el incremento de la hipertrofia muscular se ve limitado.

- Uno de los aspectos relevantes del rendimiento en los deportes colectivos es la velocidad que se manifiesta con el implemento deportivo. El implemento deportivo tiene una magnitud relativamente baja, y en consecuencia el tiempo de manifestación de fuerza es muy rápido. Bajo esta perspectiva, sólo las fibras musculares más rápidas son capaces de activarse para manifestar fuerza, por lo que el desarrollo de la hipertrofia muscular, debe ser en su caso, exclusivo para las fibras rápidas. Una hipertrofia basada en el incremento de la sección transversal de las fibras lentas, incrementa la masa corporal, y no incrementa la fuerza manifestada en las tareas motrices específicas.

Es cierto, que en algunas posiciones de algunos de los deportes colectivos, especialmente en baloncesto y balonmano, el rendimiento deportivo también se ve limitado por una lucha constante con el adversario para obtener una mejor posición en el campo. En estos jugadores, una hipertrofia no exclusiva de las fibras rápidas también puede ser beneficiosa para el rendimiento.

Estas reflexiones nos aportan información de que únicamente un incremento de hipertrofia muscular está justificado si se traduce en un incremento del rendimiento. En caso contrario, numerosos estudios han demostrado los efectos negativos que sobre las propiedades del músculo tiene el entrenamiento tradicionalmente realizado para el desarrollo muscular (Fry 2004).

Los factores neurales y el rendimiento en los deportes colectivos

La contracción muscular supone la integración del sistema muscular y nervioso. A pesar de que la literatura científica relacionada con los mecanismos que incrementan la fuerza con el entrenamiento se centró inicialmente en el rol de la masa muscular, actualmente se considera que las principales adaptaciones están ligadas a la plasticidad del sistema nervioso, especialmente cuando nos referimos a un incremento de fuerza asociada a una mejora del rendimiento deportivo. De

hecho, no es necesario evidencia científica para deducir que las principales adaptaciones asociadas al incremento de la fuerza no pueden derivar de un incremento de la hipertrofia muscular. Una simple observación de la realidad deportiva nos presenta constantemente ejemplos de deportistas que siguen mejorando su rendimiento deportivo sin apreciarse un incremento de su masa muscular. Igualmente deportistas con una menor masa muscular son capaces de levantar cargas más elevadas que deportistas con una elevada hipertrofia y otros deportistas consiguen manifestar mayor fuerza en gestos deportivos concretos.

Desde una perspectiva científica, numerosos trabajos dieron cuenta de importantes incrementos de fuerza durante las primeras 8 semanas de entrenamiento sin apreciarse cambios en la hipertrofia muscular (Akima y cols. 1999, Staron y cols. 1994, Hickson y cols. 1994).

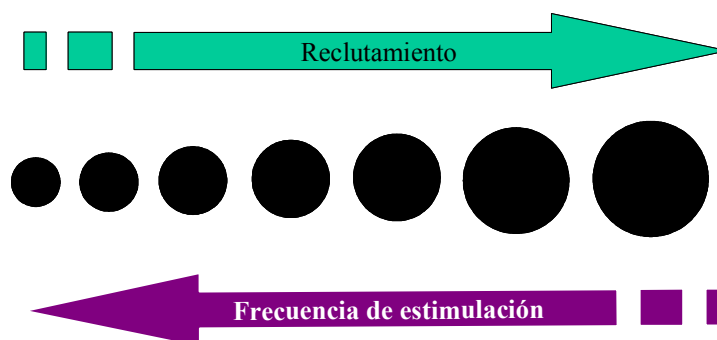
La certeza de modificaciones en el sistema nervioso ha conducido a que la literatura específica se haya centrado en los últimos años en conocer la naturaleza de estas adaptaciones. Al respecto la explicación más comúnmente propuesta para la adaptación neural inducida por el ejercicio es que la mejora de la fuerza es debida por una parte a un cambio en el patrón de activación del músculo (coordinación intramuscular) con el fin de que haya un incremento, bien en el número de unidades motoras reclutadas y/o en la frecuencia de estimulación de las mismas, y por otra parte a una mejora en la secuencia de activación de los músculos (coordinación intermuscular) (Olmo y cols. 2006). A pesar de que las características y naturaleza de los cambios en la coordinación intra- e inter-muscular no están todavía adecuadamente definidas, vamos a especificar las principales bases científicas y su aplicabilidad e influencia sobre la mejora de la fuerza aplicada al rendimiento deportivo.

Es conocido que una unidad motora consigue generar fuerza si el impulso eléctrico transmitido por el nervio motor es de magnitud suficiente. Por lo tanto aquel deportista que consigue reclutar un mayor número de unidades motoras conseguirá manifestar un mayor nivel de fuerza. De la misma forma si una misma unidad motora

se consigue activar más veces para el mismo tiempo la fuerza manifestada se incrementa proporcionalmente.

Como refleja la figura (23), tanto el reclutamiento como la frecuencia de estimulación de las unidades motoras son dependientes de la magnitud de la carga. A mayor nivel de carga se consigue reclutar más unidades motoras, debido al incremento del tiempo de manifestación de fuerza, mientras que a menor nivel de carga se incrementa la frecuencia de estimulación, debido a la implicación específica de las fibras más rápidas

Figura (23). Modelo teórico del reclutamiento y la frecuencia de estimulación de las unidades motoras en la manifestación de fuerza explosiva según la resistencia a vencer



Al respecto, el objetivo del entrenamiento es conseguir que para una misma carga de entrenamiento se recluten más unidades motoras y a mayor frecuencia de estimulación, y en consecuencia incrementar el nivel de fuerza manifestado. De hecho estudios con electromiografía han demostrado que el entrenamiento de fuerza puede incrementar el número de unidades motoras activadas para una determinada actividad (Hakkinen y Komi 1983).

Aunque las explicaciones de porque el entrenamiento puede incrementar el número de unidades motoras reclutadas y su frecuencia de estimulación para un mismo nivel de resistencia no están claras, existen datos que apuntan a que es posible que cambios en las características intrínsecas de las motoneuronas sean responsables del incremento en la activación de unidades motoras observadas durante las tempranas fases del entrenamiento de fuerza, ya que se ha dado cuenta de que la

excitabilidad de la motoneurona es mayor en atletas entrenados (Gabriel y cols. 2006). Otras adaptaciones asociadas a la actividad física, como la eficiencia sináptica e hipertrofia en los axones de las motoneuronas pueden resultar en una mayor velocidad de conducción nerviosa (Gabriel y cols. 2006). La velocidad de conducción nerviosa es una medida de la velocidad en que un impulso puede ser transmitido a través de la motoneurona y está fuertemente relacionado con el tiempo de contracción muscular. En teoría, cambios en la velocidad de conducción nerviosa pueden decrecer el periodo refractario del nervio, lo que a su vez permite incrementar la frecuencia de impulso, y potencialmente incremento de la activación muscular; sin embargo la complejidad en la medición de estos cambios no ha permitido una demostración evidente de estas adaptaciones con el entrenamiento (Ross y cols. 2001).

Los movimientos deportivos provienen de la cooperación de un número de músculos actuando juntos como una sinergia funcional. Entonces, la cantidad de fuerza que puede ser generada en un particular contexto del movimiento es determinada no sólo por factores intramusculares, sino también por la efectividad de la coordinación intermuscular.

De esta forma, algunas de las adaptaciones asociadas con el entrenamiento de fuerza pueden ser supuestas como un aprendizaje motor, en tanto que los sujetos tienen que aprender a producir los patrones específicos de reclutamiento del músculo que es asociado con desempeño óptimo de las tareas de entrenamiento. Así autores, como por ejemplo Carroll y cols. (2001), han demostrado que el entrenamiento de fuerza tiene el potencial de alterar la manera en que los músculos son reclutados a partir del control del sistema nervioso central.

Dettmers y cols. (1996) establecen que si cada unidad motora de un músculo es capaz de producir más fuerza después del entrenamiento, se deduce que menos motoneuronas necesitan ser reclutadas, y un menor nivel de activación cortical es requerido para producir el mismo rendimiento cinemático. De esta forma se incrementa el potencial de activación para aquellos elementos neurales que interfieren con el desempeño óptimo de la tarea. En el contexto del control del

movimiento, los elementos neurales que interfieren con el desempeño puede ser cualquier circuito que conduce al reclutamiento de unidades motoras que no contribuyen eficazmente a un movimiento pretendido. Así, el entrenamiento de fuerza puede realzar el desempeño en las tareas relacionadas reduciendo la extensión de la activación cortical y por consiguiente la activación de elementos neurales que interfieren con la ejecución óptima del movimiento.

Otra prueba de que el entrenamiento de fuerza afecta a la coordinación muscular es provista por investigaciones que han enfocado la atención en la activación de los músculos antagonistas durante contracciones máximas (Hakkinen y cols. 2000, Hakkinen y cols. 1998, Carolan y Carafelli 1992). El grado en el que los músculos antagonistas son activados durante el movimiento es de importancia considerable, ya que estos autores demostraron que la fuerza puede ser aumentada por una reducción en la activación de los músculos que se oponen al movimiento. En estos experimentos, el entrenamiento de sobrecargas resultó en un nivel inferior de la actividad electromiográfica del músculo flexor de la rodilla durante la aplicación de la máxima fuerza isométrica en la tarea de extensión de la rodilla. Parece que los participantes aprendieron a reducir el nivel de activación del músculo antagonista durante el periodo de entrenamiento. Es probable que un aprendizaje de similar naturaleza ocurra cuando los deportistas realizan ejercicios más complicados en el entrenamiento con sobrecargas, lo que requiere el tiempo preciso de reclutamiento muscular y coordinación de músculos mono- y bi-articulares.

El contexto motriz de las distintas modalidades deportivas establece la necesidad de aplicar fuerza en situaciones específicas. Este hecho implica la necesidad de la transferencia de la fuerza a cada gesto motriz. Por ello debemos entender por coordinación intermuscular al reclutamiento de las fibras de distintos grupos musculares en una secuenciación de la cadena motriz óptima. Este concepto está estrechamente vinculado con la técnica específica, la biomecánica y la economía de esfuerzo. El siguiente ejemplo es representativo de la importancia de la coordinación intermuscular en la aplicación de la fuerza específica: el mejor corredor de los 100 metros lisos dispone seguramente de un mayor porcentaje de fibras rápidas y de una mejor coordinación intramuscular que un jugador de fútbol sala, sin embargo

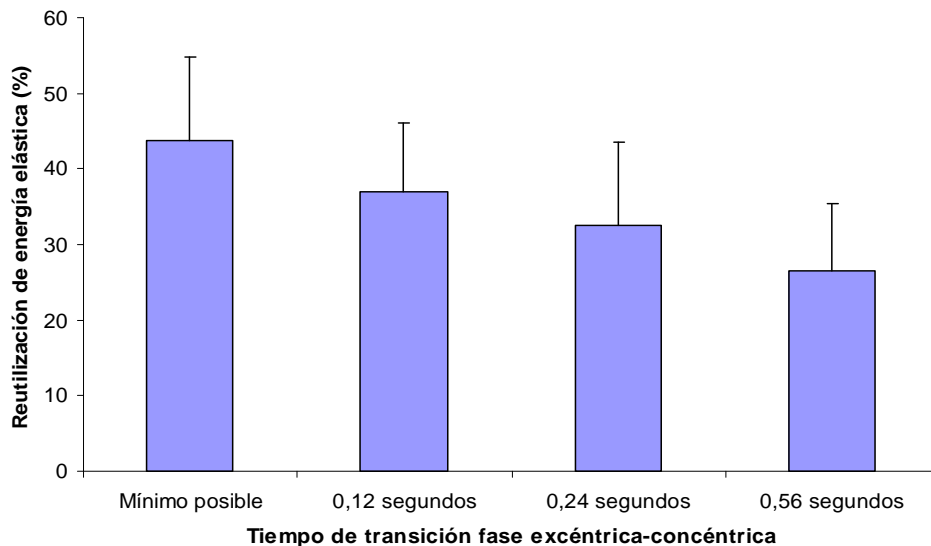
este es capaz de imprimir mayor fuerza en el golpeo de un balón. Por lo tanto, no es sólo importante ser capaces de manifestar un mayor nivel de fuerza, sino conseguir que este nivel de fuerza lo manifestemos en un gesto motriz concreto. Por lo tanto, en el jugador de los deportes colectivos, no sólo debemos incrementar su nivel de fuerza, sino que debemos ser capaces de transferir este incremento a los gestos específicos de la competición.

El ciclo estiramiento-acortamiento y el rendimiento en los deportes colectivos

El ciclo estiramiento-acortamiento (CEA) es un patrón común de activación del músculo que ocurre cuando una acción excéntrica precede a una acción concéntrica del músculo (Harrison y cols. 2004). De hecho, realizar un estiramiento inmediatamente antes de la contracción concéntrica ha sido mostrado, desde hace 40 años, que aumenta la fase concéntrica, resultando en un incremento en la manifestación de fuerza (Cavagna y cols. 1968). Este incremento puede situarse en una repetición con sobrecargas en torno al 10-15% para la fuerza y la potencia, un 38% para la aceleración y un 12,4% para la velocidad de ejecución (Cronin y cols. 2003, Cronin y cols. 2001,).

El aumento de la acción del músculo durante el CEA puede ser atribuida a diferentes factores. Durante la fase excéntrica del movimiento, el estiramiento muscular induce una acumulación de energía elástica en los elementos elásticos en serie del músculo; es posible que esta energía se reutilice en trabajo mecánico durante la fase concéntrica del movimiento, aumentando por tanto el potencial en la generación de fuerza (Komi y Bosco 1978). No obstante, varios autores han indicado que la energía elástica acumulada es convertida en calor si existe una relajación muscular entre la fase excéntrica y concéntrica (Thys y cols. 1972). Esto parece estar relacionado con la duración del tiempo de transición entre la fase excéntrica y concéntrica del movimiento, con una reutilización máxima de la energía elástica cuando el tiempo de transición es igual a 0 segundos y un descenso progresivo hasta que se obtiene un valor mínimo de aprovechamiento para un determinado tiempo de transición (Henchoz y cols. 2006) (figura 24)

Figura (24). Relación entre el tiempo de transición de la fase excéntrica-concéntrica y la reutilización de energía elástica en las extremidades inferiores



Adaptado de Henchoz y cols. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:665-71

La relación entre el tiempo del CEA y la reutilización de la energía elástica determina que esta reutilización es inversamente proporcional a la magnitud de la resistencia a superar, dado que el CEA es mayor conforme incrementa la magnitud de la resistencia.

Otra explicación fisiológica para el incremento de la fuerza con el estiramiento previo es debido a la potenciación ejercida por el reflejo miotático. Este fenómeno complejo puede ser fácilmente entendible si consideramos lo que ocurre cuando realizamos un ejercicio de estiramiento. Cuando estiramos un grupo muscular en un ejercicio de flexibilidad, a un determinado grado de elongación observamos que no podemos estirar el músculo en mayor medida. Esto es debido a la orden que manda el reflejo miotático a través del sistema nervioso con objeto de prevenir que un mayor estiramiento conlleve a una ruptura de fibras musculares. Este proceso puede ser aplicado al movimiento deportivo real, de forma que cuando el músculo se estira antes de realizar la contracción muscular, el reflejo miotático como mecanismo de defensa manda la orden de una rápida contracción del músculo estirado para evitar

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

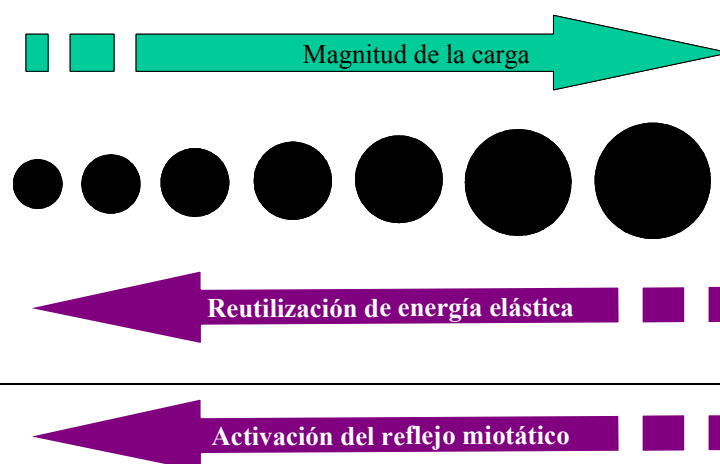
Reverter Masià, Joaquín

la posible ruptura muscular indicada. Esta orden supone un incremento en la fuerza que aplicamos en la contracción muscular. Sin embargo, al igual que para la reutilización de la energía elástica, el aprovechamiento del reflejo miotático para el incremento de fuerza es mayor cuanto menor tiempo existe entre la fase de estiramiento y acortamiento del músculo. La explicación es relativamente sencilla, un incremento en el tiempo transcurrido entre el estiramiento y el acortamiento es debido a una ejecución del movimiento más lenta. Cuando esto sucede no se consigue activar el reflejo miotático debido a que la sensación de una posible ruptura muscular es mucho menor para un estiramiento lento y controlado del músculo.

Como consecuencia de la relación inversa entre la magnitud de la carga y el aprovechamiento del CEA, es en esfuerzos dinámicos muy rápidos, sprint y saltos, donde se ha establecido su importancia para un mayor rendimiento (Kubo y cols. 2000, Kryöläinen y Komí 1995).

De esta forma, si nuestro objetivo de entrenamiento es un mayor aprovechamiento de la energía elástica y del reflejo miotático en la manifestación de fuerza, tendremos que realizar ejercicios donde la transición entre la fase de estiramiento y acortamiento sea la menor posible. Conforme incrementa la magnitud de la resistencia a vencer, se incrementa de forma proporcional el tiempo que transcurre entre el estiramiento y el acortamiento del grupo muscular. Por tanto, como se muestra en la figura 25, a mayor magnitud de la resistencia a vencer conseguiremos un menor beneficio en el incremento de fuerza debido a la energía elástica y al reflejo miotático.

Figura (25). Relación entre la magnitud de la carga y la reutilización de la energía elástica y activación del reflejo miotático



1.3.3. LA NECESIDAD DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA CON MAGNITUD DE RESISTENCIA SUPERIOR E INFERIOR A LA MANIFESTADA EN COMPETICIÓN

Como hemos indicado previamente los jugadores deben manifestar la máxima fuerza posible ante la magnitud de carga específica de competición. El entrenamiento de la fuerza explosiva debe basarse fundamentalmente en ejercicios específicos de competición donde se manifiesta la fuerza con la magnitud de competición, a la velocidad de competición y en el gesto específico de competición.

Sin embargo, como hemos justificado previamente, en las condiciones específicas de competición sólo manifestamos parte de la fuerza de la que disponemos, debido a que sólo reclutamos un relativo porcentaje de unidades motoras, a una determinada frecuencia de estimulación y con relativo aprovechamiento de reutilización de la energía elástica y de la activación del reflejo miotático.

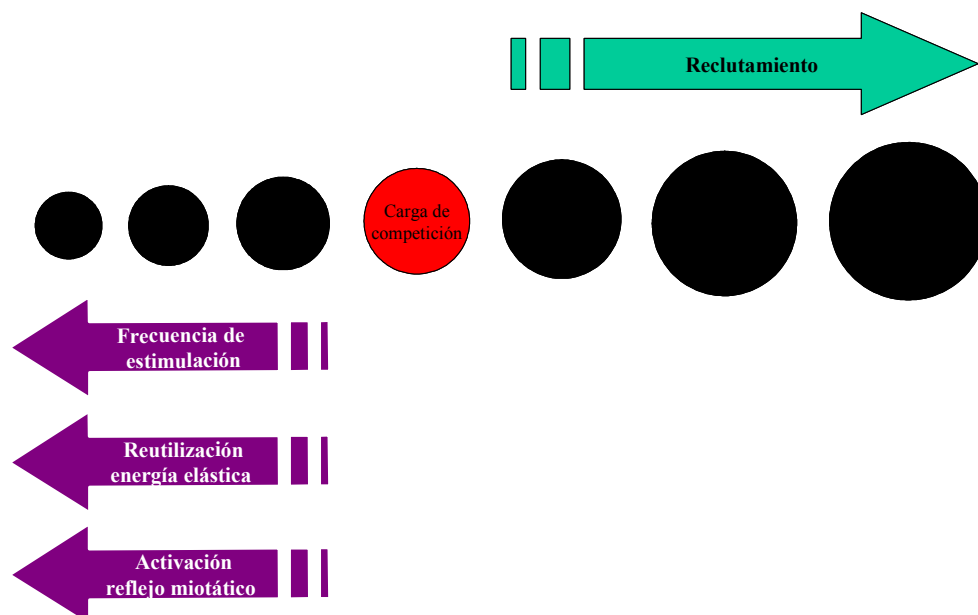
Como se indica en la figura 26, basándonos en las justificaciones neurofisiológicas explicadas, si en el entrenamiento sometemos al jugador a magnitudes de carga superiores a las de competición (ej: entrenamiento con pesas) estaremos acostumbrándole a reclutar más unidades motoras que las que utiliza en competición. Del mismo modo, si en el entrenamiento sometemos al jugador a magnitudes de carga inferiores a las de competición (ej: sprint cuesta abajo), conseguiremos que reclute menos unidades motoras que en competición, pero a una mayor frecuencia de estimulación, y además con una mayor reutilización de la energía elástica y potenciación del reflejo miotático.

Con un entrenamiento adecuado que permita una óptima transferencia al gesto de competición, lo que pretendemos con el entrenamiento con cargas superiores es que parte del mayor número de unidades motoras se recluten posteriormente en el ejercicio de competición; de la misma forma lo que pretendemos con el entrenamiento con cargas inferiores a la de competición, es que parte de la mayor frecuencia de estimulación de las unidades motoras, de la mayor reutilización de la

energía elástica y del mayor aprovechamiento del reflejo miotático se manifieste posteriormente en el ejercicio de competición.

Como consecuencia, si en el gesto específico de competición conseguimos un mayor reclutamiento, una mayor frecuencia de estimulación y un mayor aprovechamiento de la energía elástica y del reflejo miotático, habremos conseguido manifestar más fuerza que antes del entrenamiento con cargas superiores e inferiores a las de competición, y como consecuencia, por ejemplo el jugador se desplazará más rápido o golpeará más fuerte al balón.

Figura (26). Beneficios neurofisiológicos que justifican la necesidad de entrenar con magnitud de resistencia superior e inferior a la manifestada en competición



1.3.4. METODOLOGÍA DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA CON MAGNITUD DE RESISTENCIA SUPERIOR A LA MANIFESTADA EN COMPETICIÓN: EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS

1.3.4.1. Los componentes del entrenamiento con sobrecargas

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

La efectividad de un programa de entrenamiento de fuerza con objeto de obtener una adaptación específica (ej. hipertrofia, fuerza máxima, potencia etc.) depende de la combinación de una gran variedad de parámetros, que nos determinan los componentes del entrenamiento de fuerza. En la figura (27) se definen los principales componentes del entrenamiento de fuerza de acuerdo a una adaptación de las recomendaciones que para el desarrollo de un programa de entrenamiento de fuerza establece el Colegio Americano de Medicina del Deporte (2002).

Figura (27). Conceptualización de los componentes del entrenamiento que determinan los distintos programas de entrenamiento de fuerza

Variable	Conceptualización
Acción muscular	Nos determina el tipo de contracción muscular: dinámica (excéntrico-concéntrico), concéntrica, excéntrica, isométrica
Ejercicios	Determina que ejercicios son seleccionados en un programa de entrenamiento
Orden de ejercicios	Determina la secuencia de ejecución de los ejercicios en una sesión de entrenamiento
Carga	Determina el peso asignado a cada ejercicio
Velocidad	Determina a qué velocidad se desplaza la carga durante la fase concéntrica y excéntrica del movimiento
Repeticiones	Determina el número de repeticiones realizadas para cada nivel de carga
Descanso	Determina el tiempo de descanso entre series y ejercicios en una sesión de entrenamiento
Volumen	Cantidad de trabajo realizado en una sesión de entrenamiento, número de series y de repeticiones
Frecuencia	Determina el número de sesiones de entrenamiento realizadas en un periodo de tiempo (ej. 1 semana)

Adaptado de ACSM 2002. Med Sci Sports Exerc 34:364-380

Cada una de las variables definidas identifica a un sólo componente de una única sesión de entrenamiento de fuerza. Existen numerosas alternativas para cada uno de los componentes lo que nos determina la enorme variabilidad de sesiones de entrenamiento de fuerza que pueden ser programadas. Si consideramos que el proceso de entrenamiento representa una planificación a largo plazo, resulta todavía

más asombroso la variabilidad en la prescripción del entrenamiento de fuerza y por tanto, supuestamente la variabilidad de respuestas adaptativas.

En los siguientes apartados determinaremos, a partir de los resultados de recientes trabajos de investigación, los principales efectos que se producen al modificar los componentes del entrenamiento con sobrecargas asociados a este trabajo: ejercicios, carga, repeticiones y velocidad.

1.3.4.2. *Los ejercicios en el entrenamiento con sobrecargas de los deportes colectivos*

Contrariamente a lo habitualmente pensado no hay que realizar muchos ejercicios en el entrenamiento con sobrecargas. Sin embargo, lo fundamental es que estos ejercicios se asemejen en sus características dinámicas a la manifestación de fuerza en competición con objeto de facilitar la transferencia de la fuerza obtenida (Behm, 1995).

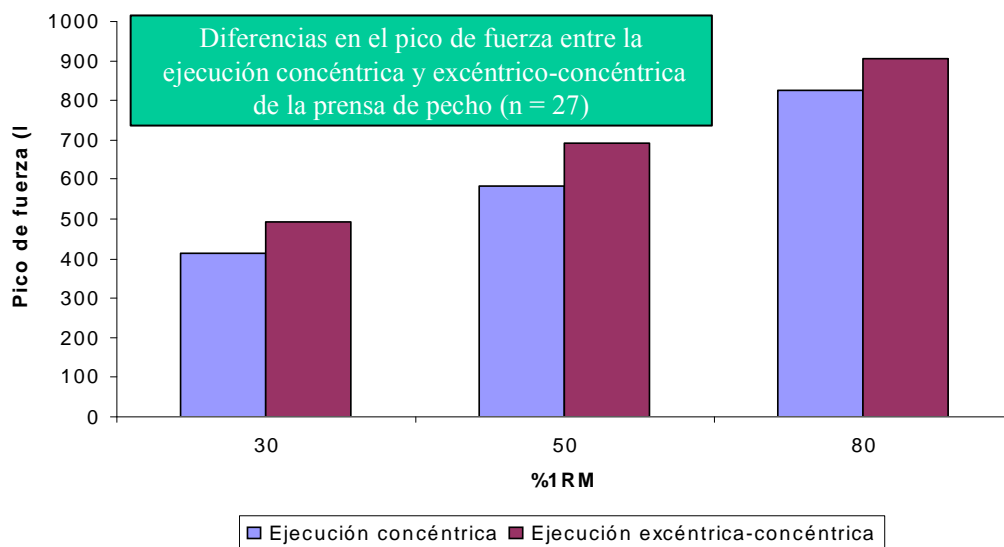
Se han establecido diferentes formas de clasificar los ejercicios en el entrenamiento con sobrecargas, de entre ellas destacamos en este apartado aquellas que pueden tener mayor utilidad práctica desde una perspectiva funcional.

Los ejercicios según el tipo de acción muscular

Como quiera que el CEA es un aspecto inherente de la mayoría de las modalidades deportivas, el uso de la fase excéntrica previa a la fase concéntrica parece fundamental en las modalidades caracterizadas por tales acciones. Por este motivo, consideramos que la base del entrenamiento de fuerza aplicada al rendimiento deportivo debe incluir repeticiones dinámicas, combinando una fase excéntrica y concéntrica del movimiento. Además, y de acuerdo a los principios neurofisiológicos asociados al CEA, la fuerza manifestada es mayor cuando la fase concéntrica del movimiento viene precedida de una fase excéntrica. Por ejemplo, incluso son cargas relativamente elevadas Cronin y cols. (2003) demostraron que la ejecución previa de la fase excéntrica en el ejercicio de prensa de pecho incrementa en un promedio de 12,3% y 14,1%, respectivamente la velocidad media y el pico de fuerza en el rango

de intensidades del 30-80% de 1RM en comparación con la ejecución exclusivamente concéntrica.

Figura (28). Diferencias en el pico de fuerza entre la ejecución concéntrica y excéntrica-concéntrica



A partir de datos de Cronin y cols. J Strength Cond Res 2003;17:148-55

Esto no es exclusivo, de que en determinados momentos dentro de la planificación del entrenamiento de fuerza nos pueda interesar incidir en mayor medida en la fase concéntrica o excéntrica del movimiento en función de distintos objetivos. Así, de acuerdo con Crewther y cols. (2005), debido a que los principales cambios en el incremento de fuerza y en la hipertrofia muscular se adscriben a los elementos contráctiles del músculo, se deduce que la realización de un entrenamiento exclusivamente concéntrico, eliminando la influencia del CEA, puede producir como respuesta una opción atractiva de entrenamiento para un mayor desarrollo de la maquinaria contráctil (Crewther y cols. 2005).

Por lo tanto, y de acuerdo con Kraemer y Ratamess (2004), el papel de la manipulación del tipo de acción muscular durante el entrenamiento de fuerza es mínimo a la vista de que la mayoría de los programas deben incluir acciones concéntricas y excéntricas del músculo para cada una de las repeticiones.

Ejercicios realizados en máquinas o con pesos libres

Un mismo ejercicio, por ejemplo una sentadilla o una prensa de pecho, puede realizarse bien en una máquina o con peso libre (barra y mancuernas).

Las máquinas están limitadas por su diseño a la ejecución sobre un único plano, conduciendo a un entrenamiento aislado de la musculatura y a una falta de exigencia para mantener el equilibrio en distintos planos de movimiento. En cambio, los pesos libres permiten un mayor grado de libertad de movimiento, mayor coordinación intra- e inter-muscular, mayor potencia muscular, y por tanto mayor transferencia hacia el rendimiento deportivo (Crewther y cols. 2005).

Ejercicios uniarticulares-multiarticulares

Los ejercicios uniarticulares (por ejemplo, press militar, peck-deck, curl de bíceps, extensión de cuádriceps) se realizan para aislar grupos musculares específicos, y por tanto distan mucho del movimiento de competición caracterizado por la combinación sincronizada de la mayoría de los grupos musculares del cuerpo. En cambio, en los ejercicios multiarticulares (sentadilla, prensa de pecho, subida banco, split y los ejercicios olímpicos) se consigue movilizar mayor carga, requieren una mayor demanda del sistema nervioso, no sólo en relación al reclutamiento de unidades motoras sino especialmente en dificultad de coordinación, y generalmente han sido considerados como los más efectivos para incrementar el nivel de fuerza y de potencia (Kraemer y Ratamess 2004, Kraemer y cols. 2002, Fleck y Kraemer 1997).

Sin embargo, no todos los ejercicios multiarticulares tienen la misma eficacia. Así, en relación a la sentadilla completa, la ejecución de ½ sentadilla parece más apropiado para una óptima transferencia al gesto deportivo, debido a la similitud en el grado de

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

flexión, al menor tiempo de contracción requerido y a la mayor proporción de utilización de fibras rápidas (Bosco y cols. 2000). La ejecución de una ½ sentadilla parece, por tanto, más apropiado con el objetivo de desarrollar la máxima potencia (40-60% 1RM). El peso que se puede levantar con intensidades relativas más elevadas es muy elevado pudiendo incrementar el riesgo de lesión en las rodillas y columna. Por el contrario, la ejecución de la sentadilla completa es un ejercicio más básico, que puede ser más apropiado para el trabajo con intensidades relativas más elevadas, fortaleciendo los grupos musculares, tendones y ligamentos en todo el rango de movimiento, y por consiguiente más apropiado para la prevención de las lesiones de rodillas (Polliquin 1992).

Especial atención requieren los ejercicios olímpicos (arrancada, cargada y sus variantes) debido a que son los de mayor efecto para incrementar la potencia muscular al requerirse una producción de fuerza muy rápida para completar exitosamente cada repetición (Garhammer 1993, Garhammer 1991). Así, los halterófilos de elite levantan cargas muy elevadas (ej. >250 kg para the clean and jerks; >200 kg para the snatch) a muy altas velocidades (ej. > 2m/seg) (Häkkinen y Pakarinen 1993); en cambio en los ejercicios de competición del powerlifting, el record del mundo se sitúa con cargas más elevadas (>450 kg para la sentadilla, 320 kg para la prensa de pecho, y 410 kg para el peso muerto), sin embargo la velocidad de desplazamiento es mucho más lenta. Hoy en día estos ejercicios se consideran la base del entrenamiento de todos los deportes que requieren fuerza explosiva, destacándose entre otras las siguientes ventajas (Armstrong 1993):

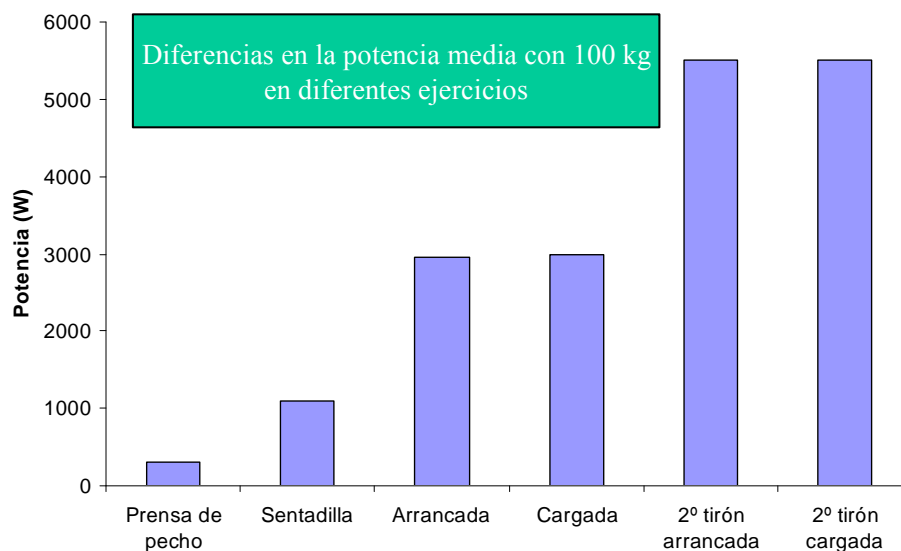
- Los ejercicios se realizan de pie, lo cual coincide con muchos de los gestos deportivos.
 - En cada levantamiento se implica la mayoría de los grupos musculares, y el peso es soportado por todo el cuerpo.
 - El levantamiento requiere la actuación de los músculos por fuertes “golpes explosivos”, acentuando la manifestación de la máxima fuerza en la unidad de tiempo en cada uno de ellos.
 - El potencial de producción de potencia de estos ejercicios no puede ser igualado por ninguna otra forma de entrenamiento de fuerza. Las diferencias
-

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

en la producción de potencia entre estos ejercicios y otros de los más habituales son claras. Por ejemplo, Stone (1993) nos ofrece unos datos sobre la potencia media obtenida con 100 kg de peso en diferentes ejercicios: prensa de pecho (300 W), sentadilla y peso muerto (1100 W), arrancada (3000 W), 2º tiron de arrancada (5500 W), cargada (2950W), 2º tiron de cargada (5500 W), yerker (5400 W).

Figura (29). Diferencias en la potencia media con 100 Kg en diferentes ejercicios



A partir de datos de Stone. Nat Strength Cond Assoc J 1993;15:7-15

- Se estimulan los principios de acción-reacción: cuando se realiza una arrancada o una cargada se produce una fase de flexión-extensión de rodillas muy rápida en el momento más decisivo del movimiento. Este contramovimiento o recuperación de energía es muy importante para el resultado global de numerosos deportes, y este movimiento se encuentra en todos los ejercicios Olímpicos.

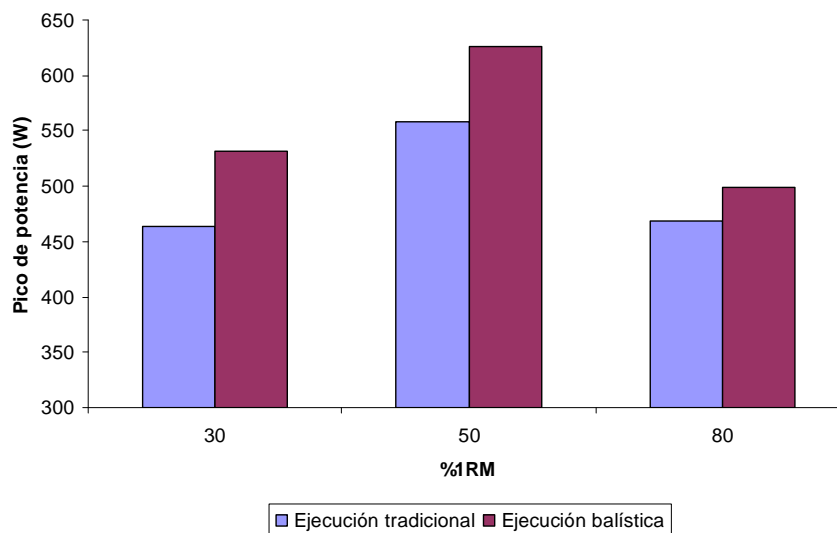
Ejercicios balísticos-no balísticos

Una más reciente reflexión es la necesidad de realizar ejercicios balísticos. Se ha sugerido que una de las limitaciones de realizar repeticiones con pesos libres a velocidades elevadas es la fase de desaceleración. La fase de desaceleración es el

punto cerca del fin de la fase concéntrica en la cual la velocidad de la barra decrece antes de terminar la repetición. Así, el incremento de potencia puede ser específico sólo para el segmento inicial del rango de movimiento. Al respecto, se ha aconsejado utilizar ejercicios balísticos, que se refieren a técnicas en las cuales la carga (la barra, un implemento o el propio peso corporal) es proyectado o soltado al final de la fase concéntrica, siendo por tanto movimientos explosivos que posibilitan la aceleración a lo largo del todo el rango de movimiento, (ej: lanzamientos de pecho y de hombro, saltos con cargas etc) (Mcbride y cols. 2002). De hecho, varios estudios han demostrado respuestas cinemáticas más elevadas en los movimientos balísticos (Cronin y cols. 2003, Newton y cols. 1996).

Por ejemplo, Newton y cols. (1996) dieron cuenta de un incremento significativo en la potencia con la técnica balística (potencia media 70%, pico de potencia 67%), cuando compararon la ejecución tradicional y balística de la prensa de pecho. En cambio estos autores informaron que los efectos de esta técnica sobre la fuerza (pico de fuerza y fuerza media) parecen menos evidentes (~35%). Aunque con incrementos menos importantes, presumiblemente de debido a diferencias en la medición del trabajo realizado, Cronin y cols. (2003) encontraron hallazgos similares, con un incremento en la potencia (potencia media 5,8%, pico de potencia 9,1%) (figura 30) y sin cambios en los valores de fuerza en el rango de intensidad del 30-80% 1RM. Estos resultados sugieren que la fuerza es menos influenciada por la ejecución de movimientos balísticos. Probablemente, los beneficios asociados con las técnicas balísticas pueden decrecer conforme incrementa la carga debido a la inhabilidad para proyectar la barra o el propio peso corporal en las cargas más pesadas (Crewther y cols. 2005). De hecho, en el mencionado estudio de Cronin y cols. (2003), con intensidades del 70-80% 1RM la ejecución balística no aporta cambios significativos en la velocidad media y pico.

Figura (30). Diferencias en el pico de potencia entre la ejecución tradicional y balística en una acción excéntrico-concéntrica en el ejercicio de prensa de pecho



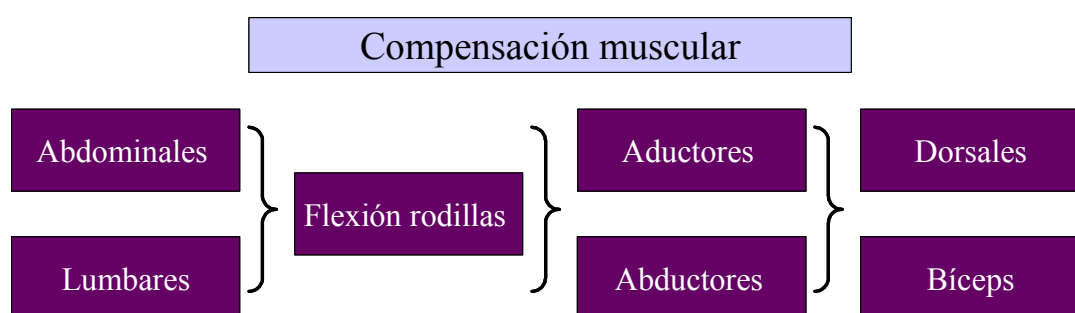
A partir de datos de Cronin y cols. *J Strength Cond Res* 2003;17:148-55

Dadas estas consideraciones, las técnicas balísticas parecen ofrecer un estímulo ideal para el desarrollo de la potencia dado que tienen como respuesta una mayor potencia para una determinada carga. Además, entrenar de esta manera también desarrolla un perfil de velocidad más acorde a lo que sucede en la mayoría de las actividades atléticas (ej. velocidades más altas) y soluciona una de las principales limitaciones de la ejecución tradicional, donde una porción importante del movimiento es utilizado para desacelerar la carga, al contrario de lo que sucede en las actividades deportivas caracterizadas por periodos más largos de aceleración.

En definitiva, el entrenamiento con cargas con técnicas balísticas potencialmente puede solucionar uno de los principales problemas del entrenamiento con cargas, al

régimenes de prevención de lesiones deben incluir por tanto ejercicios para mejorar la fuerza de la extremidad no dominante y de los músculos antagonistas (Nofal 2003). Este tipo de ejercicios, los podemos englobar como ejercicios de compensación muscular (figura 32).

Figura (32). Ejercicios utilizados en el entrenamiento con sobrecargas para la compensación muscular



1.3.4.3. La carga en el entrenamiento con sobrecargas de los deportes colectivos

Hemos definido la carga como el peso asignado a cada ejercicio. En el entrenamiento con sobrecargas, el conocimiento exclusivo del peso levantado en un ejercicio nos aporta un valor de intensidad absoluta que puede suponer una carga relativa distinta para varios deportistas y entre un mismo deportista en distintos momentos. Por ello, distintos métodos han sido utilizados con el objeto de determinar de forma indirecta la carga interna de entrenamiento, lo que comúnmente se conoce como la intensidad del entrenamiento de fuerza, el porcentaje del peso corporal, el porcentaje de 1RM, y el número de repeticiones realizadas.

Cada una de las metodologías especificadas para el control de la carga en el entrenamiento con sobrecargas conlleva unas determinadas ventajas y desventajas.

No es objeto de este apartado el debate sobre la idoneidad de cada una de las metodologías, por lo que hablaremos habitualmente de un determinado porcentaje de 1RM para situar la intensidad relativa de carga.

Tradicionalmente los programas del entrenamiento con sobrecargas han sido diseñados en función de cuatro objetivos: entrenamiento de fuerza, entrenamiento de hipertrofia, entrenamiento de potencia, y entrenamiento de fuerza resistencia (Bird y cols. 2005, Kraemer y Ratamess 2004). Basándonos en la perspectiva de los deportes colectivos, nosotros excluiríamos el entrenamiento de fuerza resistencia.

La carga para el desarrollo de la máxima fuerza

Como hemos establecido anteriormente, el reclutamiento de unidades motoras se incrementa en relación a la magnitud de la resistencia. Por ello, las cargas más elevadas parecen fundamentales para el desarrollo de la fuerza debido a que están asociadas con un máximo reclutamiento de unidades motoras y con elevadas frecuencias de estimulación (Kraemer y Ratamess 2004, Behm 1995), especialmente estas cargas son útiles para reclutar las unidades motoras con mayor umbral de excitación (Ploutz y cols. 1994).

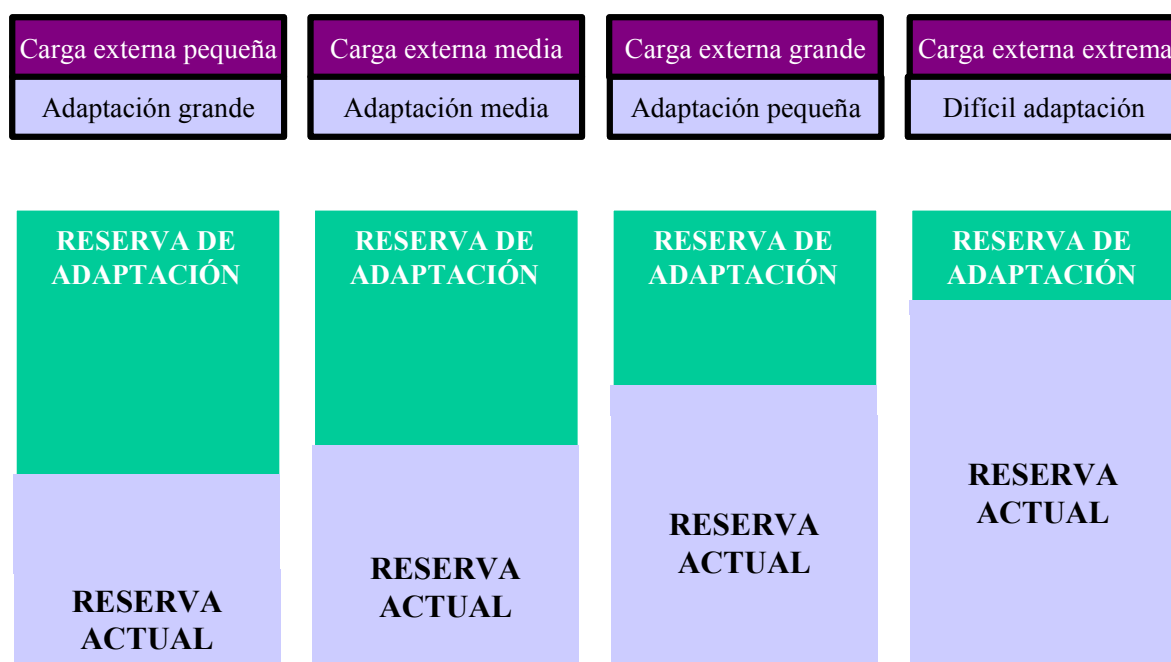
Al respecto, Häkkinen y cols. (1985) reportaron que cargas superiores al 80-85% de 1RM son necesarias para promover adaptaciones neurales en atletas con elevada experiencia. Por consiguiente, si nuestro objetivo es incrementar en sujetos experimentados su nivel de fuerza ante cargas elevadas y su potencia, es necesario reclutar el máximo número de unidades motoras, y parece demostrado que únicamente con cargas muy elevadas se consiguen reclutar las unidades motoras con mayor umbral. Al respecto, es importante recordar que no debemos confundir entre la velocidad interna de la conducción del impulso nervioso y del reclutamiento de unidades motoras con una velocidad externa lenta del movimiento debido a la elevada carga de entrenamiento, y por tanto desde la perspectiva del sistema nervioso puede ser más importante la intención de mover una carga muy elevada a una velocidad alta que la velocidad real externa del movimiento (Behm y Sale 1993).

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

De esta forma, en el entrenamiento tradicional para el desarrollo de la máxima fuerza se recomienda la ejecución de 1-6 RM (~100-85% 1RM) (Kraemer y Ratamess 2004, Campos y cols. 2002, Behm 1995, Ploutz y cols. 1994). Sin embargo, en relación a sujetos entrenados, deportistas con poca o ninguna experiencia previa en el entrenamiento de fuerza pueden adaptarse positivamente a cualquier tipo de protocolo de entrenamiento de fuerza, particularmente durante las fases iniciales del programa (Crewther y cols. 2005), lo que puede sugerir que el nivel de intensidad óptimo va a depender de la experiencia previa en el entrenamiento de fuerza de cada deportista, de acuerdo a la relación entre la reserva actual y el estímulo de entrenamiento necesario para inducir adaptación (figura 33).

Figura (33). Relación entre la reserva actual del deportista y el estímulo de entrenamiento



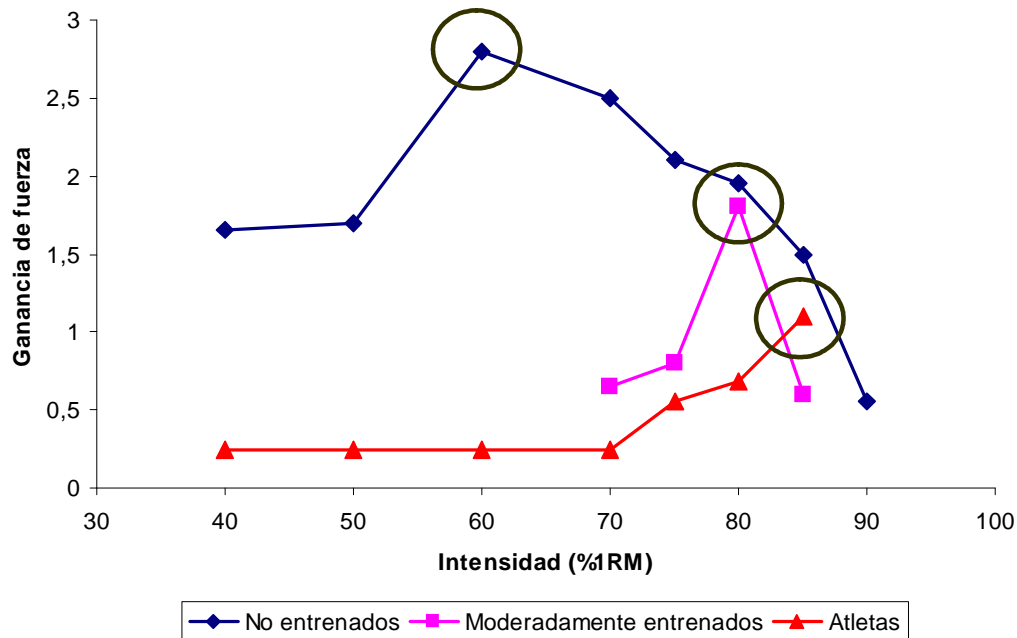
Este aspecto ha quedado claramente especificado en el estudio de Peterson y cols. (2005) (figura 34), quienes a partir de datos de dos estudios (Rhea y cols. 2003, Peterson y cols. 2004) que utilizaron la técnica del meta-análisis mostraron que respectivamente, para sujetos previamente no entrenados, moderadamente entrenados y atletas, la intensidad que produce mayor incremento de fuerza es del

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

60%, 80% y 85% de 1RM. Estos datos soportan nuevamente que el efecto del entrenamiento es dependiente de la reserva actual del deportista, y que por tanto siempre debemos programar el entrenamiento a partir de la mínima carga que produce adaptación.

Figura (34). La ganancia de fuerza en función del nivel previo de los deportistas obtenido a partir de un metaanálisis



Adaptado de Peterson y cols. J Strength Cond Res 2005;19:950-58

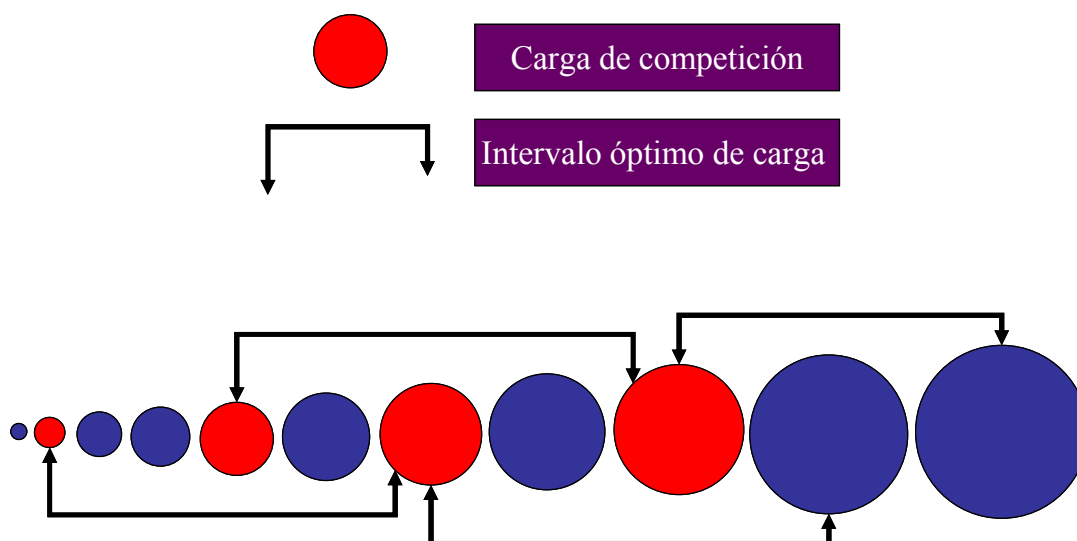
En conjunto todos estos resultados indican que para mejorar la fuerza aplicada desarrollada ante la carga máxima, se requiere en sujetos entrenados trabajar con

cargas muy elevadas ($>85\%$ 1RM). Sin embargo, muchos deportistas pueden ser considerados como poco experimentados en el entrenamiento de la fuerza, pudiendo obtener similar beneficio con cargas $<85\%$ 1RM.

Otro análisis de interés es la resistencia a superar en competición. La mayoría de los estudios han determinado los beneficios de un entrenamiento de fuerza en función de la mejora de la carga de 1RM. Sin embargo las necesidades de fuerza en la mayoría de las modalidades deportivas requieren manifestar la máxima fuerza ante resistencias mucho más bajas, y por consiguiente desde una perspectiva funcional es difícil poder establecer que el entrenamiento que mejora en mayor medida la carga de 1RM es la que mejora en igual medida la fuerza específica de competición.

Desde una perspectiva lógica es difícil de comprender que la máxima carga relativa a desarrollar en el entrenamiento con sobrecargas deba ser la misma para un halterófilo, un lanzador de peso, un futbolista o un tenista. La siguiente figura refleja que al menos desde una perspectiva teórica el máximo nivel de carga relativa de entrenamiento debe estar en función del nivel de resistencia a superar.

Figura (35). Esquema teórico del intervalo óptimo de carga para el desarrollo de fuerza explosiva



Atendiendo a estos análisis, dos variables parecen relevantes para determinar la carga máxima de trabajo: la experiencia previa del deportista en el entrenamiento con sobrecargas y el nivel de resistencia a superar en competición. En relación a los

deportes colectivos, exceptuando a algunos deportistas, la cultura del entrenamiento con sobrecargas es relativamente reciente, por lo que globalmente unas cargas relativamente bajas pueden inducir importantes adaptaciones. Además, exceptuando algunas acciones aisladas (ej. bloqueos), la resistencia a superar es relativamente baja. Ambas consideraciones nos inducen a pensar que, desde una perspectiva global, el entrenamiento con sobrecargas con intensidad relativa > 90% puede ser excesivo en los jugadores de deportes colectivos. Esta recomendación ha sido incluida en las directrices de programas del entrenamiento con sobrecargas para los deportes colectivos (Cardoso-Marques y González-Badillo 2006, Cardoso-Marques y cols. 2006, González-Badillo y Rivas 2002).

La carga para el desarrollo de la hipertrofia muscular

Aunque la hipertrofia muscular no es una manifestación de la fuerza, consideramos incluirla debido a que muchos métodos de entrenamientos están orientados hacia su desarrollo. En realidad el trabajo convencional para el desarrollo de la hipertrofia no es que más que una manifestación de fuerza resistencia ante cargas altas.

La hipertrofia del músculo puede ser considerado un fenómeno multidimensional basado en la intensidad de la carga (reclutamiento de unidades motoras) y en el volumen de entrenamiento, así como también en aspectos metabólicos y hormonales (Kraemer y cols. 2004).

En relación al crecimiento muscular, el trabajo con cargas elevadas también resulta esencial para remodelar el tejido muscular, degradación y síntesis de proteínas, al estimular los factores de crecimiento del músculo (Fowles y cols. 2000). Una carga muy elevada fomenta el crecimiento muscular al inducir un mayor catabolismo del tejido muscular, un mayor daño estimula la remodelación del tejido muscular a partir

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

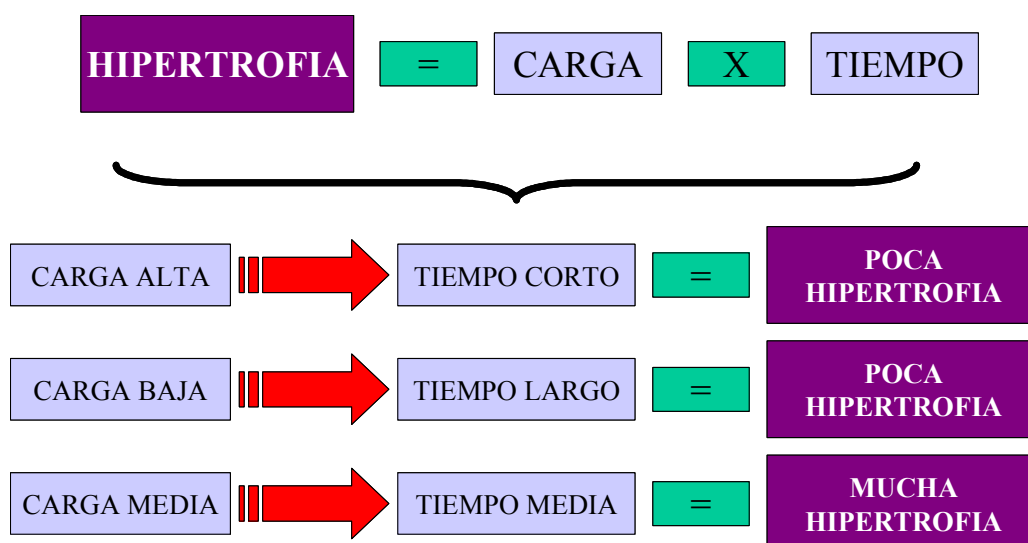
Reverter Masià, Joaquín

de un incremento en la síntesis de proteínas, siguiendo el principio de supercompensación.

Pero además, el daño muscular parece estar asociado también al volumen de entrenamiento. Así, el tiempo en que el músculo está bajo tensión es también asociado al incremento de hipertrofia muscular (Kraemer y cols. 2002). Este principio se cumple, además de levantando cargas más pesadas, con una ejecución más lenta de las repeticiones y menor pausa entre las series, pero además especialmente con un incremento en el número de repeticiones (mayor número de repeticiones = mayor tiempo de tensión muscular). Con los mencionados parámetros de entrenamiento es cuando se induce mayor actividad metabólica y hormonal, siendo factores esenciales para el crecimiento muscular (Carey y Rutherford 1995). Es evidente, que con cargas más bajas podemos realizar un mayor número de repeticiones, sin embargo, debido al nivel de carga este tipo de entrenamiento no conduce a un incremento sustancial en la hipertrofia muscular (Kraemer y cols. 2002).

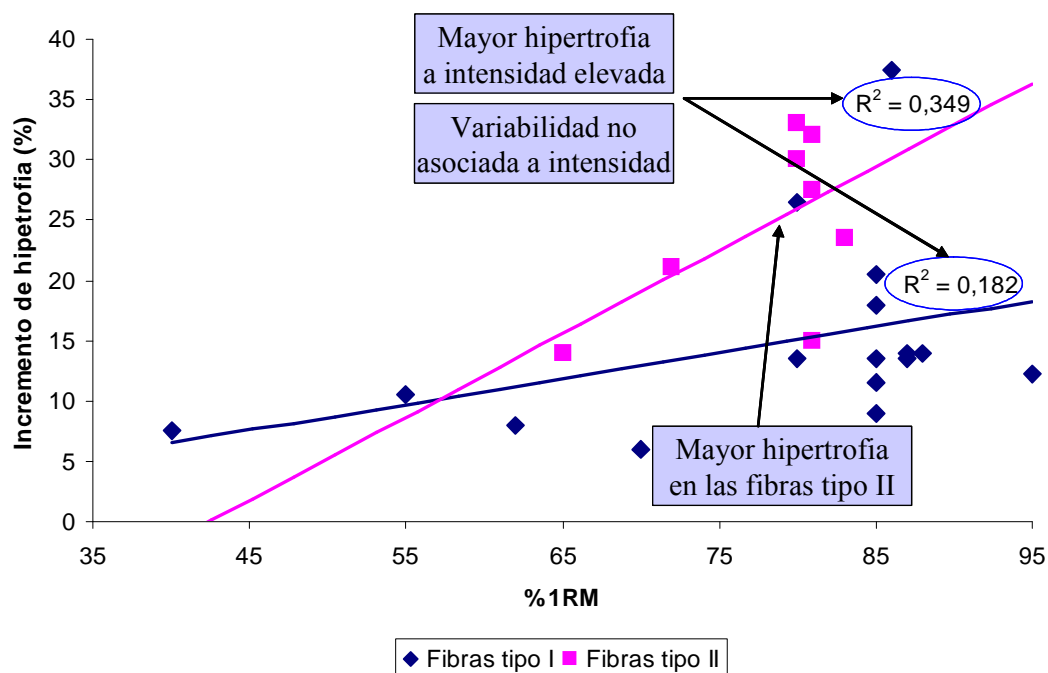
De estas reflexiones, se deduce que la hipertrofia muscular es igual al producto entre la intensidad de carga y el número de repeticiones, siendo la mejor ¿atamess 2004).

Figura (36). Justificación de la intensidad de carga para el desarrollo de la hipertrofia muscular



Todos estos datos vienen refrendados por el incremento de hipertrofia muscular en fibras rápidas y lentas reportado a partir de los datos presentados en la revisión de Fry (2004) (figura), donde incluso en sujetos no entrenados una intensidad relativa de entrenamiento del 80-85% 1RM induce mayor hipertrofia que intensidades más bajas (~40-70% 1RM). Un análisis más detallado de la figura mencionada muestra que la hipertrofia es sólo en parte dependiente de la intensidad relativa de trabajo ($r^2 = 0,182$ vs $0,349$, respectivamente para las fibras lentas y rápidas). Debemos recordar que estos datos provienen de diferentes estudios donde la única variable controlada es la intensidad de esfuerzo, por lo que en un estudio más controlado para variables como volumen de entrenamiento, descanso, tipo de ejercicio y nivel de sujetos, probablemente indicaría una mayor relación entre la hipertrofia y la intensidad de esfuerzo.

Figura (37). Un meta-análisis de la relación entre la intensidad y la hipertrofia en las fibras tipo I y II

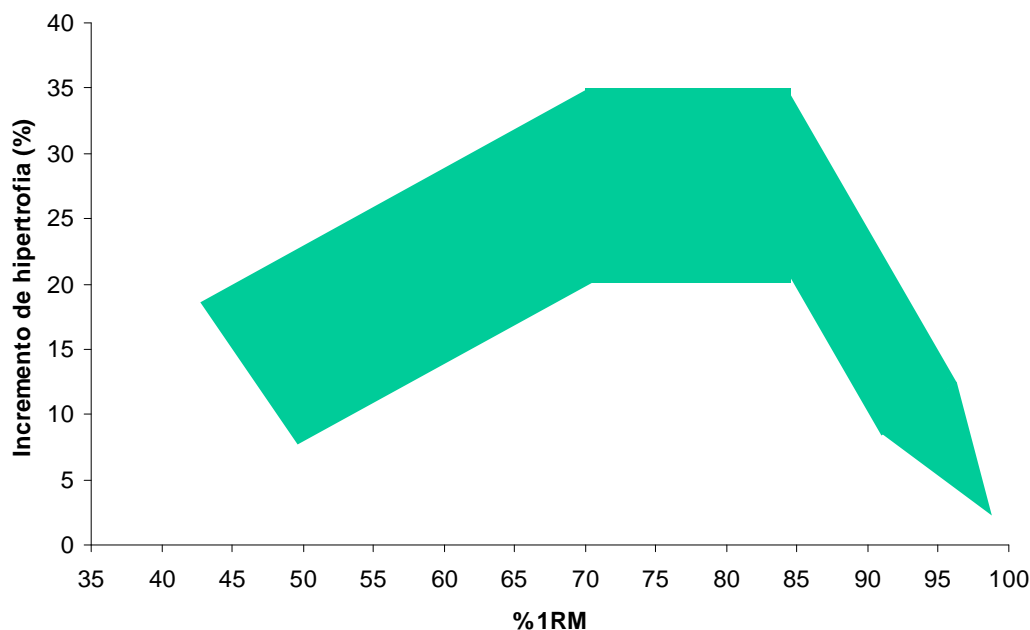


A partir de de Fry. Sports Med 2004;34:663-79

Este modelo también viene refrendado por la respuesta de las hormonas anabólicas en función de la intensidad del esfuerzo en una sesión de entrenamiento, así cuando se realizan series al 100% 1RM, la respuesta hormonal es pequeña o inexistente al igual que cuando se realizan al 40% (Fry 2004).

Con los datos expuestos, presentamos en la figura (38) un modelo teórico de la relación entre el %1RM y el esperado incremento de hipertrofia muscular.

Figura (38). Modelo teórico de la relación entre la intensidad relativa de entrenamiento de fuerza y la hipertrofia muscular



Adaptado de Fry. Sports Med 2004; 34:663-79

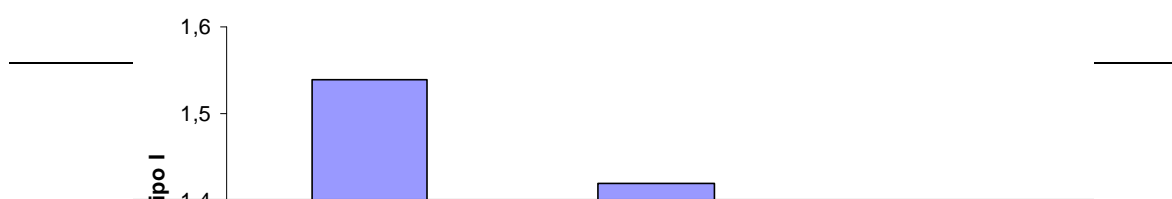
Consideramos que todos los estudios mencionados se centran exclusivamente en determinar la intensidad óptima de un programa para incrementar la hipertrofia

muscular, y sin embargo aportan poco en relación a que tipo de trabajo puede inducir hipertrofia que permita un beneficio para la prestación deportiva.

Al respecto, es especialmente interesante para este tipo de análisis, y para la prescripción de programas de entrenamiento, los resultados aportados en la revisión de Fry (2004) sobre deportes de levantamiento de peso: halterofilia, powerlifting y fisicoculturismo.

El entrenamiento característico de los halterófilos requiere entrenar con cargas muy elevadas (>90%) y con una elevada potencia muscular dada las características de la ejecución técnica de los ejercicios, por lo que es de presuponer que principalmente son licitadas las fibras más rápidas. Igualmente los que practican powerlifters también requieren entrenar con cargas muy elevadas, y por tanto presuponiendo igual licitación de las fibras más rápidas, sin embargo las características de los ejercicios requieren un movimiento más lento, y probablemente por ello aunque tengan una mayor proporción de hipertrofia en las fibras rápidas, la proporción respecto a los deportistas de halterofilia es menor. En cambio los fisicoculturistas requieren entrenar con cargas ligeramente inferiores (~ 80% 1RM), ejercicios que requieren menor potencia y masa muscular, con un mayor número de repeticiones, ejecución lenta y poco descanso entre series. Este tipo de esfuerzo puede estimular por una parte las fibras más rápidas dada la alta cantidad de energía requerida, sin embargo debido a la fatiga inherente al programa descrito y a la realización lógica de repeticiones cada vez más lentas, tienen que solicitar de forma muy importante las fibras lentas, y probablemente esta sea la causa de que tengan similar hipertrofia en ambos tipos de fibras. Un dato clarificador de las reflexiones expuestas es la diferencia entre los tres grupos en la proporción del área tipo II/tipo I (figura 39). Este método permite observar el efecto combinado del porcentaje de cada tipo de fibra muscular y el porcentaje del área de cada tipo de fibra muscular. Todos estos datos apuntan a una hipertrofia preferencial del tipo de fibras en función del tipo de entrenamiento realizado.

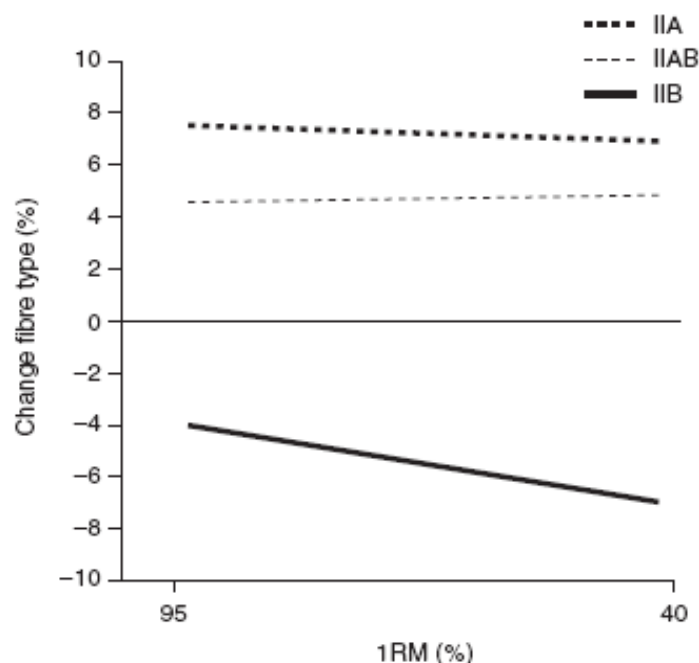
Figura (39). Diferencias en la proporción del área entre las fibras tipo II/tipo I entre deportistas de halterofilia, powerlifting y fisicoculturismo



Adaptado de Fry. Sports Med 2004;34:663-98 diferentes estudios

Posiblemente el efecto diferencial sobre las fibras musculares del tipo de entrenamiento realizado puede explicar la conversión de fibras tipo IIB en fibras tipo IIA habitualmente observado en el entrenamiento con sobrecargas. Así, Fry (2004), a partir de un meta-análisis, determinó que el trabajo con cargas elevadas no es efectivo para la transición de fibras tipo I a II; pero que en general, y sólo para el trabajo con cargas elevadas, en pocas semanas de entrenamiento se observa una conversión de fibras IIB a IIAB y eventualmente a IIA en sujetos no entrenados.

Figura (40). Resultados de un metaanálisis asociado a la transformación de fibras en el entrenamiento con sobrecargas



Fry. Sports Med 2004;34:663-98 diferentes estudios

Una conversión de fibras IIB a IIA es aparentemente nefasto para el rendimiento deportivo, al menos en la mayoría de movimientos donde la resistencia a vencer es relativamente baja y se requiere una manifestación explosiva de la fuerza, y por tanto un posible reclutamiento selectivo de las fibras IIB.

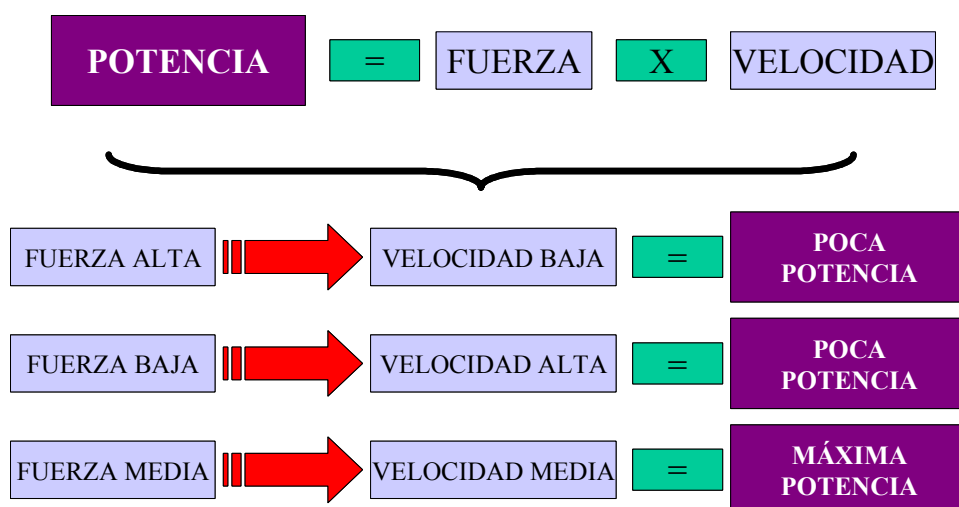
En la mayoría de los estudios analizados por el autor, el programa de entrenamiento realizado es característico del desarrollo de la hipertrofia muscular (6-12RM y velocidad de ejecución lenta). Este tipo de programas de entrenamiento implica que efectivamente las fibras IIA sean las preferencialmente utilizadas, debido a que, por una parte se requiere manifestar una elevada fuerza para poder desplazar una carga relativamente elevada, pero por otra, tanto la velocidad de ejecución de cada repetición y sobre todo la fatiga acumulada en las últimas repeticiones de cada serie y entre las diferentes series requieren la necesidad de fibras resistentes a la fatiga. Por consiguiente, las fibras tipo IIA parecen cumplir una combinación de las necesidades mencionadas, alta generación de fuerza y relativa resistencia a la fatiga.

Globalmente estos resultados alertan de que el tradicional entrenamiento de hipertrofia muscular probablemente no es adecuado para obtener ganancias de fuerza transferibles a los movimientos explosivos. Como veremos en apartados posteriores, un adecuado control con estas intensidades de carga, del número de repeticiones y de la velocidad de ejecución de las repeticiones, puede ser de especial interés para el desarrollo selectivo de las fibras rápidas.

La carga para el desarrollo de la potencia muscular

Numerosos investigadores han estudiado el efecto de la carga (% 1RM) sobre la potencia del músculo. Mientras que la fuerza incrementa con la intensidad de la carga, la máxima potencia se obtiene en una combinación entre la fuerza manifestada y la velocidad de desplazamiento de la carga. Recordemos que la formulación de la potencia es = trabajo/tiempo, y dado que el trabajo es el producto de la fuerza por la distancia recorrida, podemos derivar que la potencia es = Fuerza * distancia/tiempo y por tanto = fuerza * velocidad. Cuando la resistencia a vencer es muy elevada, la fuerza manifestada es muy alta pero la velocidad con que desplazamos la carga es muy baja; por el contrario cuando la resistencia es muy baja, la velocidad es muy alta pero la fuerza manifestada muy baja. Como consecuencia obtendremos la máxima potencia muscular con cargas medias (figura 41), habitualmente entre el 30-70% 1RM.

Figura (41). Justificación de la intensidad de carga para el desarrollo de la máxima potencia



Sin embargo, la carga óptima que genera la más elevada potencia no es consistente en la literatura científica (Kawamori y Haff 2004). Así, se ha sugerido que la carga relativa en la que se obtiene la máxima potencia difiere en función del tipo de ejercicio, del nivel de los deportistas, de la modalidad deportiva y del momento de la temporada (Izquierdo y cols. 2002, Siegel y cols. 2002, Baker y cols. 2001). Por ejemplo ha sido reportado que los sujetos más fuertes obtienen su máxima potencia a un mayor porcentaje de 1RM que los sujetos más débiles, debido a que están

acostumbrados a manifestar la máxima velocidad de ejecución con cargas más elevadas (Stone y cols. 2003). Al igual que para la fuerza muscular, los mayores valores de potencia han sido reportados en la ejecución de ejercicios del tren inferior (~ 2000W) comparado con los del tren superior; esto puede ser atribuido a la mayor masa muscular y la naturaleza multiarticular de muchos de los ejercicios del tren inferior (~400W) (Crewther y cols. 2005). Este hecho viene acompañado de un diferente % de 1RM para obtener la máxima potencia, habitualmente entre el 30-45% para ejercicios del tren superior como la prensa de pecho y del 45-60% de 1RM para ejercicios del tren inferior como la ½ sentadilla (Izquierdo y cols. 2002). La máxima potencia en los levantamientos con técnica balística ha sido reportada manifestarse a un porcentaje inferior (~30% 1RM) tanto para ejercicios del tren superior como inferior (Thomas y cols. 2007, Wilson y cols. 1993). En cambio en los levantamientos olímpicos, las características del ejercicio hacen que con las cargas más intensas se requiera una velocidad de ejecución muy elevada para una ejecución con éxito, lo que determina una potencia muscular más elevada con cargas superior al 80% 1RM (**Cornie y cols. 2007 MEDLINE**). De acuerdo con esta perspectiva, una diferente intensidad para cada ejercicio y atleta debe ser aplicada con objeto de desarrollar el mismo objetivo.

El óptimo intervalo de carga en los deportes colectivos

Dadas las reflexiones establecidas para el desarrollo de la fuerza, la potencia y la hipertrofia muscular, se significa que la carga de entrenamiento debe ser individualizada en función del deportista y del tipo de ejercicio. Por consiguiente, el establecimiento de directrices fijas debe ser contemplado bajo una perspectiva orientativa y global.

Como se ha especificado, el nivel de las resistencias a superar en la mayoría de las tareas motrices de los deportes colectivos es relativamente bajo y los jugadores habitualmente no son muy experimentados en el entrenamiento de la fuerza. Estas reflexiones nos conducen a pensar que una carga superior al 90% de 1RM puede ser excesiva para el desarrollo de la máxima fuerza.

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

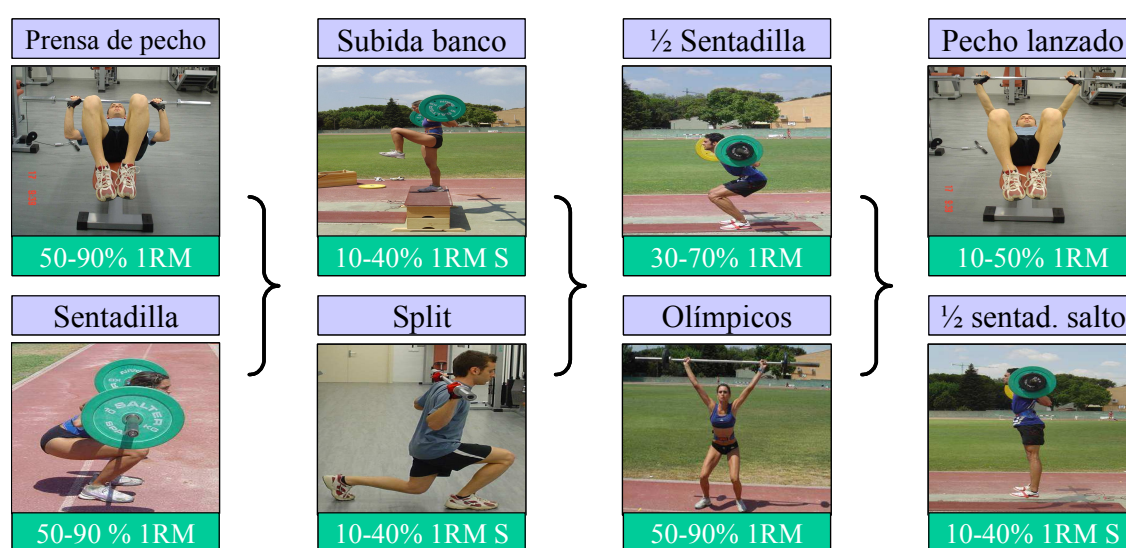
Reverter Masià, Joaquín

Como hemos observado la máxima potencia es dependiente del deportista y del tipo de ejercicio, variando desde el 30% hasta el 80% de 1RM. Sin embargo, en la mayoría de los ejercicios, con una carga del 50-60% o bien se está desarrollando la máxima potencia o se está trabajando con una carga muy próxima.

De estos dos análisis, y de acuerdo a las directrices marcadas en programas de entrenamiento con sobrecargas por otros autores (Cardoso y cols. 2006, González-Badillo y Gorostiaga. 2003), consideramos que aquellos jugadores que globalmente trabajan en un intervalo del 50-90% están desarrollando tanto la máxima fuerza como la máxima potencia. Un trabajo con cargas del 30-50% de 1RM también puede ser adecuado para algunos ejercicios, especialmente los balísticos.

Así, podemos considerar que la intensidad de carga va a corresponder a un modelo periodizado con cargas de intensidad relativa más elevada en los ejercicios más básicos, donde buscaremos el desarrollo de la máxima fuerza y la prevención de lesiones, e intensidades relativas más bajas en ejercicios con sobrecargas más específicos, donde buscaremos el desarrollo de la máxima potencia y el inicio de la transferencia de la fuerza a las necesidades de competición (figura 42).

Figura (42). Reflexión teórica sobre el intervalo óptimo de carga para el desarrollo de la fuerza explosiva con sobrecargas



Entrenamiento periodizado variando la carga en función del ejercicio, nivel del deportista y necesidades de fuerza en competición

1.3.4.4. La combinación óptima del número de repeticiones y la velocidad de ejecución en el entrenamiento con sobrecargas de los deportes colectivos

El principio de especificidad del entrenamiento determina que la mejora del rendimiento está asociada a la ejecución de ejercicios realizados con similar patrón de movimiento que el presentado en el contexto competitivo. Dado que las acciones más determinantes de los deportes colectivos requieren manifestar fuerza en el menor tiempo posible, la velocidad de ejecución en los ejercicios con sobrecargas puede ser una de las variables más relevantes en la transferencia del entrenamiento al contexto competitivo. Así, un entrenamiento realizado con una velocidad de ejecución lenta, además de lógicamente manifestar menos fuerza para el mismo nivel de carga, va a inducir probablemente a una menor activación neural, con menos unidades motoras reclutadas, menor frecuencia de estimulación, reclutamiento selectivo de fibras más lentas, y una menor reutilización de la energía elástica; y por tanto a un incremento de la fuerza cuando se dispone del tiempo suficiente para manifestarla, de acuerdo a la relación existente entre la fuerza y el tiempo.

Al respecto, Keogh y cols. (1999) demostraron para una misma carga de entrenamiento, una menor manifestación de fuerza durante la fase concéntrica (771 vs 1167 N), y una menor activación neural en un grupo que intencionadamente realizó una velocidad de ejecución muy lenta (5-s fase concéntrica vs 5-s fase excéntrica) en relación a otro grupo con una ejecución tradicional. Estos datos sugieren que la actividad de las unidades motoras se ve limitada cuando intencionadamente se realiza una contracción a baja velocidad.

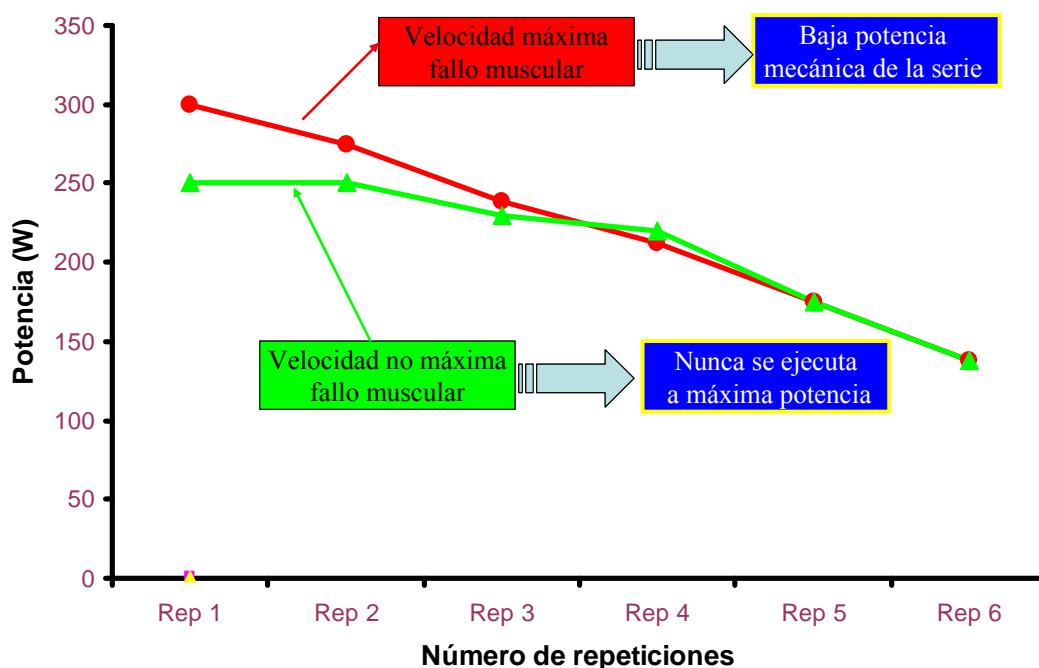
La comparación de físico-culturistas y halterófilos puede ser un claro ejemplo que soporta esta reflexión. Mientras que es evidente que ambos grupos de población son capaces de manifestar mucha fuerza, los halterófilos, caracterizados por realizar sus entrenamientos con ejecuciones explosivas ante cargas muy elevadas, son capaces de manifestar mucha fuerza en poco tiempo; mientras que los físico-culturistas, que

realizan los ejercicios a una velocidad de ejecución controlada, se caracterizan por ser lentos en todo tipo de movimiento. Probablemente una comparación de la curva fuerza-tiempo de estos dos grupos nos identificaría un menor índice de manifestación de fuerza en el grupo de físico-culturistas.

Así, actualmente numerosos teóricos del entrenamiento resaltan la importancia de la velocidad de ejecución de los ejercicios en el entrenamiento de fuerza. De hecho, en interesantes tratados y artículos (Bosco 1991, Legaz-Arrese y cols. 2007, Izquierdo y cols. 2006b) se considera que una vez seleccionada la carga de entrenamiento en función del objetivo de trabajo, el mantenimiento de una óptima velocidad de ejecución nos va a determinar el número de repeticiones a ejecutar.

Una reflexión sobre las últimas investigaciones que determinan la relación entre el número de repeticiones ejecutadas y la velocidad de ejecución nos determina cuatro variaciones en el entrenamiento con sobrecargas que es de esperar induzcan a adaptaciones diferenciadas (figura 43).

Figura (43). Las dos variantes de la velocidad de ejecución de la fase concéntrica durante series realizadas hasta el fallo muscular



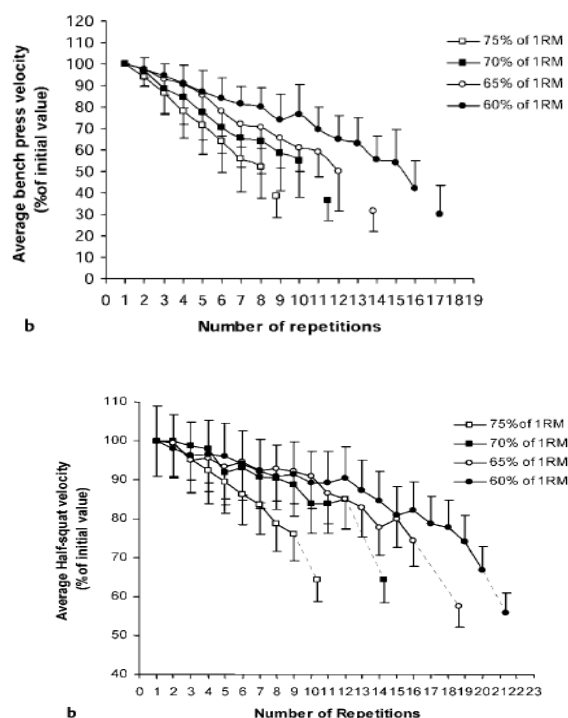
EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

En la figura (43) se representa un modelo teórico de la combinación entre el número de repeticiones y la velocidad de ejecución para una intensidad de 6RM hasta el fallo muscular. Si el deportista no ejecuta la fase concéntrica a la máxima velocidad de ejecución, nunca desarrolla la máxima potencia mecánica para ese nivel de intensidad relativa, y por consiguiente no solicita en la medida de lo posible a los sistemas de fosfágenos ni a las fibras rápidas. En el caso de ejecutar la fase concéntrica del movimiento a la máxima velocidad posible, la potencia va disminuyendo progresivamente con el incremento del número de repeticiones, con la consiguiente sollicitación progresiva de fibras más lentas y del metabolismo anaeróbico láctico.

La disminución de la potencia con el incremento de repeticiones ha sido demostrada en varios estudios (Izquierdo y cols. 2006a, Lawton y cols. 2006, Abdessemed y cols 1999, Mookerjee y Ratamess 1999). En la figura (44) se muestra como el número de repeticiones que se puede mantener a una óptima potencia mecánica es dependiente de la intensidad relativa y del tipo de ejercicio (Izquierdo y cols. 2006a).

Figura (44). El descenso de la velocidad de ejecución clave de la controversia del número de repeticiones ejecutadas



El número de repeticiones ejecutadas a una óptima potencia depende del nivel de carga y del ejercicio

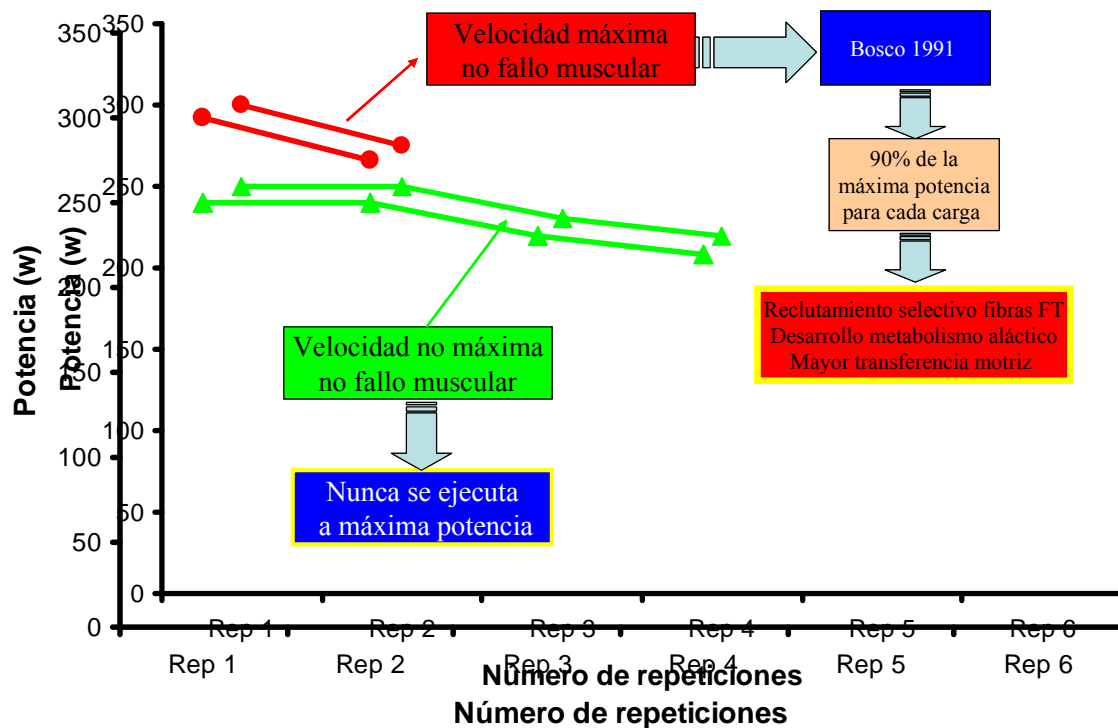
EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

Izquierdo y cols. *Int J Sports Med* 2006a;27:718-24

En la figura (45) se representa un modelo teórico en el que el deportista no realiza el máximo número de repeticiones posible. No llegando hasta el fallo muscular se evita la disminución drástica de la potencia observa anteriormente. Sin embargo, si el deportista no ejecuta las repeticiones a la máxima velocidad, igualmente tal y como se ha descrito previamente, nunca solicita su máxima potencia mecánica.

Figura (45). Las dos variantes de la velocidad de ejecución de la fase concéntrica durante series no realizadas hasta el fallo muscular



EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

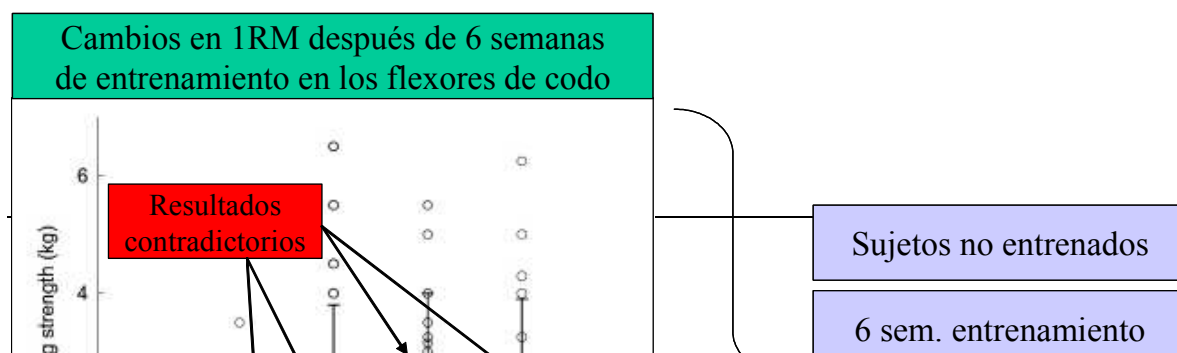
El descenso en la velocidad de ejecución en función del número de repeticiones realizadas para una intensidad relativa de carga ha conducido a que algunos autores, siguiendo las directrices de Bosco (1991), recomienden que para cada intensidad se ejecuten el número de repeticiones en el que se puede mantener una óptima potencia mecánica (Izquierdo y cols. 2006b, Legaz-Arrese y cols. 2007) o a realizar breves descanso entre las repeticiones (Lawton y cols. 2006).

Una mayor reflexión sobre el número de repeticiones óptimo que, para cada intensidad de carga, permite mantener una óptima potencia mecánica, así como sus posibles efectos beneficiosos para el rendimiento deportivo, ha sido publicada por nuestro grupo de investigación, y se ha incluido en este documento como parte del trabajo de Tesis Doctoral.

A pesar de las reflexiones y datos aportados, tanto en la prescripción de los programas de entrenamiento como en los trabajos de investigación la velocidad de ejecución y el fallo muscular apenas se han tenido en consideración. Además, como indican Pereira y Gomes (2003), los pocos estudios que han investigado los efectos que la ejecución del movimiento a distintas velocidades tiene sobre parámetros de la fuerza y del rendimiento se han realizado utilizando mayoritariamente equipamiento isocinético e hidráulico, y por tanto sus conclusiones no pueden ser aplicables al rendimiento deportivo que se caracteriza por manifestar fuerza en condiciones isotónicas. Además, en la mayoría de los estudios los sujetos utilizados eran poco entrenados y no se controló la influencia del número de repeticiones sobre la velocidad de ejecución.

Un claro ejemplo de la contradicción que aportan los estudios que han tratado de aislar los efectos de la velocidad de ejecución es el mostrado en el estudio de Munn (2005) (Figura 46)

Figura (46). Un ejemplo de las limitaciones existentes sobre la investigación asociada a la velocidad de ejecución de las repeticiones

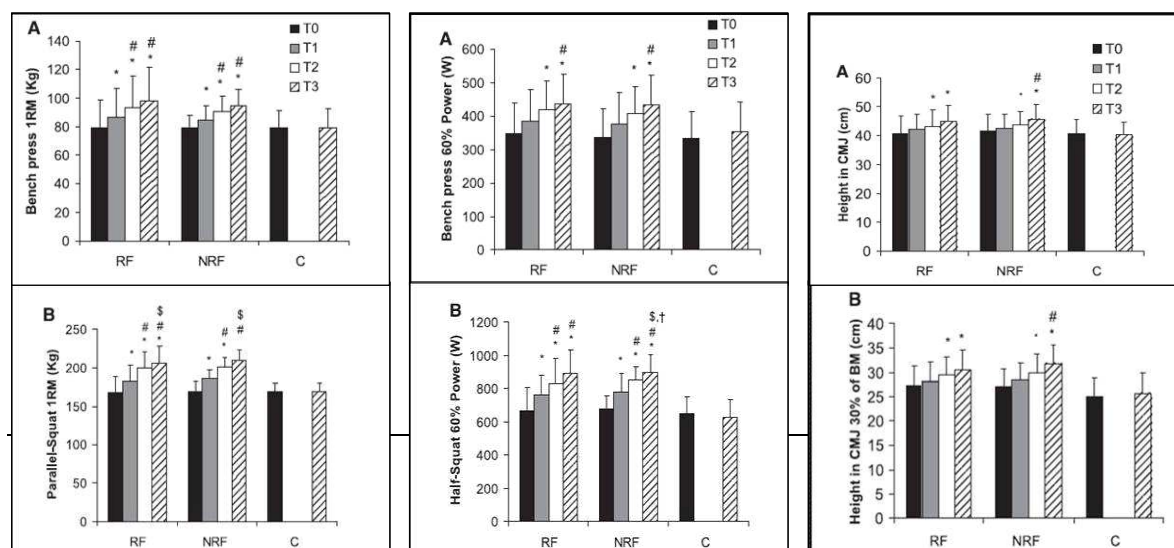


Munn y cols. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37:1622-26

Como se observa en la figura, el incremento de fuerza ejecutando las repeticiones a velocidad rápida fue superior que a velocidad lenta, si únicamente se ejecuta una serie, pero inferior si se ejecutan tres series. El tipo de sujetos, las semanas de entrenamiento, el tipo de entrenamiento ejecutando hasta el fallo muscular y la valoración inespecífica de los efectos del entrenamiento invalidan este tipo de estudios.

Resultados contradictorios son derivados también de los estudios que han intentado aislar el entrenamiento conducente o no hasta el fallo muscular. Hasta la fecha, el único estudio periodizado que ha aislado esta variable ha demostrado que al menos los efectos del entrenamiento no son peores no llegando hasta el fallo muscular (figura 47) (Izquierdo y cols. 2006b).

Figura (47). Diferencias en la fuerza y la potencia de programas de entrenamiento controlando el fallo muscular en jugadores de elite de pelota vasca



Izquierdo y cols. J Appl Physiol 2006b;100:1647-56

1.3.4.5. Conclusiones sobre los principios científicos del entrenamiento con sobrecargas en los deportes colectivos

A falta de estudios concluyentes las reflexiones teóricas aportadas recientemente por distintos autores, y algunas evidencias científicas señalan que la ejecución a máxima velocidad únicamente del número de repeticiones que permiten mantener una óptima potencia mecánica, pueden inducir a un desarrollo selectivo de las fibras rápidas, a evitar la transformación de fibras rápidas en lentas, a desarrollar una mayor potencia mecánica y probablemente a un incremento de fuerza en patrones dinámicos más semejantes a los de competición.

Sin duda, la óptima combinación entre el número de repeticiones a ejecutar para cada intensidad relativa de carga y la velocidad de ejecución es la nueva línea de investigación que permita en el futuro un avance en el desarrollo de la fuerza.

Probablemente la metodología basada en el mantenimiento de la potencia mecánica, presentada en este trabajo ([ver artículo](#)) va a inducir a una adaptación más específica de la fuerza. Sin embargo, la respuesta la tienen que dar los futuros

trabajos de investigación. Hay que tener en consideración que hasta el momento es desconocido como desciende la velocidad en muchas intensidades de carga. Es desconocido como varía el descenso de la velocidad entre diferentes ejercicios, estado de forma y entre diferentes deportistas y modalidades deportivas. Es desconocido también el tiempo necesario de descanso entre series para poder mantener en todas las series el número de repeticiones recomendado a la máxima velocidad. Y por supuesto, es desconocido a nivel científico si una metodología basada en el mantenimiento de la potencia mecánica va a inducir una mejora de la velocidad de los movimientos de los jugadores en mayor medida que la metodología tradicional que establece llegar al fallo muscular con intensidades del 70-100% 1RM. Los resultados presentados respecto a la intensidad evidencian que una carga comprendida al menos entre el 50-90% de 1RM puede ser óptima para el desarrollo de la fuerza y la potencia mecánica.

En base a todas las reflexiones realizadas durante estos apartados, los principios científicos que supuestamente van a inducir un óptimo aprovechamiento del entrenamiento con sobrecargas en los deportes colectivos se pueden resumir en:

- Ejecución de ejercicios multiarticulares con pesos libres, siendo especialmente relevantes los ejercicios olímpicos y balísticos.
- Ejecución de ejercicios compensatorios.
- Trabajo a un intervalo de intensidad mínimo del 50-90% de 1RM.
- Ejecución de la fase concéntrica del movimiento a la máxima velocidad.
- Evitar la drástica disminución de la potencia mecánica inducida por la ejecución del máximo número de repeticiones posible para cada intensidad de carga.

1.3.5. Referencias Bibliográficas

Abdessemed D, Hautier PD, Poumarat G, Bedu M. Effect of recovery duration on muscular power and blood lactate during the bench press exercise. *Int J Sports Med* 1999;20:368-73.

American College of Sports Medicine. Position Stand: progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:364-80.

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

Akima H, Takahashi H, Kuno SY, Masuda K, Masuda T, Shimojo H, Anno I, Itai Y, Katsuta S. Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:588-94.

Armstrong DF. Power training: The key to athletic Success. *N.S.C.A* 1993;15:10.

Andersen JL, Schjerling P, Saltin B. Muscle, genes and athletic performance. *Sci Am* 2000;283:48-55.

Baumann H, Jäggi M, Soland F, Howald H, Schaub MC. Exercise training induces transitions of myosin isoform subunits within histochemically typed human muscle fibres. *Plfugers Arch* 1987;409:49-60.

Baker D, Nance S, Moore M. The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power trained athletes. *J Strength Cond Res* 2001;15:92-7.

Behm DG. Neuromuscular implications and applications of resistance training. *J Strength Cond Res* 1995;9:264-74.

Behm DG, Sale D. Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J Appl Physiol* 1993;74:359-68.

Bird S, Tarpenning K, Marino F. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med* 2005;35:841-51.

Bosco C. Nuove metodologie per la valutazione e la programmazione dell'allenamento. *SdS, Rivista di Cultura Sportiva* 1991;22:13-22.

Bosco C, Colli R, Bonomi R, Von Duvillard SP, Viru A. Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:202-8.

Carey Smith R, Rutherford OM. The role of metabolites in strength training. *Eur J Appl Physiol* 1995;71:332-6.

Campos GE, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, Ragg KE, Ratamess NA, Kraemer WJ, Staron RS. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 2002;88:50-60.

Cardoso-Marques M.A, González-Badillo JJ. In-season resistance trained and detrained in professional team handball players. *J Strength Cond Res* 2006;20:563-71.

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

Cardoso-Marques M.A, González-Badillo JJ, Kluka DA. In-season resistance trained and detrained in professional team handball players. J Strength Cond Res 2006;28:16-27.

Carroll T, Riek S, Carson R. Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. Sports Med 2001;31:829-40.

Caraffa A, Cerrulli G, Proietti M, Aisa G, Rizzo A. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 1996;4:19-21.

Crewther B, Cronin J, Keogh J. Possible stimuli for strength and power adaptation: acute mechanical responses. Sports Med 2005;35:967-89.

Carolan B, Carafelli E. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. J Appl Physiol 1992;73:911-7.

Cavagna GA, Dusman B, Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle. J Appl Physiol 1968;24:21-32.

Cronin J, McNair PJ, Marshall RN. Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. J Strength Cond Res 2003;17:148-55.

Cronin J, McNair PJ, Marshall N. Developing explosive power: a comparison of technique and training. J Sci Med Sport 2001;4:59-70.

Dettmers C, Ridding MC, Stephan KM, Lemon RN, Rothwell JC, Frackowiak RS. Comparison of regional cerebral blood flow with transcranial magnetic stimulation at different forces. J Appl Physiol 1996;81:596-603.

Fowles JR, MacDougall JD, Tarnopolsky MA. The effects of acute passive stretch on muscle protein synthesis in humans. Can J Appl Physiol 2000;25:165-80.

Fleck SJ, Kraemer WJ. Designing resistance training programs, 2nd Ed. Champaign, IL: Human Kinetics Books, 191-115.1997.

Fry AC. The role of resistance exercise intensity of muscle fibre adaptations. Sports Med 2004;34:663-79.

Gabriel D, Kamen G, Frost G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanism and recommendations for training practices. Sports Med 2006;36:133-49.

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

Garhammer J. A comparison of maximal power outputs between elite male and female weightlifters in competition. *Int J Sports Biomech* 1991;7:3-11.

Garhammer JA. A review of power output studies of Olympic and powerlifting: Methodology, performance prediction, and evaluation tests. *J Strength Cond Res* 1993;7:76-89.

Gorostiaga EM, Izquierdo M, Iturralde P, Ruesta M, Ibáñez J. Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;80:485-93.

González Badillo JJ, Ribas J. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. INDE. Barcelona. 2002.

Häkkinen K, Pakarinen A. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol* 1993;74:882-7.

Hakkinen K, Komi PV. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 1983;15:455-60.

Häkkinen K, Alen M, Komi PV. Changes in isometric force-and relation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand* 1985;125:573-85.

Häkkinen K, Alen M, Kallinen M, Newton RU, Kraemer WJ. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol* 2000;83:51-62.

Häkkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, Jokelainen K, Lassila H, Mäkiä E, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol* 1998;84:1341-9.

Harrison A, Keane S, Cogan J. Force-velocity and stretch-shortening cycle function in sprint and endurance athletes. *J Strength Cond Res* 2004;18:473-9.

Henchoz Y, Malatesta D, Gremion G, Belli A. Effects of the transition time between muscle-tendon stretch and shortening on mechanical efficiency. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:665-71.

Hickson RC, Hidaka K, Foster C, Falduto MT, Chatterton RT Jr. Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol* 1994;76:663-70.

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

Izquierdo M, González-Badillo JJ, Häkkinen K, Ibáñez J, Kraemer WJ, Altadill A, Eslava J, Gorostiaga EM. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetition to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int. J. Sports Med* 2006a;27:718-24.

Izquierdo M, Ibañez J, González-Badillo JJ, Häkkinen K, Ratamess NA, Kraemer WJ, French DN, Eslava J, Altadill A, Asiain X, Gorostiaga EM. Differential effects of strength training leading to failure vs not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* 2006b;100:1647-56.

Izquierdo M, Hakkinen K, Gonzalez-Badillo JJ, Ibañez J, Gorostiaga EM. Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur J Appl Physiol* 2002;87:264-71.

Keogh JW, Wilson GJ, Weatherby RP. A cross-sectional comparison of different resistance training techniques in the bench press. *J Strength Cond Res* 1999;13:247-58.

Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:674-88.

Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, Fleck SJ, Franklin B, Fry AC, Hoffman JR, Newton RU, Potteiger J, Stone MH, Ratamess NA, Triplett-McBride T; American College of Sports Medicine. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:364-80.

Kawamori N, Haff GG. The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond. Res* 2004;18:675-84.

Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. Resistance training for health and performance. *Curr Sports Med Rep* 2002;1:165-71.

Komi PV, Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports Exerc* 1978;10:261-5.

Kryöläinen H, Komi P. The neuromuscular system in maximal stretch-shortening cycle exercises: Comparison between power- and endurance-trained athletes. *J Electromyogr Kinesiol* 1995;5:15-25.

Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Elasticity of the tendon structures of the lower limbs. *Acta Physiol Scand* 2000;168:327-35.

Lachowetz T, Evon J, Pastiglione J. The effect of an upper body strength program on intercollegiate baseball throwing velocity. *J Strength Cond Res* 1998;12:116-9.

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masía, Joaquín

Lawton TW, Cronin JB, Lindsell RP. Effect of interrepetition rest intervals on weight training repetition power output. *J Strength Cond Res* 2006;20:172-6.

Legaz-Arrese A, Reverter-Masía J, Munguía-Izquierdo D, Ceballos-Gurrola O. An analysis of resistance training based on the maintenance of mechanical power. *J Sports Med Phys Fitness* 2007;47:427-36.

Magalhães J, Oliveira J, Ascensão A, Soares J. Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2004;44:119-25.

Mcbride JM, Triplett-Mcbride T, Davie A, Newton RU. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J. Strength Cond. Res* 2002;16:75-82.

McEvoy KP, Newton RU. Baseball throwing speed and base running speed: the effects of ballistic resistance training. *J Strength Cond Res* 1998;12:216-21.

Mookerjee S, Ratamess NA. Comparison of strength differences and joint action durations between full and partial range-of-motion bench press exercise. *J Strenght Cond Res* 1999;13:76-81.

Muun J, Herbert RD, Hancock MJ, Gandevia SC. Resistance training for strength effect of number of sets and contraction speed. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:1622-6.

Noffal GL. Isokinetic eccentric-to-concentric strength ratios of the shoulder rotator muscles in throwers and nonthrowers. *Am J Sports Med* 2003;31:537-41.

Newton RU, Kraemer WJ, Häkkinen K. Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Med. Sci. Sports Exerc* 1999;31:323-30.

Newton RU, Kraemer WJ, Häkkinen K, Humphries BJ, Murhy AJ. Kinematics, kinetics and muscle activation during explosive upper body movements. *J. Appl. Biomech* 1996;12:31-43.

Olmo MF, Reimunde P, Viana O, Martín R, Cudeiro J. Chronic neural adaptation induced by long-term resistance training in humans. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:722-8.

Pereira M, Gomes P. Movement velocity in resistance training. *Sports Med* 2003;33:427-38.

Peterson M, Rhea M, Alvar B. Maximizing strength development in athletes: A meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res* 2004;18:377-82.

Peterson M, Rhea M, Alvar B. Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *J Strength Cond Res* 2005;19:950-8.

EL ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGAS Y EL RENDIMIENTO EN LOS DEPORTES COLECTIVOS

Reverter Masià, Joaquín

Poliquin CH. Applied strength training (par 1) Sport Coach 1992; Jul-Sep:25-8.

Ploutz LL, Tesch PA, Biro RL, Dudley GA. Effect of resistance training on muscle use during exercise. J Appl Physiol 1994;76:1675-81.

Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. Med Sci Sports Exerc 2003;35:456-64.

Ross A, Leveritt M, Riek S. Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. Sports Med 2001;31:409-25.

Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, et al. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. J Appl Physiol 1994;76:1247-55.

Siegel JA, Gilders RM, Staron RS, et al. Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. J Strength Cond Res 2002;16:173-8.

Stone M, O'Bryant H, McCoy L et al. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. J Strength Cond Res 2003;17:14047.

Taïana F, Gréhaigne JF, Cometti G. The influence of maximal strength training of lower limbs of soccer players on their physical and kick performance. In: Science and football II. T. Reilly, J. Clarcks and A. Stibbe, eds. London: TF-Taylor, 1992. pp. 98-103.

Thys H, Faraggiana T, Margaria R. Utilization of muscle elasticity in exercise. J Appl Physiol 1972;32:491-4.

Thomas GA, Kraemer WJ, Spiering BA, Volek JS, Anderson JM, Maresch CM. Maximal power at different percentages of one repetition maximum: influence of resistance and gender. J Strength Cond Res 2007;21:336-42.

Wilson GJ, Murphy AJ. Strength diagnosis: The use of test data to determine specific strength training. J Sports Sci 1996;14:167-73.

Wilmore and Costill. Physiology of sport and exercise. Human Kinetics. 2004.

Wedderkopp N, Kaltoft M, Lungaard B, Rosendahl M, Froberg K. Prevention of injuries in young female players in European team handball. A prospective intervention study. Scand J Med Sci Sports 1999;9:41-5.