

Monograph

Entrenamiento de Fuerza en la Práctica Deportiva: Zonas de Entrenamiento y Ejercicios de Prevención

Dr. Fernando Naclerio, PhD, CSCS, CISSN, RNutr

Universidad Europea de Madrid (UEM), Madrid, España.

RESUMEN

El entrenamiento de fuerza, ha sido tradicionalmente asociado con los ejercicios de musculación, el culturismo o los levantamientos de peso. No obstante, en los últimos años las evidencias científicas han demostrado que los trabajos de fuerza constituyen un componente esencial del entrenamiento, tanto por sus efectos positivos para mejorar el rendimiento como para prevenir la incidencia de lesiones o atenuar los procesos de envejecimiento. En este artículo, se analizan las variables mecánicas y fisiológicas que definen las cargas y las zonas de entrenamiento de la fuerza, haciendo especial hincapié en intensidad, ya que esta variable, determina, al menos en primera instancia, la orientación de cada carga de trabajo. Por otro lado, se analizan los diferentes pasos metodológicos que deben respetarse para seleccionar adecuadamente los medios y ejercicios de entrenamiento de la fuerza, considerando las necesidades específicas de cada disciplina así como las características de cada deportista para mejorar su rendimiento o prevenir la incidencia de lesiones. Por último, se exponen y comparan los resultados de los últimos trabajos realizados en el laboratorio de entrenamiento de la Universidad Europea de Madrid sobre la aplicación de los ejercicios excéntricos para prevenir la incidencia de lesiones musculares.

Palabras Clave: fuerza, zonas de entrenamiento, ejercicios excéntricos, lesiones

INTRODUCCION

El entrenamiento de fuerza constituye un componente esencial en la preparación deportiva, tanto para mejorar el rendimiento, optimizar los procesos de rehabilitación o reentrenamiento y reducir la incidencia lesiones (Wernbom et al., 2007). Debido a esto, el control y cuantificación de la intensidad, volumen, densidad, duración y frecuencia así como la selección de los medios y ejercicios de entrenamiento es de vital importancia para programar y secuenciar adecuadamente las cargas de trabajo, así como para estimar el impacto o carga interna causada sobre el organismo de los sujetos (Naclerio, 2007b, Wernbom et al., 2007).

El objetivo de este artículo, es revisar los componentes principales que definen las cargas de trabajo y definen las zonas de entrenamiento de fuerza, para posteriormente indicar los pasos metodológicos que deben considerarse para integrar los trabajos de fuerza en la programación del entrenamiento tanto para mejorar el rendimiento como para prevenir la incidencia de lesiones.

VARIABLES A CONSIDERAR PARA PLANIFICAR EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

De acuerdo a Naclerio (2005), tanto la selección como la dosificación del entrenamiento de fuerza implica la consideración de dos tipos de variables:

1. *Fisiológicas*: definen la forma de manifestación de la fuerza (máxima, veloz-explosiva o resistencia) y su efecto sobre el organismo que, independientemente del tipo de ejercicio utilizado, estará determinado por la intensidad, volumen, densidad, duración, frecuencia de los esfuerzos (Wernbom et al., 2007, Naclerio, 2005).
2. *Mecánicas*: que definen los medios de entrenamiento (pesos libres, máquinas, etc.) y los diferentes ejercicios que se realizarán en cada fase del programa de entrenamiento.

DETERMINACION DE LAS ZONAS DE ENTRENAMIENTO

Aunque el medio y el tipo de ejercicio realizado afectan significativamente el tipo de fuerza manifestado, el grado y tipo de esfuerzo muscular va a depender fundamentalmente de la relación entre las variables fisiológicas: intensidad, el volumen, la densidad, la duración y frecuencia de los entrenamientos (Wernbom et al., 2007, Naclerio, 2005). De estas cinco variables, posiblemente la intensidad, sea la que, en primera instancia, ejerza una influencia clave para determinar el tipo de fuerza manifestado (Fry, 2005). No obstante, debo destacar que con relación a los entrenamientos de fuerza, hasta el momento no existe un consenso uniforme para definir a la intensidad que ha sido tratada y definida con criterios diferentes. La mayoría de los autores han asociado a la intensidad de los ejercicios de fuerza con la magnitud del peso utilizado (%1 RM) (Fleck, 1999) siendo en muchos casos expresada en función de la mayor cantidad de repeticiones posibles de realizar con cada peso (por ejemplo 8 RM o 6 RM) (Hasegawa et al., 2002, Wernbom et al., 2007).

No obstante, cuando además del peso se considera a la velocidad de movimiento, la intensidad puede estimarse con mayor precisión por medio de la potencia mecánica producida en cada acción (Knutten, 2007, Graham, 2002). Esta última consideración, es aplicable especialmente cuando se movilizan pesos submáximos comprendidos entre el 30% y el 60% de la 1RM o en los ejercicios realizados de forma secuencial, como los levantamientos olímpicos, en donde a pesar de que se incrementa el peso, la velocidad no cae significativamente y por lo tanto la potencia se incrementa y alcanza su máximo valor con pesos superiores al 70% u 80% de la 1 RM (Naclerio, 2008a, Garhammer, 1993). En los ejercicios como el press de banca o la sentadilla, en donde no se realiza una aplicación secuencializada de la fuerza a través de los núcleos articulares, cuando se utilizan pesos superiores al 60% de la 1 RM, el estrés muscular se relacionará directamente con la magnitud del peso movilizado, ya que la potencia caerá fundamentalmente por la disminución de la velocidad de movimiento (Naclerio, 2008b). Por el contrario, con pesos inferiores al 60% de la 1 RM, la intensidad dependerá no sólo del peso movilizado sino también de la velocidad alcanzada en cada acción, y por lo tanto puede ser identificada con mayor precisión con el nivel de potencia producido con cada peso o porcentaje de peso utilizado (Graham, 2002).

De acuerdo con esto, la intensidad y por lo tanto el tipo de fuerza manifestada en cada ejercicio dependerá de la interrelación entre sus características mecánicas con la fuerza aplicada, la velocidad y la potencia producida con diferentes porcentajes de peso (Naclerio, 2007a).

En los ejercicios como el press de banca o la sentadilla, en donde la velocidad máxima posible de alcanzar se relaciona inversamente con el porcentaje de peso utilizado y la producción de potencia mecánica desde los porcentajes bajos (~30%) hasta los máximos (100%) describe una trayectoria parabólica (ver figura 1) (Naclerio, 2007a, Cronin and Sleivert, 2005, Cormie et al., 2007), cuando se movilizan pesos submáximos ($\leq 80\%$ 1 RM) es posible modular la velocidad de movimiento y aunque se afecte su cinética, podrán desarrollarse técnicas correctas de ejecución. En estos ejercicios, pueden identificarse diversas zonas de entrenamiento o manifestación de la fuerza según el porcentaje de peso y de velocidad o potencia producida en cada acción (Bosco, 1991) (ver figura 1).

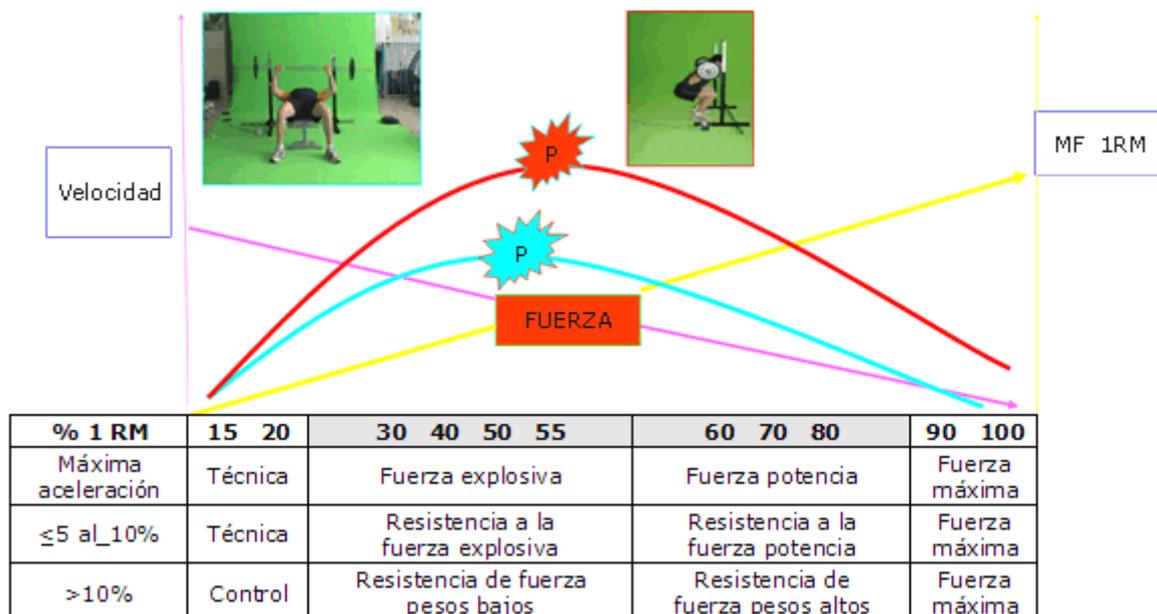


Figura 1. Determinación de las zonas de entrenamiento de la fuerza según el porcentaje de peso y la velocidad o potencia de movimiento alcanzada en ejercicios de empuje, adaptado de Naclerio y Jiménez, 2007.

Por otra parte, en los ejercicios ejecutados de forma secuencial como los levantamientos olímpicos, aunque se movilicen pesos máximos o cercanos a este, la velocidad de movimiento se mantiene relativamente alta, ya que la fuerza se transmite velozmente desde las zonas centrales hacia las distales, no dando tiempo para alcanzar valores máximos de tensión muscular como ocurre en las acciones isométricas u otros tipos de ejercicios. Así, en trabajos realizados en nuestro laboratorio, hemos observado que al realizar el ejercicio de cargada colgante, el pico de fuerza transmitido a una plataforma dinamométrica alcanza valores próximos al 80% respecto de los medidos con una célula de carga durante un test de fuerza máxima isométrica en una posición similar a la adoptada en el 2º tirón. Estos resultados, son similares a los publicados por (Haff et al., 2005) en un estudio realizado con levantadoras olímpicas en donde el pico de fuerza alcanzado con 100kg en el ejercicio de cargada colgante representó cerca del 84% del pico de fuerza máxima isométrica determinada en la posición del 2º tirón.

De acuerdo con esto, en este tipo de ejercicios en donde la velocidad o la potencia está altamente asociada con la correcta técnica de ejecución de cada movimiento (Gorgoulis et al., 2002, Garhammer, 1991, Garhammer, 1993), los niveles de tensión muscular nunca llegan a valores máximos y por lo tanto sólo es posible distinguir tres zonas de entrenamiento: 1) pesos bajos para realizar el aprendizaje o las correcciones técnicas, 2) fuerza explosiva determinada con pesos >70% hasta el 85% y 3) fuerza potencia con pesos > del 85%.

El análisis anterior, nos proporciona la posibilidad de elegir los porcentajes de peso, y especialmente las velocidades o potencias que deben alcanzarse según el objetivo del entrenamiento. Así las zonas descritas en la figura 1, indican que la *fuerza máxima*, se entrenará con pesos comprendidos entre el 80%-85% hasta el 100% de la 1 MR, la *fuerza velocidad*, se entrenará con pesos comprendidos entre el 30% al 55-60% cuando se da prioridad al factor velocidad para producir altos valores de potencia (zona de fuerza explosiva) y con más del 55-60% hasta el 80%, cuando se da prioridad a la fuerza para alcanzar altos valores de potencia (zona de fuerza potencia). En este caso, la potencia de movimiento siempre debe ser máxima o cercana a la máxima recomendándose trabajar siempre por encima del 90% de la máxima potencia posible de lograr con peso utilizado (Tidow, 1995). Para entrenar la *fuerza resistencia*, hemos identificado dos zonas: 1) pesos bajos (30 al 55-60% de la 1RM) y 2) pesos altos (>55-60 hasta el 80% de la 1 RM). En estos casos, la velocidad y potencia de movimiento será < al 90% de la máxima posible de producir con cada peso utilizado (Bosco, 1991).

SELECCION DE LOS MEDIOS Y EJERCICIOS EN EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA: CONSIDERACION DE LAS VARIABLES MECANICAS

Medios de entrenamiento

Constituyen los dispositivos utilizados para crear las sobrecargas sobre el organismo. Las diferencias entre las formas con que cada medio transmite las fuerzas sobre el cuerpo humano van a influir significativamente las características mecánicas (cinéticas y cinemáticas) de los ejercicios y a determinar distintas respuestas o regímenes de acción muscular que, serán específicos para cada caso (Naclerio, 2005). De acuerdo con esto, pueden distinguirse los siguientes medios de entrenamiento de la fuerza: Medios que actúan por *acción directa de la gravedad* (pesos libres y máquinas de acción directa y de palanca), *máquinas de poleas cilíndricas* (radio constante), medios que utilizan *energía cinética*, los *momentos de inercia* o los que combinan ambos estímulos como las máquinas yo yo o la polea cónica, *máquinas con poleas irregulares* que varían los momentos de fuerza a lo largo del rango de desplazamiento (CAM), *medios isotónicos*, que controlan o mantienen estables los momentos de fuerza y permiten variar u observar la velocidad alcanzada, *medios isocinéticos*, que por el contrario controlan o mantienen estable la velocidad y permiten variar u observar la fuerza alcanzada a velocidades específicas, medios que actúan incrementando o reduciendo la *fricción* de dos cuerpos, como las antiguas bicicletas ergométricas, medios que actúan por la *presión de fluidos o gases*, como las máquinas de presión a aire, *medios elásticos*, como las gomas o muelles que incrementan la fuerza o resistencia a medida que se amplía el movimiento, medios que actúan transmitiendo *vibraciones electromecánicas* (plataformas de vibración total corporal) o los medios involuntarios como la *estimulación eléctrica muscular* (electroestimulación).

Ejercicios

Según el grado de similitud con el gesto deportivo, los ejercicios pueden clasificarse en:

1. *Deportivos*, que constituyen las acciones propias y específicas de cada deporte.
2. *Específicos*, que constituyen fases o gestos muy similares a las acciones deportivas.
3. *Auxiliares*, son gestos mecánicamente diferentes a los de la actividad deportiva que se aplican fundamentalmente en las fases de preparación general o pretemporada.

Según Bompa (1995), los ejercicios auxiliares pueden subclasificarse de acuerdo a su importancia para mejorar el rendimiento específico de cada deporte en:

1. *Ejercicios motores principales*: Suelen ser multiarticulares, y aplicarse para mejorar la fuerza de los núcleos articulares principalmente solicitados en la práctica deportiva específica.
2. *Ejercicios suplementarios*: Se aplican para complementar los efectos de los ejercicios motores principales, aunque la importancia otorgada por el entrenador es algo inferior.
3. *Ejercicios asistentes*: Se aplican para fortalecer zonas musculares específicas cuya función es fundamental para reducir la incidencia de lesiones, como ocurre con los ejercicios excéntricos de la zona posterior del muslo o los que estimulan altos niveles de co-contracción entre agonistas y antagonistas (Youdas et al., 2007, Brughelli and Cronin, 2008) los ejercicios para la zona abdominal o lumbar así como los ejercicios de propiocepción que tiende a mejorar estabilidad de la columna y la pelvis (Farries and Greenwood, 2007).

Considerando que además de mejorar el rendimiento otro objetivo fundamental es reducir la gravedad o la incidencia de lesiones, la selección de los medios y ejercicios de entrenamiento debe hacerse siguiendo los siguientes pasos:

1. Analizar la estructura y la dinámica específica en entrenamiento y competición.
2. Determinar las capacidades físicas específicas y limitantes de cada deporte.
3. Seleccionar los ejercicios motores y suplementarios.
4. Determinar las zonas y los tipos de lesión más comunes en cada especialidad.
5. Identificar los mecanismos de lesión más frecuentes.
6. Seleccionar y diferenciar los ejercicios de prevención.
7. Seleccionar e integrar los ejercicios *asistentes* en el programa de entrenamiento.
8. Controlar los efectos del entrenamiento para mejorar el rendimiento y prevenir la incidencia de lesiones.

ESTRUCTURA DE LAS ACTIVIDADES DEPORTIVAS Y DETERMINACION DE LAS CAPACIDADES ESPECIFICAS Y LIMINTANTES

A diferencia de las disciplinas atléticas, la natación o el ciclismo, en los deportes de equipo o combate existe una mayor complejidad en cuanto a la estructura mecánica y secuencia de acciones. Estas actividades se caracterizan por la intermitencia y variabilidad de los gestos deportivos, en donde los movimientos de alta intensidad (aceleraciones, saltos,

frenos, cambios de dirección, forcejeos, entradas, golpes, lanzamientos de balón, etc.), si bien, se realizan con un volumen inferior, su importancia es decisiva para alcanzar el éxito deportivo (Hoff and Helgerud, 2004, Hoff, 2006, Krustup et al., 2006).

De acuerdo con esto, si consideramos que las capacidades específicas son las que se manifiestan durante el transcurso de la misma actividad deportiva, en los deportes de conjunto o combate predominan las manifestaciones de fuerza con alta velocidad de movimiento aplicadas de forma intermitente durante el tiempo que dure cada competición específica (Krustup et al., 2006, Degoutte et al., 2003). En ciertos deportes de conjunto como el fútbol, vóley o baloncesto, la fuerza explosiva o resistencia a la fuerza explosiva son consideradas capacidades específicas, mientras que la fuerza máxima limitará sus manifestaciones ya que la posibilidad de alcanzar de altos niveles de fuerza explosiva o resistencia a la fuerza explosiva podrá hacerse solo con resistencias ligeras nunca superiores al 40% de la máxima fuerza absoluta (Verchoshansky, 1996, Naclerio et al., 2008).

De acuerdo con esto, el objetivo principal en las primeras fases de la preparación será alcanzar un nivel óptimo de fuerza máxima, para que la falta de esta capacidad no limite el rendimiento específico. Este objetivo, en la mayoría de los deportes de conjunto o los juegos con raqueta en los de combate a distancia como el boxeo o taekwondo, se alcanza cuando la resistencia de oposición (segmento corporal más implemento) determina la aplicación de niveles de fuerza comprendidos entre un 10% o 15% o hasta un máximo del 40% de la fuerza máxima isométrica expresada en el ángulo de mayor dificultada mecánica para un gesto específico (Zatsiorsky, 2002). En otros deportes como los de lucha cuerpo a cuerpo, en donde los niveles de fuerza manifestados durante la actividad son más elevados ya que se producen acciones en las zonas de fuerza resistencia o fuerza máxima, los valores de fuerza máxima alcanzados en los ejercicios motores principales han mostrado tener mayor relación e influencia sobre el rendimiento específico (Zatsiorsky, 2002, Siff, 2004). Young and Prior, (2001), destacan la importancia e influencia positiva de los niveles de fuerza máxima logrados en sentadilla y cargada en 1 tiempo sobre el rendimiento en acciones específicas de ciertos deportes de conjunto como son las salidas y las aceleraciones de velocidad. Por su parte Wisløff et al. (1998), encontraron coeficientes de correlación significativos, moderados y altos entre el valor de la 1 RM en sentadilla (90°) y el rendimiento en aceleraciones de 10 m ($r = 0.94$), 30 m ($r = 0.71$), ir 10 m y volver 10 m (0.68) y el salto vertical ($r = 0.78$). Además, estos autores indican que el valor de la 1 MR en sentadilla (90°) se relaciona también con el nivel de rendimiento de los jugadores de fútbol Noruegos, ya que los que pertenecen a equipos de primer nivel levantan ~ 2.1 kg por kg de peso corporal, mientras que los que juegan en equipos de menor nivel tienen un valor inferior ~ 1.7 kg por kg de peso corporal de peso externo. Con respecto a los deportes de lucha, en un grupo de judokas ($n = 12$) que hemos analizado en mi tesis doctoral (Naclerio, 2006), dividimos la muestra de acuerdo a los resultados obtenidos en competiciones de nivel Nacional e Internacional y observamos como los judokas bien clasificados a nivel Internacional mostraban diferencias significativas ($p < 0.05$) en los valores de fuerza máxima (1 RM por kg de peso corporal) en press de banca plano con barra libre (1.15 ± 0.26 contra 1.0 ± 0.15), sentadilla paralela con barra libre (1.65 ± 0.48 contra 1.30 ± 0.16 de peso externo) y cargada en un tiempo (1.14 ± 0.18 contra 0.90 ± 0.07) respecto de los sujetos que solo competían a nivel Nacional.

ZONAS, TIPOS Y MECANISMOS DE LESION PREDOMINANTES

Diversos autores han estudiado las zonas y los tipos de lesiones más frecuentes que se producen en algunos deportes de conjunto como el fútbol o el rugby (Brooks et al., 2008, Woods et al., 2002, Woods et al., 2003, Woods et al., 2004). Woods y col (2002) analizaron durante dos temporadas las lesiones producidas en 4 categorías de la liga Inglesa de fútbol (3ª, 2ª, 1ª y premier) e indicaron que las zonas más lesionadas fueron el muslo, el tobillo y la rodilla. Estos resultados, son similares a los encontrados en jugadores de fútbol juvenil en un equipo de la liga Argentina (Paus and Torrenco, 2006). En el fútbol, cerca del 90% de las lesiones se producen en el tren inferior, y aunque muchas se deben a contusiones causadas por contactos o caídas, en los campeonatos más largos como la liga, se producen un gran número de lesiones ($\sim 50\%$ o más) sin mediar contacto alguno, las cuales son causadas sólo por las exigencias de las cargas de trabajo realizadas por cada jugador (Brockett et al., 2004, Woods et al., 2002). Dentro de las lesiones musculares, las distensiones, microrrupturas o ruptura de las fibras de los femorales posteriores (especialmente la unión musculotendinosa de la porción larga del bíceps femoral), es una de las más comunes en los deportes de conjunto (Connell et al., 2004, Woods et al., 2004). En la liga inglesa, este tipo de lesiones representa cerca del 12 % del total, mientras que en el fútbol Americano, el 34% de las distensiones de la cara posterior del muslo muestran una alto grado de reincidencia dentro de la misma temporada (Proske and Allen, 2005, Jönhagen, 2005, Brockett et al., 2004, Woods et al., 2004).

La gran incidencia de lesiones musculares, ligamentosas o tendinosas, especialmente producidas sin existir contacto con otros jugadores, indica la necesidad de realizar planes de entrenamiento físico que prevengan y capaciten a los deportistas para tolerar el incremento de las exigencias competitivas actuales (aumento del número y frecuencia de partidos) (Junge et al., 2004, Andersen et al., 2004, Meir and Diesel, 2007, Woods et al., 2002).

Algunos estudios, han vinculado la incidencia de lesiones ligamentosas o musculares sobre la articulación de la rodilla con desequilibrios musculares relacionados con la falta fuerza de la musculatura posterior (flexora) respecto a la anterior (extensora) del muslo (Orchard et al., 1997). No obstante, existen otras investigaciones en donde no se ha encontrado esta relación (Bennell et al., 1998, Newton et al., 2006), o incluso se cuestiona su causa-efecto, especialmente por la falta de especificidad en los medios utilizados para medir la fuerza (máquinas isocinéticas) o los ejercicios aplicados para realizar estas mediciones (ejercicios de cadena abierta como las flexiones y extensiones de piernas) (Brockett et al., 2004, Newton et al., 2006), aunque si bien la fuerza de los femorales tomada en régimen concéntrico (tradicional) o excéntrico (funcional) respecto de la fuerza concéntrica de los extensores, no es un índice de diagnóstico muy preciso, el riesgo de lesión ligamentosa o muscular se incrementaría cuando esta relación es inferior a 0.60 (Holcomb et al., 2007). De todas maneras, cuando se analizan las causas de las lesiones en los deportistas, la fatiga asociada con la pérdida de fuerza o capacidad para mantener la tasa de trabajo requerida y la reincidencia, parecen ser los factores más determinantes (Arnason et al., 2007, Reilly et al., 2008).

OBJETIVOS DE LOS EJERCICIOS DE PREVENCIÓN

En muchos deportes de equipo o de combate, en donde predominan las aceleraciones, frenos, cambios de dirección, así como los desplazamientos cortos y frecuentes movimientos explosivos, son muy comunes las lesiones en el tren inferior (fútbol, rugby, baloncesto) o superior (judo, karate, boxeo, etc), que no sólo se producen en acciones con contacto sino también durante las propias acciones de cada deporte, la capacidad de la musculatura central para mantener la estabilidad del esqueleto axial es de vital importancia (Faries and Greenwood, 2007).

Debido a esto, para prevenir la incidencia de lesiones, además de mejorar el rendimiento en los ejercicios motores principales como la sentadilla o la cargada en un tiempo (Hoff, 2006), se deben introducir ejercicios suplementarios y asistentes que apunten al logro de los siguientes objetivos:

- Mejorar la fuerza de la zona central (anterior y posterior del tronco) progresando desde los ejercicios localizados como los abdominales, lumbares, etc., hacia otros más específicos y con situaciones de inestabilidad progresiva (Faries and Greenwood, 2007).
- Mejorar la estabilidad de los núcleos articulares más solicitados introduciendo ejercicios que estimulen los mecanismos de co-contracción. En los deportes de conjunto, en donde predominan las aceleraciones, frenos, cambios de dirección saltos, etc debe prestarse especial atención a la estabilidad de la cadera, rodilla y tobillo (Lloyd et al., 2005, Youdas et al., 2007, Holcomb et al., 2007).
- Mejorar la capacidad de tolerar cargas de alargamiento aplicadas con altas velocidades, como ocurre en la zona posterior del muslo durante las carreras de velocidad o los golpes de balón (Brockett et al., 2001, Brockett et al., 2004).

Estos objetivos, podrán lograrse si los programas de entrenamiento siguen una metodología adecuada que respete los mecanismos de adaptación de cada sujeto siguiendo los siguientes pasos:

1. Aplicar un entrenamiento de fuerza *formativo*, para desarrollar y consolidar las adaptaciones anatómicas y estructurales sobre la columna vertebral y el tren inferior, ya que estas son las estructuras más expuestas a las sobrecargas causadas por las diferentes actividades como correr, saltar, etc., que se producen en la mayoría de las actividades deportivas (Bompa, 1995).
2. Mejorar la flexibilidad y la fuerza de la musculatura del tronco y extremidades de forma global (Bompa, 1995, Faries and Greenwood, 2007).
3. Aumentar la fuerza en los grupos musculares que pueden limitar el rendimiento específico de cada especialidad (Zatsiorsky, 2002).
4. Mejorar la estabilidad del esqueleto axial al realizar las acciones específicas, con grados de dificultad creciente (equilibrio perturbado, disminución del campo visual, etc.) (Siff, 2004, Gamble, 2007, Faries and Greenwood, 2007, Behm and Anderson, 2006).
5. Aumentar la fuerza, velocidad y potencia durante acciones específicas y situaciones imprevistas (Behm and Anderson, 2006, Gamble, 2007, Willarson, 2007).

ESTUDIOS SOBRE EL EFECTO DE DIFERENTES TIPOS DE EJERCICIOS O FORMAS DE ENTRENAMIENTO EN EL RENDIMIENTO Y LA INCIDENCIA DE

LESIONES

El efecto positivo de diferentes programas de entrenamiento de fuerza ha sido comprobado por numerosas investigaciones, en donde no sólo se han observado beneficios relacionados con la disminución de la incidencia o gravedad de las lesiones (Askling et al., 2003, Arnason et al., 2007, Brockett et al., 2004, Holcomb et al., 2007, Jónhagen, 2005, Youdas et al., 2007, Mjølsnes et al., 2004), sino también para mejorar el rendimiento en acciones específicas como los saltos, aceleraciones, golpes de balón, etc., que son frecuentes y determinantes en muchos deportes como el fútbol, rugby, etc. (Baker, 1996, Hoff and Helgerud, 2004, Hoff, 2006, Holcomb et al., 2007, Arnason et al., 2007, Askling et al., 2003, Wisløff et al., 1998).

Con el objetivo de analizar los efectos de los ejercicios excéntricos para mejorar la capacidad de tolerar las fuertes y frecuentes cargas de estiramiento con alta velocidad de movimiento que se producen durante las aceleraciones, carreras de velocidad, golpes de balón, o algunos gestos en las artes marciales sobre la zona posterior del muslo, hemos analizado la respuesta electromiográfica por medio de la actividad neural integrada (EMGI) de la zona posterior externa del muslo (bíceps femoral) en 8 sujetos que tenían más de 5 años de experiencia en el entrenamiento de fuerza (22 ± 1.0 años), los cuales realizaron 12 ejercicios: Fuerza máxima isométrica determinada con una angulación de 45° en la articulación de la rodilla, curl nórdico, curl en fitball con dos piernas, descenso del tronco en silla romana, subir a un banco de 40cm, sentadilla con 1 pierna, peso muerto a dos piernas, curl alterno, Split bossu, peso muerto 1 pierna, sentadilla, sentadilla en máquina inercial (yoyo squat).

A excepción del ejercicio en la maquina inercial (yo yo-squat), en donde se utilizó un disco cuya masa era de 2.5 kg y su diámetro de 0.20 m, el resto de los ejercicios fueron realizados contra la resistencia ofrecida por el propio peso corporal. De esta manera, se indicaba a los sujetos que intentasen alcanzar la mayor velocidad posible durante el descenso o fase excéntrica del movimiento, de modo de enfatizar la acción de frenado en los últimos grados del recorrido articular, aunque siempre manteniendo un adecuado control de la técnica de ejecución en cada caso.

En la Figura 2, se muestran los valores medios de la EMGI del bíceps femoral con relación a los valores alcanzados en el test de fuerza máxima isométrica con 45° en la articulación de la rodilla (en este caso se consideró como 0° a tener la articulación completamente extendida). Como puede observarse, además del curl nórdico y el ejercicio de caída excéntrica en silla romana que son dos movimientos similares, ambos de cadena abierta bilateral de tipo monoarticular (Brughelli and Cronin, 2008), la actividad EMGI de la zona posterior externa del muslo, es significativamente más elevada en 4 ejercicios de cadena cerrada con dos y un apoyo: sentadilla 1 pierna, peso muerto 2 piernas, curl alterno, Split bossu y peso muerto 1 pierna. Estos resultados apoyan la propuesta de Brughelli y Cronin (2008), cuando siguieren incluir ejercicios de prevención a aquellos en donde además de activarse la parte posterior del muslo, se realicen acciones multiarticulares, estimulen la actividad de co-contracción a nivel de cadera, tobillo y rodilla y permitan trabajar independientemente ambos miembros.

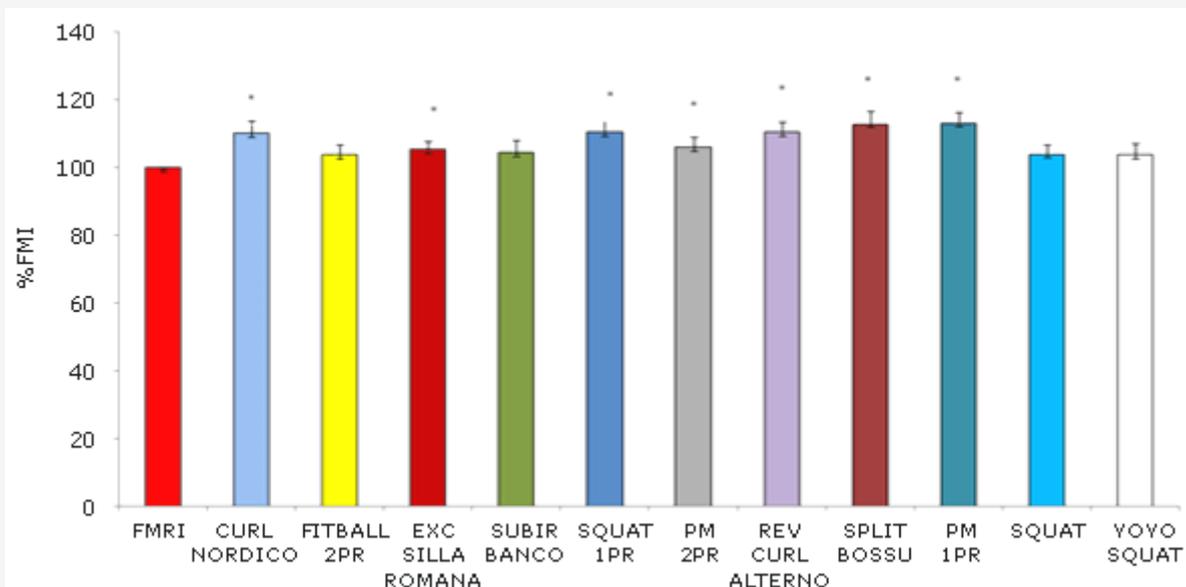


Figura 2. Valores medios de EMGI expresados en porcentajes respecto de la actividad EMGI medida al realizar una tensión

A partir de los resultados del estudio anterior, los mismos 8 sujetos realizaron un segundo estudio, en donde siguieron un plan de entrenamiento realizando tres de los ejercicios que mostraron una actividad EMGI significativamente superior respecto del ejercicio de referencia. Como puede observarse en la figura 2, el curl nórdico, el split sobre bossu y el peso muerto a 1 pierna, cumplieron este requisito y fueron integrados en un plan de entrenamiento que se desarrolló durante 4 semanas con una frecuencia de 3 veces por semana (12 entrenamientos totales) en donde se hicieron 3 series de 8 repeticiones con 1 minuto de pausa entre cada serie y 2 minutos entre cada ejercicio, en donde al igual que en el estudio anterior se utilizó la carga representada por el propio peso corporal y se indicó a los sujetos que intentasen incrementar la velocidad de caída para enfatizar la acción de frenado en las últimas fases del recorrido articular en cada ejercicio. Antes y al final del periodo de intervención se realizó un test para determinar la relación entre el momento de fuerza máximo isométrico de los flexores de la rodilla con respecto a la posición angular. De esta forma, los sujetos se colocaban en posición prona en donde eran asegurados para realizar dos tensiones isométricas de 5s cada una, alternadas con 1 min de pausa entre cada tensión y 3 min entre cada posición angular: 35°, 45°, 60°, 80°, 90°, y 100° (tomando como ángulo 0° al determinado con la rodilla extendida). Aunque los resultados mostrados en la Figura 3, no alcanzan a ser significativos ($p>0.05$), se observa claramente como luego del periodo de entrenamiento, existe una tendencia a incrementar la fuerza en el ángulo más abierto (35°) ($p=0.16$). La tendencia de cambio observada en nuestro estudio es similar a los resultados obtenidos en otros estudios. Brockett et al. (2001) observaron un cambio significativo ($p<0.05$) del ángulo en donde se alcanza el pico máximo de fuerza, medido en un dispositivo isocinético, hacia una posición más abierta ($+7.7\pm 2.7^\circ$). Esta modificación, se observó tanto al final de una sesión de entrenamiento excéntrico (curl nórdico) como después de 7 días, en donde además se observaba una tendencia no significativa a incrementar los valores de fuerza.

Kilgallon et al. (2007) realizaron un estudio similar con 30 estudiantes universitarios que fueron divididos en 3 grupos, los cuales realizaron 7 sesiones de entrenamiento que consistían en 3 series de 8 RM por 3 minutos de pausa en dos ejercicios: el curl en máquina tumbado y el peso muerto. El grupo 1 (G1) realizaba el peso muerto de forma excéntrica y el grupo 2 (G2) de forma concéntrica, mientras que el grupo control (GC) no entrenaba. Los resultados de este estudio indicaron que el G1 incrementó el pico de fuerza y produjo un desplazamiento de su ángulo de localización hacia una posición más abierta ($p<0.05$) mientras que en el G2 se observa un desplazamiento opuesto con un incremento no significativo del pico de fuerza.

Posiblemente, el escaso número de sujetos de nuestro estudio, haya impedido que las mejoras de los momentos de fuerza producidas en el ángulo de 35°, alcanzasen diferencias significativas. Además, es posible que las características de nuestros sujetos, al ser deportistas muy entrenados y acostumbrados a realizar ejercicios de fuerza prevalentemente concéntricos afectase la localización inicial del ángulo de máxima fuerza y necesitasen más tiempo de entrenamiento para producir un desplazamiento significativo del pico de fuerza hacia un ángulo más abierto.

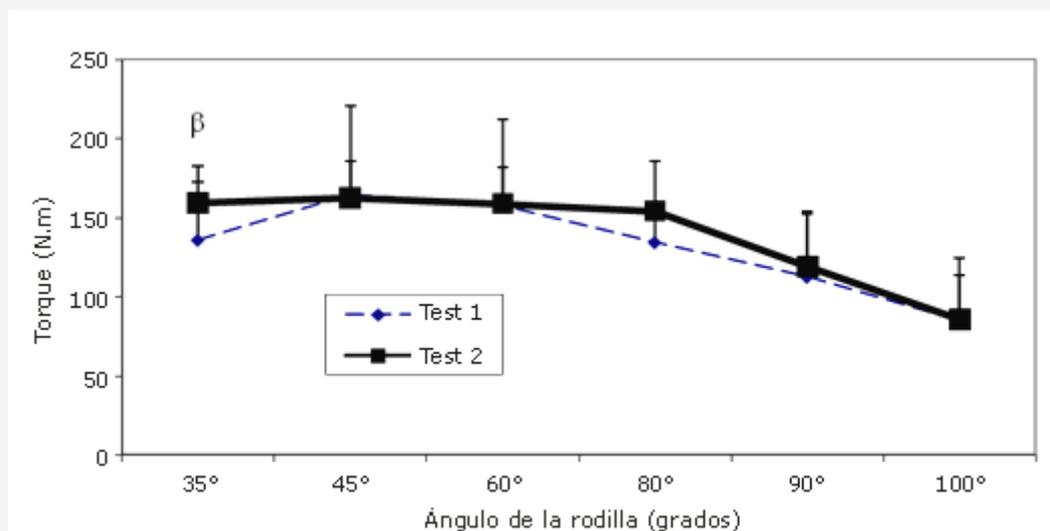


Figura 3. Relación entre los valores medios de los momentos de fuerza (MDF) y la posición angular. *P<0.05, β tendencia no

significativa $p = 0.16$ respecto al pico de fuerza alcanzado con la posición de 35° en el test 1.

En otro estudio similar, analizamos los efectos de 8 sesiones de entrenamiento desarrolladas durante 4 semanas (2 veces por semana) en 21 estudiantes de educación física de 22 ± 1.1 años, sin experiencia en el entrenamiento de fuerza y que declararon no haber sufrido ninguna lesión muscular en el tren inferior en los últimos 10 años. Antes y al finalizar el período de entrenamiento los sujetos realizaron el mismo test que en el estudio anterior.

Luego de realizar el primer test, los sujetos fueron divididos en 3 grupos:

- El grupo 1 ($n = 7$), realizó 6 ejercicios en donde se enfatizaba las acción excéntrica de la musculatura posterior del muslo durante la extensión de la rodilla: Curl nórdico, peso muerto a 1 pierna, peso muerto 2 piernas, curl en fitball con dos piernas, descenso del tronco en silla romana, curl alterno.
- El grupo 2 ($n = 7$), realizó 6 ejercicios en donde se enfatizaba la acción excéntrica de la musculatura anterior del muslo y la función de co-contracción de los femorales posteriores durante la fase de flexión de la rodilla: Sentadilla paralela, subir a un banco de 40 cm, sentadilla 1 pierna, split saltando alternando piernas, split sobre bossu, sentadilla en máquina inercial (yoyo).
- El grupo control ($n = 7$), solo realizó las evaluaciones pero no hizo ningún tipo de entrenamiento.

Cada sesión de entrenamiento implicaba la realización de 3 series de 8 repeticiones alternados con 1 min de pausa entre cada serie y 2 minutos entre cada ejercicio. El modo de ejecución de cada movimiento fue el mismo que el indicado en el estudio anterior.

Las Figuras 4 y 5, muestran los resultados observados en el grupo 1 y 2. Aunque al igual que en el estudio anterior, las modificaciones observadas no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$), las tendencias indican que en el grupo 1 tiende a mejorar más en los ángulos más abiertos (35°) (tendencias no significativas $p = 0.17$ y $p = 0.059$), entre el momento de fuerza producido en el pre test y en el post test así como con respecto al grupo control en éste mismo ángulo. Por su parte, el grupo 2, muestra tendencias muy similares pero en los momentos de fuerza alcanzados a los 80° (más cerrado), en donde se observa una $p = 0.25$ y $p = 0.06$ al comparar el resultados del test 2 con el del test 1 y la fuerza alcanzada por el grupo control respectivamente.

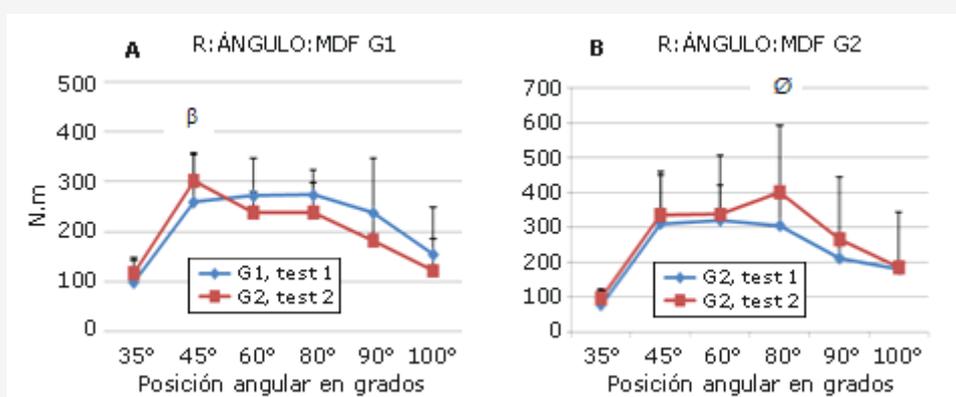


Figura 4. Relación entre los valores medios de los momentos de fuerza (MDF) y la posición angular a) grupo 1, que entrena con excéntrico de femorales y b) grupo 2, que entrena con excéntrico de cuádriceps y co-contracción de los femorales posteriores. * $p < 0.05$, β tendencias no significativas $p = 0.17$ respecto al test 1, ϕ tendencias no significativas $p = 0.25$ respecto al test 1.

Los resultados anteriores muestran tendencias similares a las observadas en el estudio de Kilgallon y col (2007), en donde como se ha explicado anteriormente el grupo que realizó el peso muerto de forma excéntrica (controlando el descenso) produce un incremento significativo ($p < 0.05$) del pico de fuerza y un desplazamiento de su localización mientras que el grupo que enfatiza la fase concéntrica al igual que en nuestro caso produce un incremento no significativo de los picos de fuerza en los ángulos más cerrados.

CONCLUSIONES

A excepción de algunos deportes específicos como el culturismo o los levantamientos de peso, en la mayoría de las disciplinas deportivas, el entrenamiento de fuerza no constituye un fin en sí mismo, sino que forma parte de un programa de entrenamiento cuyos objetivos fundamentales son optimizar el rendimiento y reducir la incidencia o la gravedad de las lesiones. El logro de estos objetivos, sólo podrá ser alcanzado cuando se controlan adecuadamente todas las variables que afectan la programación de los entrenamientos de fuerza.

Los objetivos y efectos del entrenamiento de fuerza están determinados tanto por aspectos mecánicos como fisiológicos, siendo su interacción un factor clave para determinar la zona de entrenamiento manifestada al realizar cada ejercicio.

La selección de los medios y ejercicios de entrenamiento estará en función de las características de cada disciplina deportiva, su estructura, temporización de las acciones así como por las necesidades específicas de cada deportista y la incidencia de lesiones más comunes, su sitio de localización y mecanismos de producción.

Los programas de entrenamiento de fuerza deben aplicarse respetando una secuencia metodológica adecuada basada en el fortalecimiento de las zona central y el desarrollo de adaptaciones anatómicas y estructurales que precedan a las mejoras de las capacidades específicas o la aplicación de ejercicios de difícil ejecución, que más allá de prevenir la incidencia de lesiones, podrían inducir las si se realizan luego de haber alcanzado niveles básicos de fuerza (Willarson, 2007).

Aplicar un programa de entrenamiento en donde se enfatice las acciones excéntricas con bajas cargas y altas velocidades de movimiento, combinando ejercicios de cadena abierta y cerrada, podría conducir a adaptaciones positivas para prevenir la incidencia de lesiones musculares y ligamentosas en deportes en los que predominen los gestos de velocidad y fuerza elevadas.

Dirección para Envío de Correspondencia

Correo electrónico: fernando.naclerio@uem.es

REFERENCIAS

1. Andersen, T. E., Tenga, A., Engebretsen, L. and Bahr, R (2004). Video analysis of injuries and incidents in Norwegian professional football. *Br. J. Sports Med.*, 38, 626-631
2. Arnason, A., Andersen, T. E., Hølem, I., Engebretsen, L. and Bahr, R (2007). Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand. J. Med. Sci. Sports, March*
3. Askling, C., Karlson, J. and Thortensson, A (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer player after preseason strength with eccentric overload. *Scand. J. Med Sci. Sports, 13, 244-250*
4. Baker, D (1996). Improving Vertical Jump Performance through general, special and specific strength training: A brief Review. *J. Strength Cond. Res, 10, 131-136*
5. Behm, D. G. and Anderson, K (2006). The role of instability with resistance training. *J. Strength Cond. Res, 20, 716-722*
6. Bennell, K., Wajswelner, H., Lew, P., Schall-Riauour, A., Leslie, S., Plant, D. and Cirone, J (1998). Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules footballers. *Br. J. sports med.*, 32, 309-314
7. Bompa, T. O (1995). Periodización de la fuerza, la nueva onda en el entrenamiento de la fuerza. *Biosystem Servicio educativo, Rosario, Argentina*
8. Bosco, C (1991). Nuove Metodologie per la valutazione e la programmazione dell'allenamento. *Rvista di Cultura Sportiva, (SDS), 13-22*
9. Brockett, C., Morgan, D. and Proske, U (2004). Predicting hamstring strain injury in elite athletes. *Med Sci. Sport Exerc, 36, 379-387*
10. Brockett, C. L., Morgan, D. L. and Proske, U (2001). Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci. Sport Exerc, 33, 783-790*
11. Brooks, J. H., Fuller, C. W., Kemp, P. T. and Reddin, D. B (2008). An Assessment of training volume in professional rugby union and its impact on incidence, severity and nature of match and training injuries. *Sport Med.*, 26, 863-873
12. Brughelli, M. and Cronin, J (2008). Preventing hamstring injuries in sport. *Strength Cond. J.*, 30, 55-64
13. Connell, D. A., Schneider-Kolsky, M. E., Hoving, J. L., Malara, F., Buchbinder, R., Koulouris, G., Burke, F. and Bass, C (2004). Longitudinal Study Comparing Sonographic and MRI Assessments of Acute and Healing Hamstring Injuries. *American J. Roentgenology.*, 183, 975-984
14. Cormie, P., McCaulley, G. O., Triplett, T. and McBride, J. M (2007). Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercise. *Med Sci. Sport Exerc, 39, 340-349*

15. Cronin, J. and Sleivert, G (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med.*, 35, 213-234
16. Degoutte, F., Jouanel, P. and Filaire, E (2003). Energy demands during judo match and recovery. *Br. J. Sports Med.*, 37, 245-249
17. Faries, M. D. and Greenwood, M (2007). Core Training: Stabilizing the confusion. *Strength Cond. J.*, 29, 10-25
18. Fleck, S. J (1999). Periodized strength training: A critical review. *J. Strength Cond. Res.*, 13, 82-89
19. Fry, A. C (2005). The role of resistance exercise intensity on muscle fiber adaptation. *Sports Med.*, 34, 663-669
20. Gamble, P (2007). An Integrated approach to training core stability. *Strength Cond. J.*, 29, 58-68
21. Garhammer, J (1993). A review of Power output, Studies of Olympic and Powerlifting: Methodology, Performance prediction and Evaluation test. *J. Strength Cond. Res.*, 7, 76.89
22. Garhammer, J. A (1991). Comparison of maximal power outputs between elite male and female weightlifters in competition. *Int. J. Sport Biomechanics*, 7, 3-11
23. Gorgoulis, V., Aggeloussis, N., Antoniou, P., Christoforidis, C., Mavromatis, G. and Garas, A (2002). Comparative 3 dimensional kinematic analysis of snatch in elite male and female greek weightlifters. *J. Strength Cond. Res.*, 16, 359-366
24. Graham, J (2002). Periodization Research and Example Application. *Strength Cond. J.*, 24, 52-70
25. Haff, G. G., Stone, M. O., Bryant, S., Harman, E., Dinan, C., Johnson, R. and Han, K.-H (2005). Force time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *J. Strength Cond. Res.*, 11, 269-272
26. Hoff, J (2006). Training and testing physical capacities for elite soccer player. *J. Sports Sci.*, 6, 573-582
27. Hoff, J. and Helgerud, J (2004). Endurance and strength training for soccer player. *Sport Med.*, 34, 165-180
28. Holcomb, W. R., Rubley, M. D., Heather, J. L. and Guadagnoli, M. A (2007). Effect of hamstring emphasized resistance training on hamstring:quadriceps ratio. *J. Strength Cond. Res.*, 21, 41-47
29. Junge, A., Dvorak, J. and Graf-Baumann, T (2004). Football Injuries During the World Cup 2002. *Am. J sports Med*, 32
30. Kilgallon, M., Donnelly, A. E. and Shafat, A (2007). Progressive resistance training temporarily alters hamstring torque-angle relationship. *Scand J. Med Sci Sports*, 17, 18-24
31. Knutten, H. G (2007). Strength training and aerobic exercise: comparison and contrast. *J. Strength Cond. Res.*, 21, 973-978
32. Lloyd, D. G., Buchanin, T. S. and Besier, T. F (2005). Neuromuscular biomechanical modelling understand knee ligament loadin. *Med Sci. Sport Exerc*, 37, 1939-1947
33. Meir, R. and Diesel, W (2007). Developing a prehabilitation program in a collision sport: A model developer within english premiership rugby union football. *Strength Cond. J.*, 29, 50-62
34. Naclerio, A. F (2005). Entrenamiento de fuerza y prescripción del ejercicio In Entrenamiento personal, bases fundamentos y aplicaciones. Ed, Jiménez G. A *Inde*, pp. 87-133
35. Naclerio, A. F (2006). In Departamento de fisiología. *Universidad de León, León*, pp. 671
36. Naclerio, A. F (2007). Análisis de la producción de potencia en los ejercicios de fuerza y localización de las zonas de entrenamiento. In Avances en ciencias de la actividad física y el deporte. Entrenamiento de fuerza. Ed, Jimenez, A. *Escuela de estudios universitarios Real Madrid- UEM 241-276, Madrid*
37. Naclerio, A. F (2007). Programación e Integración del Entrenamiento de Fuerza en la Preparación de los Deportes de Conjunto. *PublICE Premium*
38. Naclerio, F (2008). Aplicaciones del control de la potencia de movimiento en el entrenamiento de fuerza, capítulo 10. In *Nuevas dimensiones en el entrenamiento de la fuerza Capítulo VIII (Ed, Jiménez, A. c.) INDE*, pp. 225-269
39. Naclerio, F (2008). Valoración de la fuerza, potencia y velocidad en los ejercicios con resistencias gravitatorias: Utilización del encoder rotatorio, capítulo VII In *Nuevas dimensiones en el entrenamiento de la fuerza. Ed, Jimenez, A. c. INDE*, pp. 177-223
40. Naclerio, F. J., Colado, J. C., Rhea, M. R., Bunker, D. and Travis, N (2008). The influence of strength and power on muscle endurance test performance. *J. Strength Cond. Res*, In press
41. Orchard, J., Marsden, J., Lord, S. and Garlick, D (1997). Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *American J. Sports med.*, 25, 81-85
42. Paus, V. and Torrenco, F (2006). Vol. 2007
43. Proske, U. and Allen, T. J (2005). Damage to skeletal muscle form eccentric exercise. *Exc. Sports Sci. Rev.*, 33, 98-105
44. Reilly, T., Drust, B. and Clarke, N (2008). Muscle Fatigue during Football Match-Play. *Sports Med.*, 38, 357-367
45. Siff, M. C (2004). Supertraining. *Supertraining institute, Denver USA*
46. Tidow, G (1995). Muscular adaptation induced by training and de training -a review of biopsy studies. *New. Studies in Athletics.*, 10, 47-56
47. Verchoshansky, Y. V (1996). Componenti e Structura Dell impegno esplosivo di Forza. *Rivista di cultura Sportiva*, nº 34, 15-21
48. Willarson, J. M (2007). Core Stability training: Application to sports conditioning programs. *J. Strength Cond. Res.*, 21, 979-985
49. Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M. and Hodson, A (2002). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football-analysis of preseason injuries. *Br. J. Sports Med.*, 36, 436 - 441
50. Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M. and Hodson, A (2003). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football: an analysis of ankle sprains. *Br. J. Sports Med.*, 37, 233-238
51. Woods, C., Hawkins, R. D., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A. and Hodson, A (2004). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football-analysis of hamstring injuries. *Br. J. Sports Med.*, 38, 36-41
52. Youdas, J. W., Hollman, J. H., Hitchcock, J. R., Hoyme, G. J. and Johnsen, J. J (2007). Comparison of hamstring and quadriceps femoris electromyographics activity between men and women during a single-limb squat on both stable and labile surface. *J. Strength and Cond. Res.*, 21, 105-111
53. Young, W. and Prior, J (2001). Resistance training for Short sprints and Maximum-speed sprint. *Strength Cond. J.*, 23, 7-13
54. Zatsiorsky, V. M (2002). Biomechanics of strength and strength training, chapter 23 In *Strength and power in sport. Ed, P.V., K. Blackwell Science*, pp. 439-487