



REVISIÓN

Revisión narrativa del rol de la sentadilla en los programas de acondicionamiento neuromuscular y rehabilitación

I. Chulvi-Medrano

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad de Valencia, Valencia, España

Recibido el 10 de octubre de 2008; aceptado el 24 de noviembre de 2008

Disponible en Internet el 26 de junio de 2009

PALABRAS CLAVE

Sentadilla;
Entrenamiento de fuerza;
Eficacia;
Lesiones

KEYWORDS

Squatting;
Resistance training;
Efficiency;
Injuries

Resumen

La sentadilla es un ejercicio ampliamente utilizado en los programas de entrenamiento y rehabilitación. Su aplicación está fundamentada en las similitudes mecánicas que posee con las acciones deportivas y de la vida cotidiana. Sin embargo, se trata de un ejercicio que ha estado envuelto de discusión. El objetivo de esta revisión narrativa fue investigar la aplicación de la sentadilla en los programas de acondicionamiento neuromuscular saludable. Se realizó una búsqueda electrónica en las principales bases de datos. La estrategia de búsqueda se centró en criterios de eficacia y seguridad del ejercicio junto a consideraciones metodológicas para su aplicación. Fueron encontrados 77 artículos para la inclusión del presente trabajo. Puede concluirse que la sentadilla es un ejercicio funcional adecuado para los programas de fortalecimiento saludable de los miembros inferiores. Debido a su complejidad técnica deberían establecerse unos criterios de progresión técnica para reducir patrones de ejecución inadecuados.

© 2008 Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Narrative review of the role of the squatting in neuromuscular conditioning and rehabilitation programs

Abstract

Squatting is a widely-used exercise in strengthening and rehabilitation programs. Its application is based on the mechanical similarities it has with sports actions and daily activities. Nevertheless, it is an exercise that has been involved in discussion. This systematic review has aimed to investigate the application of squatting in programs for healthy neuromuscular conditioning. An electronic search was conducted in the principal databases. The search strategy was focused on efficiency and safety criteria of the exercise along with methodological considerations for its application. Seventy-seven articles were found for their inclusion in the present work. It can be concluded that

Correo electrónico: chulvi77@hotmail.com

squatting is a functional exercise that is appropriate for use in programs of healthy strengthening of the lower limbs. Due to its technical complexity, some criteria of technical progression must be established in order to reduce inadequate patterns of execution.

© 2008 Asociación Española de Fisioterapeutas. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

En los últimos años los programas de acondicionamiento neuromuscular están viviendo un gran apogeo entre todos los sectores poblacionales debido, en parte, a la gran labor de los investigadores que demuestran en sus trabajos los potenciales beneficios que reporta la sistematización adecuada de un programa contra resistencias^{1,2}. No obstante, en términos de seguridad, los programas de acondicionamiento neuromuscular deberán estar supervisados debido a que las lesiones incrementan paralelamente a la popularidad de los programas de entrenamiento contra resistencias³. Este riesgo de lesión aparece principalmente si no existe supervisión específica. En este sentido, debe aclararse que existen dos focos de atención que influyen directamente sobre el potencial de lesión. Por un lado, la carga generada⁴ (ésta representada en la dosis de entrenamiento realizado) que ha sido ampliamente estudiada bajo las variables de frecuencia, intensidad y volumen, llegando a consensos sobre cuál resultaría la dosis-respuesta adecuada para el fortalecimiento del sistema neuromuscular⁵⁻⁷. Por otro lado, una variable que puede modificar el riesgo lesivo del entrenamiento contra resistencias, se trata de la selección de ejercicios.

Tal y como ha sido sugerido ampliamente por los textos de referencia específicos del diseño de programas de acondicionamiento neuromuscular, un aspecto controlable y manipulable es la selección de los ejercicios y su estructuración dentro de la sesión⁷⁻⁹. Sin embargo, en estos trabajos se desarrolla brevemente este apartado, realizando una diferenciación genérica entre ejercicios monoarticulares y multiarticulares. Por esto, se debe entender que este criterio con un carácter más generalista resulta un primer paso en la selección de los ejercicios al que debe seguir los criterios de seguridad y el criterio de efectividad, para la selección adecuada de ejercicios esta tarea resulta más compleja de lo que a priori pudiera parecer¹⁰. La selección de los ejercicios resulta importante principalmente para el control de los riesgos de la lesión y la especificidad de éstos¹⁰. Para conseguir esta adecuada selección el ejercicio elegido deberá cubrir el principio de especificidad por lo que resulta necesario el análisis de la anatomía funcional del ejercicio¹⁰. Teniendo presente estas consideraciones pueden plantearse progresiones de ejercicios sobre la base de la funcionalidad y la complejidad técnica.

Tal y como ha sido comentado anteriormente, en primer lugar se debe entender que la seguridad del ejercicio implica que los grados de movimiento articular requeridos no excedan los fisiológicos, ya que genera una situación de potencial riesgo lesivo incrementado¹¹. Las ciencias que nutren estos conocimientos son principalmente la Biomecánica y la Ergonomía^{11,12}. Por otro lado, la eficacia quedará

determinada por la actividad electromiográfica. Atendiendo a estos conceptos, este trabajo tiene como objetivo principal aunar los criterios de selección y progresión de ejercicios para los programas de acondicionamiento neuromuscular y rehabilitación (PANM) con carácter recreacional-saludable y de rehabilitación, orientados a los miembros inferiores.

Metodología aplicada

Ha sido realizada una búsqueda electrónica de la literatura médica disponible en las bases de datos: PubMed, SportDiscus y PEDro. La estrategia de búsqueda estuvo basada en las palabras clave «squat» y «knee flexion». La búsqueda se expandió utilizando los términos «*Electromyography (EMG)*», «*resistance training*», «*injury*» y «*methodology*», que fueron combinados con el operador lógico AND.

Los criterios de inclusión de los estudios fueron los siguientes:

- 1) Estudios originales y revisiones publicados entre 1970 y 2007 en lengua inglesa o castellana, cuyo principal objetivo fuera el estudio específico de la sentadilla.
 - 2) Estudios que pudieran clasificarse en las siguientes categorías:
 - a) Eficacia: basada en mediciones electromiográficas.
 - b) Seguridad: basada en registros de fuerza interna.
 - c) Criterios metodológicos de entrenamiento: basados en consideraciones generalizadas para el desarrollo de un entrenamiento que incluya este ejercicio.
- Fueron obtenidos 77 trabajos, de los cuales 50 eran estudios originales y 27 eran revisiones. Los artículos fueron conseguidos por la Facultad de Medicina y la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Valencia.

¿Por qué la sentadilla?

A la hora de diseñar un PANM debe atenderse al principio de especificidad, es decir, ejercicios que mecánicamente, perfil de fuerza y cinemática será muy similar a las habilidades requeridas en la actividad que se desea mejorar. La sentadilla reproduce un patrón motor en los miembros inferiores muy similar a muchas acciones deportivas, tales como saltar o correr. Por ello, es un ejercicio muy utilizado en la preparación física de atletas y deportistas^{10,13,14}. También ha sido utilizado como ejercicio terapéutico^{10,15,16}. Ha sido reportada la importancia de incorporar un programa de ejercicios contra resistencias progresivo tras los ejercicios terapéuticos más tradicionales con baja carga para la completa readaptación funcional¹⁶. El análisis de la

sentadilla en el presente artículo es abordado desde el prisma saludable y, por tanto, se pretende reducir al mínimo el posible riesgo de lesión. En este sentido, el ejercicio de sentadilla también ha sido descrito como funcional, entendido como incremento de rendimiento para algunas tareas de la vida cotidiana, tales como deambular, subir escaleras, levantar objetos del suelo o levantarse de la silla, entre otros¹⁷⁻²⁰, puesto que ha sido asociada la debilidad de los grupos musculares de los miembros inferiores con mayores grados de dependencia funcional²¹. La mejora del rendimiento de algunas de estas actividades permitirá incrementar el nivel de actividad física diario e incluso el ingreso a programas de entrenamiento aeróbico. Sin embargo, la inclusión de la sentadilla dentro de los programas de acondicionamiento neuromuscular saludable ha generado discusiones entre los prescriptores de ejercicio físico. El debate está fraguado por una línea que aboga por su inclusión y otra línea que argumenta un potencial lesivo del ejercicio.

Conociendo la sentadilla

La sentadilla es un ejercicio multiarticular que envuelve las articulaciones de la cadera, la rodilla y el tobillo. El objetivo principal es el acondicionamiento de los músculos extensores de la rodilla y de la cadera y se considera un ejercicio de cadena cinética cerrada¹⁷, puesto que la porción distal está restringida del movimiento y debe soportar la resistencia externa²². Debido a su globalidad y fuerza genérica, es un ejercicio muy interesante dentro del trabajo de tonificación, ya sea con objetivos deportivos, de rehabilitación o de salud¹⁷. Este ejercicio multiarticular consiste en cargar sobre los hombros una barra y realizar una flexo-extensión de la rodilla acompañada sinérgicamente, con una flexo-extensión de la cadera^{23,24}. Asumiendo que los grupos musculares objetivo del ejercicio serán la musculatura extensora de la rodilla y de la cadera, serán los grupos musculares objetivo en este ejercicio^{17,24}.

La versión tradicional del ejercicio es realizada tal y como ha sido descrito anteriormente; sin embargo, existen diferentes variantes que han aparecido para evitar la monotonía, reducir el riesgo de lesión o adaptarse a situaciones con requerimientos específicos (por ejemplo dolor de espalda bajo) o modificar los patrones de activación muscular. En este sentido, deben destacarse las siguientes variantes: sentadilla frontal²⁵, sentadilla por encima de la cabeza²⁶, sentadilla *hack*²⁷, sentadilla con carga en la cintura o sentadilla segura²⁸, sentadilla lateral²⁹, sentadilla declinada¹⁰, sentadilla bajo condiciones inestables³⁰ o con exposición a vibraciones³¹.

Existen dos grandes formas de realizar el movimiento, por un lado, el movimiento con máquina y, por otro, con peso libre (ya sea mancuernas o barra principalmente). En este sentido, la principal diferencia que refiere Cotterman et al³² cuando comparan la máquina Smith con el peso libre fue que la realización guiada con máquina genera menor demanda de equilibrio y permite movilizar más kilos. Debido a esta característica y a que permite un movimiento guiado y, por tanto, controlado, puede implicar una herramienta de progresión en el aprendizaje del ejercicio o para reducir el

riesgo de lesión cuando existe prefatiga acumulada, que puede interferir en la ejecución estricta del movimiento.

Uno de los grandes problemas asociados a discusiones sobre potenciales lesivos de la sentadilla envuelven conceptos escasamente consensuados y, por tanto, susceptibles de interpretaciones personales. Para reducir al mínimo esta situación durante la lectura del presente trabajo debe conocerse que:

- 1) La flexión máxima de la rodilla implicada en el ejercicio de la sentadilla profunda debe ser interpretada con valores iguales o superiores a 120° de flexión.
- 2) La media sentadilla requiere de una flexión aproximada de 90° para la rodilla, situación que implica aproximadamente que la parte posterior del muslo esté paralelo al suelo.

Criterio de eficacia

La eficacia de la sentadilla, entendida bajo el punto de la especificidad, ha sido comentada anteriormente y resulta asumible que se trata de un ejercicio funcional que permite el incremento del rendimiento de las actividades cotidianas que implican flexo-extensión de la rodilla y de la cadera. No obstante, existe otra consideración sobre el criterio de eficacia que deberá ser abordada, se trata de la activación muscular. En este sentido, cuando se habla de eficacia de un ejercicio se debe hacer alusión a que el ejercicio requiere de la activación muscular del grupo que se desea entrenar, para esto, la ciencia se basa en los estudios electromiográficos. No obstante, es conocido que una ligera modificación en el patrón de movimiento del ejercicio puede implicar una variación en la implicación muscular¹⁰, principalmente cuando se trata de ejercicios poliarticulares. Atendiendo a los estudios electromiográficos que analizan el movimiento de la sentadilla es conocido lo siguiente:

1) Ejecución de la sentadilla sin carga

La activación de los extensores de la rodilla irá asociada al condicionamiento del practicante y la carga que suponga para su estatus neuromuscular su propio peso corporal. Por otro lado, el movimiento de la sentadilla sin carga no genera una gran demanda de activación por parte de los isquiotibioperoneos y del glúteo mayor, esta situación es atribuida a una escasa traslación anterior de la tibia durante la ejecución del ejercicio³³. La estrategia de utilizar la sentadilla sin carga en personas de edad avanzada resulta interesante, pero debe tenerse en consideración el riesgo de caídas, por esto puede ser utilizada la silla-sentadilla. Esta variante permite afrontar con mayor seguridad el ejercicio; no obstante, debe conocerse que esta variante genera mayores activaciones sobre los extensores de la cadera que la realización de la sentadilla convencional³⁴.

2) Activación de los extensores de la rodilla (cuádriceps)

Este grupo muscular es el objetivo principal del ejercicio^{17,24,35}. Parece ser que los picos de EMG son registrados a 80° o 90° de flexión de la rodilla¹⁷. Mayores grados de flexión de la rodilla generan EMG del cuádriceps similares^{36,37} o menores¹⁷ e incrementan la activación del glúteo mayor³⁷.

En ocasiones ha sido pretendido fortalecer preferentemente alguna región del cuádriceps sobre otra, principalmente con el objetivo de equilibrar este gran grupo muscular y evitar desórdenes por desequilibrio y descompensaciones, tales como, el más común, el síndrome patelo-femoral³⁸. En este sentido, una estrategia que pretendía enfatizar la activación de las diferentes porciones del cuádriceps es la ejecución del movimiento con rotación lateral o medial de la tibia. A tal respecto, Signorile et al³⁹ no registraron diferentes activaciones en el recto femoral o vastos femorales ante las condiciones de ejecución de pies neutros, rotación medial de 30° o rotación lateral de 80°. Más recientemente han sido obtenidos resultados muy similares al comparar las condiciones de rotación de la tibia medial de 10° y rotación lateral de 20°⁴⁰. La separación de los pies como base de sustentación también ha sido modificada con el fin de obtener activaciones musculares preferenciales. Sin embargo, los estudios electromiográficos no respaldan esta hipótesis^{17,41}. En este sentido, McCaw y Melrose⁴¹ compararon 3 diferentes bases de sustentación: a) la anchura de los hombros; b) base estrecha: el 75% de la anchura de los hombros, y c) ancho: el 140% de la anchura de los hombros. Los sujetos con experiencia en el entrenamiento de fuerza de la sentadilla realizaron estas tres variantes con intensidades del 75% de una repetición máxima (1RM) (es decir, capacidad voluntaria de movilizar un peso máximo de un ejercicio) y el 60% de 1RM. Los resultados registrados por medio de electromiografía de superficie no mostraron la existencia de cambios en la participación del cuádriceps; sin embargo, los autores sugieren que podrían existir modificaciones en la musculatura de la cadera aunque en su trabajo no fue contemplado por el registro.

Otra variación durante la realización del ejercicio implica mantener el tronco lo más erguido posible, situación que involucra con mayor énfasis el recto femoral debido a mayor *torque* generado sobre la rodilla²².

Por último, existen estrategias que nacen con el fin de generar activaciones específicas de componentes del cuádriceps. Es destacable la utilización de la flexo-extensión de rodilla combinada con acciones isométricas de aducción y abducción de la cadera simultáneamente. Sin embargo, parece ser que los resultados no son concluyentes y, por tanto, se sugiere la utilización de la sentadilla uniplanar⁴².

3) *Sobre los extensores de la cadera: el glúteo*

Tal y como ha sido comentado anteriormente, una vez sobrepasados los 90° de flexión de la rodilla, la activación del glúteo mayor incrementa³⁷. Sin embargo, debe ser notado que posiblemente el incremento de la activación del glúteo mayor no venga determinado por la mayor angulación de la rodilla sino de la cadera, puesto que exigirá de una mayor intervención de los músculos extensores de ésta, es decir, principalmente del glúteo mayor. Son conocidas diferentes variantes para incrementar la activación del glúteo. Por un lado, la excelente revisión desarrollada por Wilson et al⁴³ sugiere la utilización de la sentadilla con base ancha para incrementar la activación del glúteo mayor. La segunda variante está desarrollada en un trabajo específico basado en registros electromiográficos para discernir la

eficacia muscular de diferentes ejercicios sobre el glúteo mayor, siendo sugerido que la sentadilla sobre una pierna y las tijeras resultan los ejercicios que favorecerán mayores activaciones musculares del glúteo mayor⁴⁴.

4) *Sobre los flexores de la rodilla: los isquiosurales*

Este grupo muscular ha despertado gran interés en la ejecución de la sentadilla, en primer lugar por su participación directa, que queda justificada por el carácter biarticular de éste y, por tanto, por su acción extensora de la cadera. Y, en segundo lugar, por su acción estabilizadora del desplazamiento anterior de la tibia⁴⁵. No obstante, su activación durante el ejercicio resulta aproximadamente la mitad de la conseguida por los ejercicios monoarticulares específicos⁴⁶. Además parece ser que la carga movilizada resulta una variable importante para su participación, puesto que Isear et al³³ no registraron activaciones importantes de este grupo muscular en 41 sujetos sanos cuando realizaban la sentadilla sin carga. Los autores sugieren que esta situación es debida a la escasa traslación tibial.

En el citado estudio de Caterisano et al³³ también fueron analizados los músculos encargados de la flexión de rodilla. Sus registros mostraron que la sentadilla con flexión máxima de la rodilla no implicaba una mayor activación de estos músculos que la realización a 90°. Estos resultados también han sido aportados por otros trabajos^{43,45}.

5) *Sobre el tríceps sural*

La función principal del tríceps sural es la flexión plantar. Por lo tanto, el movimiento de sentadilla que involucre una flexión plantar exigirá de una activación del tríceps sural. No obstante, debe tenerse en consideración que en muchas ocasiones esta situación resulta complicada, por dos motivos principales: el equilibrio y la carga movilizada.

Aunque no exista flexión plantar en la ejecución del movimiento, existen activaciones de este grupo muscular. En este sentido, resulta destacable que han sido registrados picos de fuerza de este grupo muscular cuando el movimiento de sentadilla se encontraba entre 60° y 90° de flexión de la rodilla²². Además, parece ser que esta activación incrementa en un 21% aproximadamente cuando la base de sustentación es estrecha, menor a la anchura de las caderas³⁵.

6) *Sobre los aductores de la cadera*

Sobre la activación de los músculos aductores ha sido encontrado un texto con carácter divulgativo⁴⁷ que sugiere que la realización del movimiento de sentadilla con las piernas separadas y las puntas orientadas ligeramente hacia el exterior activan los aductores de la cadera. Sin embargo, tras la revisión realizada no se ha encontrado ningún texto científico que confirme esta afirmación. Anecdóticamente, se pueden comentar los hallazgos encontrados por un estudio llevado a cabo por Ploutz-Snyder et al⁴⁸, quienes tras un movimiento de sentadilla registraron un incremento significativo de la sección transversal de los aductores debido a una hipertrofia temporal causada por la migración de fluidos debida al entrenamiento. En el texto no se hace ninguna referencia a la anchura de las piernas. Por otro lado, ha sido encontrado que la utilización de la sentadilla lateral ha sido sugerida como ejercicio que permita el

fortalecimiento de los aductores y abductores²⁹, sin embargo no aporta datos cuantitativos al respecto. Con esta carencia de datos se deberá esperar a futuros estudios que puedan vislumbrar la existencia de activación muscular significativa de este grupo muscular.

7) *Activaciones en el lunge o tijeras*

Muchas de las actividades realizadas cotidianamente requieren de esfuerzos unilaterales realizando el apoyo de todo el peso sobre una pierna⁴⁹. Por esto, la aplicación del lunge o tijera parece una selección adecuada para los practicantes que deseen incrementar su funcionalidad⁵⁰. Este ejercicio es un derivado de la sentadilla, que incrementa la intensidad, puesto que recae la gran parte de la carga sobre una pierna. Durante este ejercicio la carga debe estar equilibrada sobre una pequeña base de sustentación, por lo tanto, puede ser intuido que existirán mejoras a nivel propioceptivo⁴⁹. La ejecución frontal de este ejercicio requiere de una mayor activación de las fibras posteriores del glúteo medio, demandado para estabilizar la cadera en el plano frontal^{44,49}. Para mayor activación de los extensores de la rodilla se debe incrementar la distancia entre los apoyos⁵¹. Por su parte, los flexores de la rodilla serán activados con mayor intensidad que en la ejecución de la sentadilla posiblemente debido a mayores demandas de coactivación, principalmente en los últimos grados de flexión de la rodilla⁵². La ejecución lateral de este ejercicio puede significar un medio eficaz para la intervención terapéutica para la prevención de caídas, puesto que la gran mayoría de las caídas ocurre en situaciones de un solo apoyo, como andar, subir escaleras o girar^{53,54}. Es un ejercicio que debe ser considerado funcional puesto que entrena la rodilla y la cadera durante un movimiento que debe ser estabilizado en todos los planos de movimiento⁴⁹.

Criterios de seguridad

La sentadilla es un ejercicio complejo técnicamente que requiere de un proceso de aprendizaje donde la monitorización y el *feedback* forman parte importante. Incluso entre practicantes veteranos resulta importante la concentración en la correcta ejecución técnica. Debido a la complejidad que entraña este ejercicio se recomienda realizar una adecuada progresión, además de la gran importancia de las instrucciones adecuadas de los técnicos profesionales, puesto que su *feedback* basado en el análisis visual del tronco, rodilla y tobillo resulta fundamental para los principiantes⁵⁵. Debe ser advertido que durante el ejercicio de la sentadilla la rodilla y la región lumbar son los dos núcleos de movimiento sobre los que debe prestarse el mayor interés profiláctico⁵⁶.

Las lesiones sobre la región lumbar suelen tener un origen de sobrecargas en la estructura mecánica. En este sentido, las fuerzas compresivas durante las actividades de la vida cotidiana han despertado el interés desde tiempos tempranos tal y como lo demuestra el clásico trabajo de Nachensom et al⁵⁷. Específicamente encontramos que realizar el ejercicio de sentadilla con cargas entre el 8 y el 160% del peso corporal puede incrementar la carga compresiva recibida sobre L3-L4 entre 6 y 10 veces el peso

corporal⁵⁸. Asumiendo las cargas de compresión o axiales que acontecerán durante la ejecución del ejercicio y el riesgo que puede implicar⁵⁹, debe tenerse presente un criterio de vital importancia que permitirá preservar la integridad de la región lumbar: mantener la curvatura lumbar durante todo el movimiento^{10,60}. Otros trabajos, como el de Cholewicki y Van Vliet⁶¹ encontraron que el raquis es más vulnerable e inestable en actividades realizadas en flexión del tronco, posición en la que el raquis tiene menor resistencia a las fuerzas de cizalla^{10,60}, se incrementan las cargas raquídeas⁶² y se reduce la tolerancia al estrés compresivo hasta un 40%, debido a una mala distribución de las cargas^{10,63}. En términos más prácticos acudimos a los datos publicados por Zatsiorsky y Kramer⁶⁴ quienes recogen de un trabajo del propio Zatsiorsky que un levantamiento tipo *squat* de 50 kg con la columna lumbar flexionada implica cargas compresivas equivalentes a 630 kg. Por su lado, la realización de la misma tarea manteniendo la curvatura lordótica fisiológica implica que estas cargas se reducen hasta los 385 kg. Aunque el estudio de los factores lesivos resulta complicado y no existen datos epidemiológicos al respecto, parece ser que el factor que mayor influencia puede ejercer sobre las lesiones de la región lumbar podría ser la magnitud de la flexión de la cadera⁵⁸.

Debido al riesgo de lesión de la región lumbar muchos practicantes que incluyen la sentadilla dentro de su programa de ejercicio optan por utilizar el cinturón de fuerza. El grueso de los usuarios que utilizan el cinturón de fuerza (90%) considera que su utilización previene lesiones⁶⁵. A tal respecto, es conocido que la utilización del cinturón de fuerza permite incrementar la presión intraabdominal y sugiere que esta situación puede reducir la presión recibida sobre la columna lumbar⁶⁶. No parece generar modificaciones en la activación muscular agonista⁶⁷, aunque sí han sido reportadas reducciones en el rango de movimiento⁶⁶. No obstante, deben estar presentes los efectos negativos que puede ejercer sobre el sistema hemodinámico⁶⁰ y que el abuso de su aplicación desencadenará una debilidad muscular de los grupos musculares encargados de la estabilización lumbar⁶⁸. Su aplicación debería estar restringida a levantamientos cercanos al máximo⁶⁵, situación que no debe incluirse en un programa de fortalecimiento para la salud, por lo tanto, la utilización del cinturón de fuerza debería estar desestimada.

El otro foco de interés profiláctico durante la ejecución de la sentadilla es la rodilla. Existen múltiples recomendaciones sobre cuántos grados de flexión serían adecuados. La rodilla requiere de una gran atención puesto que es una región donde se concentran muchas lesiones^{69,70}. Específicamente, Shankman⁷¹ ha enumerado una serie de lesiones que deben ser conocidas por el entrenador de fuerza o el terapeuta: tendinitis patelar, enfermedad de Osgood-Schlatter, condromalacia patelar, meniscopatías, hiperlaxitud o lesión del ligamento cruzado anterior y lesión de los ligamentos colaterales medial y/o lateral.

Existe una línea de autores que defienden el incremento del potencial riesgo de lesión de la rodilla, éstos están más influidos por una metodología inadecuada (excesivas cargas, progresiones muy rápidas, entrenamiento excesivamente fatigante) o por la existencia de lesiones previas⁷². Sin embargo, existe otra línea que entiende que deben ser

mantenidos ciertos criterios durante la ejecución para evitar incrementar el riesgo de lesión. En este sentido, el trabajo publicado por Klein levantó el debate sobre los grados de flexión de la rodilla que deben ser asumidos como lesivos. En su estudio, encuentra que los levantadores que realizaban sentadilla profunda (entiéndase hasta la máxima flexión de la rodilla) tenían mayores grados de hiperlaxitud ligamentosa, que fue asociada a la ejecución de la sentadilla con flexión máxima de la rodilla; no obstante, debe ser advertido que ha sido un trabajo muy criticado por la metodología utilizada. Esta crítica está basada en el procedimiento, pues el investigador principal preguntaba antes de la prueba de estabilización si realizaba sentadilla profunda o parcial, pudiendo ser un elemento de interferencia sobre la valoración⁷³. Para corroborar los efectos que una sentadilla con flexión máxima de la rodilla puede provocar sobre los ligamentos Chandler et al⁷⁴ registraron la estabilidad de la articulación tibio-femoral tras 8 semanas de entrenamiento con sentadilla a 90° y con sentadilla con máxima flexión de la rodilla. Los resultados obtenidos no reproducen la conclusión a la que llegó Klein. No obstante, los resultados de estos estudios no deben ser asumidos como concluyentes debido a las estrategias metodológicas inadecuadas (en el trabajo de Klein) y a la escasez de trabajos que desarrollan la relación de entrenamiento contra resistencias y adaptaciones de los ligamentos.

Si ha existido un elemento articular de la rodilla al que se le ha prestado atención de los posibles efectos negativos de la sentadilla es el ligamento cruzado anterior. Parece ser que una variable importante que puede comprometer la integridad del ligamento cruzado anterior son las acciones que fuercen una traslación anterior de la tibia⁷⁵, situación que puede ser generada si la sentadilla permite un adelantamiento marcado de la rodilla sobre el pie⁷⁶. De la misma forma, deberá evitarse el excesivo adelantamiento, también debe ser evitada la restricción máxima del movimiento de la rodilla con respecto al pie, sugiriéndose un leve adelantamiento⁷⁷ que puede corresponder con un acercamiento de la rodilla sobre la línea de la punta del pie.

Por otro lado, es conocido que durante una sentadilla profunda se registran unos momentos de fuerza máximos sobre la rodilla de 191 newtons (N) en contra de los 131 N de la ejecución de la sentadilla en paralelo por parte de halterófilos³⁶. También, ha sido cuantificado el incremento de fuerzas recibidas sobre el tendón patelar durante una flexión de 130° en 6.000 N, estos valores fueron decreciendo hasta unos 2.000 N en los 30° de flexión¹⁷. En las mujeres atletas el estrés sobre la articulación patelofemoral no varió entre los 70° y los 110° de flexión de la rodilla⁷⁸.

A falta de estudios epidemiológicos que aborden la posible relación de la sentadilla a diferentes grados de flexión de la rodilla y su influencia sobre las lesiones y a la espera de estudios que encuentren las respuestas del ligamento al entrenamiento contra resistencias, los datos disponibles parecen apuntar hacia una ejecución no llevada hasta la máxima flexión de la rodilla, con el fin de reducir fuerzas sobre la rodilla, puesto que este incremento de fuerzas puede desembocar en lesiones⁷⁹⁻⁸¹. Varios autores^{82,83} han defendido la flexión de la rodilla hasta 120° abogando que se trata de una angulación óptima para la activación muscular y para evitar situaciones lesivas articulares. En esta misma línea, encontramos la sugerencia

realizada por Scaglioni-Solano et al⁸⁴ en la que se defiende la flexión de la rodilla a 115°, como angulación donde las demandas de fuerzas sobre la rodilla y la cadera son similares.

Otro factor que puede incrementar el riesgo de lesión es la excesiva rotación de la tibia, que puede generar un mayor estrés sobre los ligamentos laterales que si es realizada en posición neutra^{39,69}. Además, son registradas pérdidas en el rendimiento de fuerza cuando se comparaba el grupo que realizaba un movimiento de flexo-extensión de la rodilla con rotación tibial que el grupo que mantenía una posición neutra durante todo el movimiento⁶⁹.

Otro elemento articular que requiere de un especial interés profiláctico son los meniscos, los cuales parece ser que las acciones combinadas de flexión máxima de la rodilla con rotación y compresión pueden acelerar los procesos degenerativos⁷⁵.

Un factor que puede influir directamente sobre el potencial lesivo del ejercicio es la velocidad de ejecución, puesto que el incremento de la cadencia en la ejecución de media sentadilla implicó un incremento del 50% en las fuerzas antero-posteriores y del 28% de las fuerzas compresivas sobre la articulación tibio-femoral⁸⁵. A tal respecto, Escamilla¹⁷ advierte que un rápido descenso durante la ejecución generará una gran desaceleración que demandará grandes activaciones del cuádriceps y con éstas, grandes fuerzas sobre las estructuras articulares.

Debe ser recordado que los criterios de seguridad no quedan restringidos a los ejercicios contra resistencias, si no que tiene aplicación en todas las actividades ya sean de entrenamiento o de acción cotidiana que impliquen alguna acción articular desaconsejada. En este sentido, y centrado en la rodilla, debe ser advertido que algunos ejercicios beneficiosos para la flexibilidad de la cadera pueden incurrir en posiciones máximas de flexión de la rodilla que en ocasiones irá acompañada de una carga compresiva. Estos ejercicios deberán tenerse en cuenta puesto que poseen un elevado potencial lesivo para la rodilla, principalmente por comprometer la estabilidad de la rodilla⁸⁶.

Para finalizar este apartado, debe ser advertido que mantener la mirada al frente o ligeramente hacia arriba no parece comprometer la seguridad y la posición neutra de la columna durante la sentadilla, mientras que la mirada baja sí y podría generar una alteración en la postura neutra del ejercicio⁸⁷.

Criterios metodológicos

1) Posición de la barra

La posición de la barra sobre la espalda genera una influencia evidente sobre la ejecución de la sentadilla. Según la posición de la barra podemos hablar de una sentadilla con la barra alta (*high bar*), donde la barra recae justo por debajo de la séptima vértebra cervical. En esta posición, las fuerzas están más repartidas entre la cadera y la rodilla. También, se puede hablar de una sentadilla con la barra baja (*low bar*) que recaería a la altura de la escápula. La utilización de esta última modalidad de sentadilla genera mayores momentos de fuerza en la cadera, aproximadamente dos veces mayores que el sufrido en la rodilla³⁶, debido al mayor

adelantamiento que sufre el tronco, aunque éste puede no darse si se reduce al mínimo este adelantamiento. Esta posición es recomendada ampliamente por evitar posibles molestias de la ubicación alta de la barra y porque permitir un mayor equilibrio⁸⁸.

2) Utilización de la cuña

En ocasiones la ejecución de la sentadilla va acompañada de la utilización de una cuña. Este aparato permite realizar cómodamente el ejercicio a aquellos practicantes que tengan un acortamiento de los flexores plantares, evitando el sobreestiramiento en la fase de descenso del ejercicio. Purdam et al⁸⁹ sugieren que la utilización de este dispositivo disminuye la tensión generada sobre el tríceps sural durante el descenso del ejercicio, además de favorecer el aislamiento de los extensores de la rodilla.

3) Valoración de una repetición máxima

La sentadilla ha sido ampliamente utilizada como ejercicio de valoración de las diferentes manifestaciones de fuerza de los miembros inferiores. Las pruebas de fuerza máxima (1RM) determinadas de forma submáxima han sido sugeridas ampliamente como más adecuadas dentro del campo de la salud. A tal respecto, existe un gran número de fórmulas regresivas que permiten una estimación sobre la cantidad máxima de kilos que se pueden movilizar para un ejercicio. Sin embargo, tal y como advirtieran Knutzen et al⁹⁰, las fórmulas predicativas son menos precisas cuando se aplican en el ejercicio para los miembros inferiores, que cuando son aplicadas en los miembros superiores.

Existen diferentes fórmulas específicas para la sentadilla. En primer lugar, se expone la obtenida por Guynes et al⁹¹, quienes determinaron que para averiguar 1RM (repetición máxima voluntaria) en sentadilla en las mujeres la fórmula adecuada es:

$$1RM = (1,0778 \times \text{reps [entre 5 y 10RM]}) + (2,2419 \times \text{reps [entre 5 y 10RM]}) + 10,06$$

Esta fórmula también resulta aplicable para personas que se inicien en el campo del entrenamiento contra resistencias.

En segundo lugar, debe ser citada la fórmula aportada por Kravitz et al⁹² para sujetos expertos

$$1RM(\text{kg}) = 159,9 + (0,103 \text{ reps carga}) - (11,552 \text{ reps})$$

Esta fórmula posee un error de estimación estándar de $\pm 5,06$ kg.

Carga : cantidad de kilos movilizados; Reps : número de repeticiones.

No obstante, en ocasiones deben ser comparados los rendimientos entre personas de diferente masa corporal, para esto existen modelos alométricos⁹³, donde el atleta con el resultado mayor en el índice numérico es considerado más fuerte en función de la relación peso-fuerza.

$$\text{kg máx/peso kg} + 0,60$$

4) Consumo calórico

Al tratarse de un movimiento que implica grandes grupos musculares, ha despertado el interés por conocer qué gasto calórico implica este ejercicio.

Para es/to, debe ser conocido previamente el volumen de oxígeno consumido (VO₂) que genera. En esta línea, Robergs et al⁹⁴ han trabajado para conseguir la siguiente fórmula estimativa:

$$Y = -1,424 + (0,022)(X1) + (0,035)(X2).$$

$$Y = \text{VO}_2$$

$$X1 = \text{carga medida de kg}$$

$$X2 = \text{distancia en cm}$$

Un trabajo previo al de Robergs generó una ecuación de regresión para mujeres entrenadas que permite calcular el número de calorías consumidas aproximadamente⁹⁵.

$$\text{kcal} = 0,071 * \text{kg} + 2,41$$

5) Aplicación de superficies inestables

No se puede dejar de citar el entrenamiento que actualmente está ganando popularidad entre todos los entrenadores y terapeutas, se trata del entrenamiento bajo condiciones de inestabilidad. Existen varios trabajos que han estudiado las respuestas musculares de los principales grupos musculares ante la ejecución de la sentadilla sobre una superficie inestable. En primer lugar, fue observado que la realización de un esfuerzo isométrico en la sentadilla con una flexión de la rodilla de 100° sobre discos hinchables generó sobre un grupo de 9 atletas las siguientes respuestas: a) reducción de la fuerza pico o máxima; b) no fueron registrados incrementos significativos con respecto a la ejecución sobre la superficie estable de ningún grupo muscular, y c) los grupos musculares agonistas redujeron su activación muscular³⁰. Sobre los esfuerzos dinámicos Anderson y Behm registraron menores activaciones por parte de los músculos agonistas, mientras que registraron un incremento en la activación de los antagonistas³¹. Esta mayor activación podría ser explicada por la necesidad de estabilizar el desplazamiento anterior de la tibia y, por tanto, desencadena la coactivación de los flexores de la rodilla.

La incorporación de una superficie inestable durante la ejecución de lunge o tijeras en personas entrenadas no lideró incrementos sobre el sistema neuromuscular en 19 sujetos sanos entrenados⁹⁶.

Conociendo estos datos y los aportados por la excelente revisión de Behm y Anderson⁹⁷ parece ser que el entrenamiento bajo condiciones inestables como las generadas por discos hinchados no representa un estímulo suficiente como para desembocar adaptaciones sobre el sistema neuromuscular de los miembros inferiores, principalmente si los sujetos poseen un elevado estatus neuromuscular⁹⁶. No obstante, su aplicación permitirá incrementar el equilibrio y las capacidades propioceptivas⁹⁸. En este sentido, debe ser advertido que el ángulo articular de la rodilla más efectivo para la detección de movimiento pasivo se ubica a 15° de la flexión⁹⁹. Por esto, si se desea entrenar bajo condiciones inestables con cargas elevadas o con sujetos muy desentrenados, este dato deberá ser

tomado en cuenta para evitar desplazamientos articulares excesivos. Se aconseja un fortalecimiento previo de la musculatura flexora de la rodilla¹⁰⁰.

6) El tirante musculador

El tirante musculador es un aparato que fue desarrollado por la antigua URSS, con una aplicación dentro del campo del entrenamiento deportivo fundamentada por su eficacia, su facilidad de aplicación y su bajo coste. El beneficio más importante para el campo de la salud

radica en el bajo riesgo de lesión (sobre la columna vertebral y sobre la articulación tibio-femoral) que presenta y la eficacia en el desarrollo neuromuscular^{101,102}.

La explicación del porqué con menores cargas la activación es similar (tabla 1) radica en el *torque*. Se realizó un estudio cinemático comparativo entre el tirante musculador y el medio *squat*^{101,102}, concluyéndose que la distancia entre la línea de aplicación de la

Tabla 1 Equivalencias de las cargas utilizadas durante el tirante musculador con el *squat* tradicional

TM	<i>Squat</i> tradicional
TM sin carga	Medio <i>squat</i> con carga del 50% de 1RM
TM con 10 kg de carga extra	Medio <i>squat</i> con un 60% de 1RM
TM con carga de 20 kg	Medio <i>squat</i> con un 70% de 1RM

A partir de Da Silva et al^{101,102}.
1RM: repetición máxima; TM: tirante musculador.

Tabla 2 Propuesta de progresión basada en la complejidad de las variantes de la sentadilla (elaboración propia)

1. Prensa horizontal	Permite un movimiento guiado. La posición supina favorece un mayor control global del movimiento. La cadera está estabilizada pasivamente y la espalda reposa sobre el asiento. El peso está más repartido en el componente horizontal que en el componente vertical.
2. Jaca	El peso está compensado entre el componente vertical y el componente horizontal. La cadera está estabilizada pasivamente.
3. <i>Multipower</i> : pies adelantados	La cadera se debe estabilizar activamente. La resistencia proviene del eje vertical. Las guías permiten un movimiento controlado sobre un único plano. Los pies adelantados permiten la ejecución del movimiento sin flexión de la cadera, aunque existe riesgo de inversión lumbar, que se deberá controlar de forma activa.
4. <i>Multipower</i> : pies normales	La diferencia con la anterior radica en que con esta posición de pies se requiere de un movimiento de flexión de la cadera, y con esto se requiere mayor coordinación.
5. Sentadilla sobre plataforma de vibraciones	En esta situación ya no existe guía, esta situación exigirá mayor grado de estabilidad y de equilibrio. Una ventaja asociada a las vibraciones es la posibilidad de realizar el movimiento dinámico o mantenerse en estático. Esta herramienta permite un gran proceso de aprendizaje.
5. Tirante musculador	Permite realizar el movimiento con mínima carga. Favorece el aprendizaje y la mejora en el equilibrio durante el movimiento.
5. Barra	La sentadilla con barra implica una gran coordinación y equilibrio.
6. Sentadilla por delante	Esta variante es más compleja y demanda un mayor control activo de la región lumbar. Además exige mayor equilibrio.
6. <i>Lunge</i> estático	Para los estadios más avanzados este ejercicio proporciona una mayor funcionalidad del movimiento, puesto que al realizarse con una pierna, tiene mayor similitud con las actividades cotidianas. La realización de forma estática sirve para un mayor control y para evitar un gran desplazamiento del fémur sobre la tibia.
7. <i>Lunge</i> dinámico	Este ejercicio de forma dinámica requiere mayores demandas de equilibrio y de control motor para evitar el desplazamiento femoral sobre la tibia, a la vez que el mantenimiento del equilibrio mientras se realiza.
8. Sentadilla sobre superficies inestables	La ejecución de cualquier ejercicio anterior bajo situaciones inestables, <i>dyna disc</i> (platos inflados), liderará un cambio de estímulo, que estará más orientado hacia las mejoras propioceptivas y estabilizadoras.
9. Sentadilla por encima de la cabeza	Este ejercicio ha sido colocado en último lugar debido a la gran complejidad de la técnica que entraña. Es un ejercicio que genera grandes demandas de equilibrio y de estabilización lumbar.

fuerza y el eje de la rodilla es distinto, siendo para el tirante musculador mayor lo que desemboca en la demanda de una mayor actividad.

7) *Entrenamiento variable*

Bajo este concepto es englobada una técnica de entrenamiento que pretende solicitar la máxima respuesta muscular en los momentos mecánicos acertados. Aplicado específicamente a la sentadilla ha sido logrado por dos vías: la adición de bandas elásticas y la adición de cadenas¹⁰³. Con la primera opción, las bandas elásticas, Wallace et al¹⁰⁴ determinaron que en los sujetos recreacionales la aplicación de las bandas elásticas (agarradas a la barra y ancladas al suelo) lideraba mayores mejoras en fuerza y potencia máxima. No obstante, la aplicación de las bandas elásticas resulta una herramienta interesante cuando se pretende reducir las cargas sobre la espalda. Su aplicación anclada a la cintura permite generar resistencia por debajo del centro de gravedad, eliminando las cargas recibidas en la columna y extremidades superiores¹⁰⁵. El entrenamiento combinado con cadenas es un área sobre la que falta mucho por investigar; sin embargo, parece ser que puede liderar incrementos de fuerza máxima y de potencia¹⁰⁶.

8) *Plataforma de vibraciones*

Un último apunte relaciona la sentadilla con las plataformas de vibraciones. A tal respecto es conocido que la ejecución de la sentadilla sobre una plataforma de vibraciones desencadena respuestas musculares de mayor intensidad que si es realizada sin las vibraciones³¹. Pese a la carencia de trabajos que presenten la dosis-respuesta adecuada de esta metodología su aplicación puede ser muy interesante puesto que permite incrementar el estado neuromuscular sin aplicar grandes cargas.

9) *Progresión para el aprendizaje técnico*

Tras la revisión realizada ha sido diseñada una propuesta de progresión de ejercicios basada en la complejidad técnica de éstos (tabla 2).

Conclusiones finales

La inclusión del ejercicio de la sentadilla en los programas de fortalecimiento muscular, orientado al entrenamiento, como a la rehabilitación está fundamentada por:

- 1) La similitud que presenta con respecto a las actividades deportivas y de la vida cotidiana.
- 2) En términos de participación muscular, no existen grandes variaciones entre las diferentes variantes de la sentadilla: a) el cuádriceps como grupo extensor de la rodilla, al igual que el glúteo mayor como extensor de la cadera serán los grupos más demandados durante el movimiento; b) no existen evidencias concluyentes que fundamenten la activación selectiva del cuádriceps en ninguna variante, y c) debe existir un fortalecimiento previo de los flexores de la rodilla para estabilizar activamente la tibia durante las demandas de traslación anterior.
- 3) Los criterios técnicos que aportarán seguridad durante el ejercicio de la sentadilla son: a) utilizar amplia base de

sustentación (ligeramente superior a la anchura de la cadera); b) colocar los pies de forma natural; c) realizar un movimiento poco o nada restringido, dejando un ligero movimiento de adelantamiento de la rodilla sobre los pies (llegando como máximo a la punta del pie); c) si no existe patología asociada, es posible descender hasta 125° en flexión de la rodilla; ante molestias y patologías deberá existir restricción en los grados de movimiento; d) mantener en todo momento la curva lordótica de la zona lumbar, y e) mantener la mirada fija hacia delante o hacia arriba.

Bibliografía

1. Kell RT, Bell G, Quinney A. Musculoskeletal fitness, health outcomes and quality of life. *Sports Med.* 2001;31:863-73.
2. Pollock ML, Franklin Ba, Balady GJ, Chaitman BL, Fleg JL, Fletcher B, et al. AHA science advisory. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: Benefits, rationale, safety, and prescription: An advisory from the Committee on exercise, rehabilitation, and prevention, council on clinical cardiology, American Heart Association; position paper endorsed by the American College of Sports Medicine. *Circulation.* 2000;101:828-33.
3. Lombardi VP, Troxel RK. US deaths and injuries associated with weight training. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:S203.
4. Nordin M, Frankel VH. *Biomecánica del sistema musculoesquelético.* 3 ed. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana; 2004.
5. ACSM. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:364-80.
6. Rhea MR, Alvar BA, Burkett AN, Ball SB. A meta-analysis to determine the dose-response for strength development. *Med Sci Sport Med.* 2003;35:456-64.
7. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamental of resistance progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:674-88.
8. Kraemer WJ, Ratamess NA. Progression and resistance training. President's council on physical fitness and sports. *Research Digest.* 2005;6:1-8.
9. Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness. A review of the acute programme variables. *Sports Med.* 2005;35:841-51.
10. Knudson D. *Fundamentals of biomechanics.* 2 ed. New York: Springer; 2007.
11. Kumar S. Selected theories of musculoskeletal injury causation. En: Kumar S, editor. *Biomechanics in Ergonomics.* Philadelphia: Taylor & Francis; 2001.
12. Harman E. Weight training safety: A biomechanical perspective. *Strength and Conditioning J.* 1994;55-60.
13. Augustsson J, Anders E, Roland T, Ulla S. Weight training of the thigh muscle using closed vs. open kinetic chain exercises: A comparison of performance enhancement. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27:3-8.
14. Rogers L, Sherman T. Leg press versus squat. *Strength & Conditioning J* 2007;23:63-64.
15. Neitzel JA, Davies GJ. The benefits and controversy of the parallel squat in strength training and rehabilitation. *Strength and Conditioning J.* 2000;22:30-7.
16. Andersen LL, Magnusson SP, Nielsen M, Haleem J, Pousen K, Aagaard P. Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: Implications for rehabilitation. *Phys Ther.* 2006;86:683-97.
17. Escamilla RF. Biomechanics of the dynamic squat exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:127-41.

18. Jones CJ, Rikli RE. Measuring functional. *The Journal on Active Aging*. 2002;1:25–30.
19. Danczewicz TM, Krebs DE, McGibbon ChA. Lower-limb extensor power and lifting characteristics in disabled elders. *J Rehab Research Dev*. 2003;40:337–48.
20. Shields RK, Madhavan S, Gregg E, Leitch J, Petersen B, Salata S, et al. Neuromuscular control of the knee during resisted single-limb squat exercise. *Am J Sports Med*. 2005;33:1520–6.
21. Petrella JK, Miller LS, Cress ME. Leg extensor power, cognition, and functional performance in independent and marginally dependent older adults. *Age Aging*. 2004;33:342–8.
22. Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Wilk KE, Andrews JR. Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30:556–69.
23. Graham JF. Back squat. *Strength and Conditioning J*. 2001;23:28–9.
24. Baechle TR, Earle RW. *Essential of strength training and conditioning (NSCA)*. Champaign IL: Human Kinetics; 2000.
25. Graham JF. Front squat. *Strength and Conditioning J*. 2002;24:75–6.
26. Auferoth S, Joseph J. The overhead squat. *Strength and Conditioning J*. 1988;10:24–5.
27. Sigmon Ch, Duncan DE. The hack squat. *Strength and Conditioning J*. 1990;12:28–31.
28. Kennedy PM. Introducing the safe squat. *Strength and Conditioning J*. 1989;11:37–8.
29. Cross T. The lateral squat. *Strength and Conditioning J*. 1991;13:56–7.
30. McBride JM, Cormie P, Deane R. Isometric squat force output and muscle activity in stable and unstable conditions. *J Strength Cond Res*. 2006;20:915–8.
31. Roelants M, Verschueren SMP, Delecluse C, Levin O, Stijnen V. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res*. 2006;20:124–9.
32. Cotterman ML, Darby LA, Skelly WA. Comparison of muscle force production using the Smith machine and free weights for bench press and squat exercises. *J Strength Cond Res*. 2005;19:169–76.
33. Isear JA, Erickson JC, Worrell TW. EMG analysis of lower extremity muscle recruitment patterns during an unloaded squat. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29:532–9.
34. Flanagan S, Salem GJ, Wang M, Sanker SE, Greendale GA. Squatting exercises in older adults: Kinematic and kinetic comparisons. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35:635–43.
35. Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Lander JE, Barrentine SW, Andrews JR, et al. Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33:1552–66.
36. Wretenberg P, Feng Y, Arborelius UP. High-and low-bar squatting techniques during weight-training. *Med Sci Sport Exerc*. 1996;28:218–24.
37. Caterisano A, Moss RF, Pellingier TK, Woodruff K, Lewis VC, Booth HV, et al. The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *J Strength Cond Res*. 2002;16:428–32.
38. Crossley KM, Cowan SM, McConnell J, Bennell KL. Physical therapy improves knee flexion during stair ambulation in patellofemoral pain. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37:176–83.
39. Signorile JF, Kwiatkowski K, Caruso JF, Robertson B. Effect of foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps muscles during the parallel squat and knee extension. *J Strength Cond Res*. 1995;9:182–7.
40. Boyden G, Kingman J, Dyson R. A comparison of quadriceps electromyographic activity with the position of the foot during the parallel squat. *J Strength Cond Res*. 2000;14:379–82.
41. McCaw ST, Melrose DR. Stance width and bar load effects on leg muscle activity during the parallel squat. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31:428–36.
42. Hertel J, Earl JE, Tsang KKW, Millar SJ. Combining isometric knee extension exercises with hip adduction or abduction does not increase quadriceps EMG activity. *Br J Sports Med*. 2004;38:210–3.
43. Wilson J, Ferris E, Heckler A, Maitland L, Taylor C. A structured review of the role of gluteus maximus in rehabilitation. *New Zealand J Physiotherapy*. 2005;33:95–100.
44. Anders M. Glutes to the max. Exclusive ACE reserach gets to the bottom of the most effective glutes exercises. [consultado el 9 de septiembre 2008] Disponible en: URL: www.acefitness.org/getfit/GlutesStudy2006.pdf.
45. Ebben WP, Leigh DH, Jensen RL. The role of the back squat as a hamstring training stimulus. *Strength and Conditioning J*. 2000;22:15–7.
46. Wright GA, DeLong TH, Gehlsen G. Electromyographic activity of the hamstring during performance of the leg curl, stiff-leg deadlift, and back squat movements. *J Strength Cond Res*. 1999;13:168–74.
47. Delavier F. *Guía de los movimientos de musculación*. Barcelona: Paidotribo; 2003.
48. Tous J, et al. *Nuevas tendencias en fuerza y musculación*. Barcelona: Ergo; 1999.
49. McCurdy K, Conner Ch. Unilateral support resistance training incorporation the hip and knee. *Strength and Conditioning J*. 2003;25:45–51.
50. Keogh J. Lower-body resistance training: Increasing functional performance with lunges. *Strength Cond J*. 1999;21:67–72.
51. Escamilla RF, Bonacci L, Burnham T, Busch J, D'Anna K, Edwards B, et al. A biomechanical analysis of squatting and lunging type exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38:S264.
52. Helfzy MS, AlKhazim M, Harrison L. Co-activation of the hamstring and quadriceps during the lunge exercises. *Biomed Sci Instrum*. 1997;33:360–5.
53. Rogers MW, Mille M-L. Lateral stability and falls in older people. *Exerc Sports Sci Rev*. 2003;31:182–7.
54. Judge JO, Lindsey C, Underwood M, Winsemius D. Balance improvements in older women: Effects of exercise training. *Phys Ther*. 1993;73:254–62.
55. Chinworth SA, Escamilla J, Moss P. Descriptors of technique for performing squats in novices. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:pS215.
56. Frounfelter G. A progression for teaching athletes to do squat exercises. *Strength and Conditioning J*. 1997;19:14–7.
57. Nachemson A. The load on lumbar disks in different positions of the body. *Clin Orthop*. 1976;45:107–12.
58. Cappozzo A, Felici F, Figura F, Gazzani F. Lumbar spine loading during half-squat exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 1985;17:613–20.
59. Chandler TJ, Stone MH. The squat exercise in athletic conditioning a review of the literature. *National Strength and Conditioning Association Journal*. 1991;13:51–8.
60. McGill SM. *Low back disorders. Evidence-based prevention and rehabilitation*. 2 ed. Champaign: Human Kinetics; 2007.
61. Cholewicki J, Van Vliet JJ. Relative contribution of trunk muscles to the stability of the lumbar spine during isometric exertions. *Clin Biomech*. 2002;17:99–105.
62. Granata KP, Wilson SE. Trunk posture and spinal stability. *Clin Biomech*. 2001;16:650–9.
63. Gunning JL, Callaghan JP, McGill SM. Spinal posture and prior loading history modulate compressive strength and type of failure in the spine: A biomechanical study using a porcine cervical spine model. *Clin Biomech*. 2001;16:471–80.
64. Zatsiorsky VM, Kraemer WJ. *Science and practice of strength training*. 2 ed. Champaign: Human Kinetics; 2006.

65. Finnie SB, Wheeldom TJ, Hensrud DD, Dahm DL, Smith J. Weight lifting belt use patterns among a population of health club members. *J Strength Cond Res.* 2003;7:498–502.
66. Renfro GJ, Ebben WP. A review of the use of lifting belts. *Strength and Conditioning J.* 2006;28:68–74.
67. Escamilla RF, Francisco AC, Kayes AV, Speer KP, Moorman CT. An electromyographic analysis of sumo and conventional style deadlifts. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:682–8.
68. Faigenbaum AV, Liatson NS. The use and abuse of weightlifting belts. *Strength and Conditioning J.* 1994;60–2.
69. Lewis CL, Spittler D. Effect of tibial rotation on measures of strength and endurance of the knee. *J of Applied Sports Science Research.* 1989;3:19–22.
70. Philadelphia panel evidence-based clinical practice guidelines on selected rehabilitation interventions for knee pain. *Phys Ther.* 2001; 81:1675-1700.
71. Shankman G. Training guidelines for strengthening the injured knee: Basic concepts for the strength coach. *Strength and Conditioning J.* 1989;11:32–42.
72. Chandler TJ, Stone MH. The squat exercise in athletic conditioning a review of the literature. *Strength and Conditioning J.* 1991;13:51–8.
73. Todd T. Karl Klein and the squat. *Strength and Conditioning J.* 1984;67:26–31.
74. Chandler TJ, Wilson GD, Stone MH. The effect of the squat exercise on knee stability. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21:299–303.
75. Dugan SA. Sports-related knee injuries in female athletes: What gives?. *Am J Phys Med Rehabil.* 2005;84:122–30.
76. Kvist J, Gillquist J. Sagittal plane knee translation and electromyographic activity during closed and open kinetic chain exercises in anterior cruciate ligament-deficient patients and control subjects. *Am J Sports Med.* 2001;29:72–82.
77. Fry AC, Smith JC, Schilling BK. Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. *J Strength Cond Res.* 2003;17:629–33.
78. Salem GJ, Powers ChM. Patellofemoral joint kinetics during squatting in collegiate women athletes. *Clin Biomechanics.* 2001;16:424–30.
79. Nagura T, Dyrby CO, Alexander EJ, Andriacchi TP. Mechanical loads at the knee joint during deep flexion. *J Orthop Res.* 2002;20:881–6.
80. Thacker SB, Stroup DF, Branche CM, Gilchrist J, Goodman RA, Kelling EP. Prevention of knee injuries in sports. A systematic review of the literature. *J Sports Med Phys Fitness.* 2003;43:165–79.
81. Senter C, Hame SL. Biomechanical analysis of tibial torque and knee flexion angle: Implications for understanding knee injury. *Sports Med.* 2006;36:635–41.
82. Timmermans H, Martin M. Top ten potentially dangerous exercise. *JOPERD.* 1987;58:29–31.
83. Lindsey R, Corbin CH. Questionable exercise-some after alternatives. *JOPERD.* 1989;60:26–32.
84. Scaglioni-Solano P, Song J, Salem GJ. Lower extremity during different squat depths. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37:539.
85. Hattin HC, Pierrynowski MR, Ball KA. Effect of load, cadence, and fatigue on tibio-femoral joint force during a half squat. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21:613–8.
86. Cornelius WL. Exercise beneficial to the hip but questionable for the knee. *Strength and Cond J.* 1984:40–1.
87. Donnelly DV, Berg WP, Fiske DM. The effect of the direction of gaze on the kinematics of the squat exercise. *J Strength Cond Res.* 2006;20:145–50.
88. Roundtable. Common technique errors in the back squat. *Strength and Conditioning J.* 1993;15:20–7.
89. Purdam CR, Johnsson P, Alfredson H, Lorentzon JL, Khan KM. A pilot study of the eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy. *Br J Sports Med.* 2004;38:395–7.
90. Knutzen KM, Brilla LR, Caine D. Validity of 1RM prediction equations for older adults. *J Strength Cond Res.* 1999;13:242–6.
91. Guynes SV, Abadie BR, Boling R, Lamberth J. Prediction of 1-RM leg extension strength in elderly. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:S208.
92. Kravitz L, Akalan C, Nowicki K, Kinzey SJ. Prediction of 1 repetition maximum in high-school power lifters. *J Strength Cond Res.* 2003;17:167–72.
93. Doodman CS, Vanderburgh PM. Allometric modeling of the bench press and squat: Who is the strongest regardless of body mass?. *J Strength Cond Res.* 2000;14:32–6.
94. Robergs EA, Gordon T, Reynolds J, Walker TB. Energy expenditure during bench press and squat exercise. *J Strength Cond Res.* 2007;21:123–30.
95. Byrd R, Pierce K, Gentry R, Swisher M. Predicting the caloric cost of the parallel back squat in women. *J Strength Cond Res.* 1996;10:184–5.
96. Cressey EM, West CA, Tiberio DP, Kramer WJ, Maresh CM. The effects of ten week of lower-body unstable surface training on markers of athletic performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21:561–7.
97. Behm DG, Anderson KG. The role of instability with resistance training. *J Strength Cond Res.* 2006;20:716–22.
98. Anderson KG, Behm DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can J Appl Physiol.* 2005;30:33–45.
99. Pincivero DM, Bachmeier B, Coelho AJ. The effects of joint angle and reliability on knee proprioception. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1708–12.
100. Youdas JW, Hollman JH, Hitchcock JR, Hoyme GJ, Johnsen JJ. Comparison of hamstring and quadriceps femoris electromyographic activity between men and women during a single-limb squat on both a stable and labile surface. *J Strength Cond Res.* 2007;21:105–11.
101. Da Silva ME, Padullés JM, Núñez V, Vaamond D, Viana B, Gómez JR, et al. Análisis electromiográfico y de percepción de esfuerzo del tirante musculador con respecto de medio squat. *Apunts.* 2005;82:45–52.
102. Da Silva ME, Núñez V, Padullés JM, Viana B, Gómez JR, Lancho JL. Análisis de EMG del tirante musculador en comparación con el de media sentadilla. *Archivos de Medicina del Deporte.* 2004;21:992–7.
103. Ebben WP, Jensen RL. Electromyographic and kinetic analysis of traditional, chain, and elastic band squats. *J Strength Cond Res.* 2002;16:547–50.
104. Wallace BJ, Winchester JB, McGuigan MR. Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat. *J Strength Cond Res.* 2006;20:268–72.
105. O'Neil GD, Malacrea RF, Brenner JW. Squat board. *J Athletic Tra.* 1993;28:16–9.
106. Berning JM, Coker CA, Adams KJ. Using chains for strength and conditioning. *Strength and Conditioning J.* 2004;26:80–4.