

La sentadilla ¿es un ejercicio potencialmente lesivo?

Miguel A. Lavorato¹, Nicolás Vigario Pereira¹

¹ *Departamento de Investigación y Desarrollo, Fortia, Buenos Aires, Argentina.*

RESUMEN

La sentadilla es un ejercicio tan bueno como polémico. La discusión sobre su uso está establecida entre los profesionales de la salud y los preparadores físicos ya que éstos debaten sobre los efectos colaterales que este ejercicio produce en la columna vertebral y en las rodillas. Para los entrenadores, la sentadilla es el ejercicio más completo para el entrenamiento de la fuerza y consideran que las lesiones producidas son consecuencia de la mala ejecución técnica. Por el contrario, los profesionales de la salud advierten sobre su peligro potencial de provocar lesiones en la zona de la espalda baja y las rodillas. El propósito de esta revisión bibliográfica consiste en estudiar el movimiento del tronco y de la piernas (en forma independiente) para determinar si la sentadilla es o no un ejercicio potencialmente lesivo. Todos los autores coinciden en que este ejercicio es excelente para el fortalecimiento de la musculatura del tren inferior. De hecho, posee características mecánicas que benefician su aplicación tanto en la rehabilitación como en el alto rendimiento. Con respecto a la discusión entre la profundidad del descenso, los profesionales de la salud, en su amplia mayoría, recomiendan realizar la media sentadilla por sobre la sentadilla profunda para evitar posibles lesiones en la articulación de la rodilla. Sin embargo, no se encontraron estudios que establezcan una relación causal entre la sentadilla profunda y las lesiones de rodillas. En sus estudios sobre la problemática de la zona baja de la espalda, los autores coinciden en que la flexión del tronco realizada en el descenso genera un brazo de palanca que recae predominantemente en el disco intervertebral situado entre la L₅-S₁, y que la presión en este punto aumenta proporcionalmente a la flexión. Sin embargo, el aumento de la presión intra-abdominal (maniobra de Valsalva) permite reducir la tensión en este punto (30% en el disco lumbosacro y 55% en los músculos paravertebrales). Se debe considerar que una sobrecarga de hasta 350 kg. se considera segura; con valores de entre 350 y 800 kg. se generan lumbalgias; mientras que la resistencia máxima del disco intervertebral es de 800 kg. Por

este motivo, es fundamental que el ejecutante mantenga la espalda lo más recta posible durante la ejecución de la sentadilla. También analizamos la causa de los errores más frecuentes, y concluimos que para lograr una correcta ejecución técnica, el sujeto debe tener un equilibrio mecánico en la musculatura del tren inferior. De no ser así, produciría movimientos compensatorios en el ejercicio que lo desviarían de la técnica correcta, generándole lesiones. En función de la evidencia recopilada, no creemos que la sentadilla sea un ejercicio potencialmente lesivo siempre que se realice con la técnica correcta. No obstante, antes de incluir este ejercicio en las planificaciones, los entrenadores deberían asegurarse de que los sujetos se encuentren aptos para realizarlo y que la sobrecarga esté dentro de los límites de seguridad (determinados por medio de modelos biomecánicos). En el caso de aquellos que no reúnen las condiciones mencionadas para realizar la sentadilla, se debe optar por ejercicios que la sustituyan. Este trabajo también propone la búsqueda de un ejercicio alternativo, donde la cadena cinemática se encuentre cerrada y el peso no sobrecargue a la columna lumbar: una excelente opción para quienes no se encuentran aptos para realizar la sentadilla.

Palabras clave: *sentadilla, lesiones, rodilla, columna.*

INTRODUCCIÓN

Varias investigaciones demuestran la peligrosidad de ciertos ejercicios que repercuten negativamente al aumentar la probabilidad de generar un proceso degenerativo a medio y a largo plazo. Estas investigaciones concluyen que algunos de los ejercicios de acondicionamiento físico más utilizados pueden ser potencialmente peligrosos para el ejecutante, siendo necesario plantear alternativas. De hecho, actividades que se han considerado tradicionalmente como adecuadas, actualmente están totalmente desaconsejadas bajo una concepción de actividad física y salud (López Miñarro, P.A., 2000).

Se denomina ejercicios potencialmente peligrosos a aquellos movimientos que generan dos o tres palancas óseas y que producen daño sobre cualquier estructura anatómica - funcional. Dicha denominación se aplica a actividades que de forma aguda (sólo unas pocas veces) o crónica (de forma repetida y progresiva) pueden provocar daños a la persona que los realiza (López Miñarro, P.A., 2001). En este sentido, uno de los ejercicios actuales que generan polémica es la sentadilla. El conflicto se origina en la controversia existente entre los profesionales de la salud (kinesiólogos, traumatólogos, etc.) y los entrenadores. Lo que se discute son los efectos colaterales que involucran a la columna vertebral y a las rodillas. Para los entrenadores, la sentadilla es el ejercicio más completo para el entrenamiento de la fuerza y consideran que las lesiones producidas son consecuencia de la mala ejecución técnica (Badillo, J.J., 2000). Por el contrario, los profesionales de la salud advierten sobre su peligro potencial de provocar lesiones en la zona de la espalda baja y las rodillas (Kulund, D.N., 1990).

El propósito de esta revisión bibliográfica consiste en analizar el movimiento del tronco y de las piernas (en forma independiente) con el fin de determinar si la sentadilla es o no un ejercicio potencialmente lesivo.

DESARROLLO

1. La sentadilla

La sentadilla es un ejercicio que se realiza para fortalecer la musculatura del tren inferior. Consiste en flexionar y extender las rodillas y la cadera, movilizandole la carga (lastre) sobre el tronco (nuca o clavícula).

Las posibilidades de ejecución son variadas: colocar la barra sobre las clavículas o sobre la nuca, pies planos o talones muy elevados, movimientos de amplitud completa o limitada (media, un tercio o un cuarto de movimiento), final del ejercicio con intento de impulso (Lambert, G., 1989).

Por otro lado, la sentadilla es considerada como un sistema de cadena cinemática cerrado, dado que los segmentos distales de las extremidades inferiores se encuentran fijos en el suelo (cuando el pie soporta el peso sobre el suelo, se determina que la cadena cinemática está cerrada). El uso de este tipo de ejercicios tiene ventajas importantes ya que permite reproducir la mayoría de las actividades de la vida diaria como caminar o ponerse de pie, como así también la mayoría de las actividades deportivas (Palmiter, R., Kai-Nan, A., Scott, et al. 1991).

▪ Técnica de ejecución:

De todas las variantes existentes, las más utilizadas son la media sentadilla (a 90 grados de flexión) y la sentadilla profunda (flexión completa), con la ubicación de la barra sobre los trapecios (Pearl Hill, Gary T., Moran PH., 2003). A continuación se describen las ejecuciones técnicas de estas dos variantes.

Para ambos ejercicios, la barra se apoya sobre la base del cuello, prácticamente sobre la espina del omóplato (apoyarlo más arriba se haría intolerable por la presión que ejercería la barra sobre las apófisis espinosas) (De Hededüs, J., 1991).

Los pies deben adoptar una posición que le de confort y estabilidad al deportista, no existe una ubicación que sirva para todos los ejecutantes por igual (Escamilla, R.F., 2001).

Las manos toman la barra entre la distancia que hay entre los hombros y los toques de la barra. El punto en que debe realizarse dicha toma manual dependerá de las necesidades del deportista teniendo en cuenta (muy especialmente) el sentido del equilibrio. En el caso de tomarse la barra cerca de los hombros, exigirá mayor equilibrio en el plano antero-posterior y si existe pérdida de equilibrio en dicho plano, los codos (al estar completamente flexionados) podrán realizar determinados movimientos compensatorios en este plano con el fin de recobrar el equilibrio. Tomando la barra de tope a tope existe carencia en el plano antero-posterior, pero el equilibrio se incrementa en este caso en relación al plano transversal. Estos dos casos son extraños; entre estos se pueden adoptar muchas variantes de acuerdo con las posibilidades del deportista. Es muy importante la ubicación en el centro de barra y que las tomas de las manos estén también ubicadas equidistantes, ya sea de los hombros o de los toques.

La cabeza debe estar erguida, tratando que durante la realización del ejercicio la mirada del deportista en ningún momento se proyecte hacia abajo; por el contrario, en los momentos de mayor torque, la cabeza y la mirada deben proyectarse hacia arriba. La espalda debe estar lo más perpendicular posible con respecto al piso.

Respecto de la parte activa y dinámica del ejercicio, debemos considerar puntos muy importantes. Ante todo, la flexión de las extremidades debe ser más lenta que su extensión. Una flexión muy veloz, como buscando un "rebote" abajo, puede perjudicar gravemente a los meniscos. Por dicha causa, el descenso debe ser controlado y medido en cuanto a su velocidad. Es indudable que las posibilidades o las magnitudes del descenso están muy influidas por la flexión a la altura de la articulación de la rodilla. La articulación de la rodilla es la que prácticamente hace el mayor aporte para la sentadilla. Sin embargo, las posibilidades del

recorrido articular por parte de la articulación tibio-tarsiana son menores en relación a la rodilla. Por esta causa es que mientras el muslo está en descenso se aproxima hacia la parte posterior de la pantorrilla; este último segmento en su flexión hacia el frente llegará un momento en que ya no podrá hacerlo. Por eso es que los talones serán arrastrados hacia arriba, y el atleta quedará sobre la punta de sus pies. Como la superficie de contacto con el piso es muy pequeña, existirá una gran posibilidad real de pérdida de equilibrio. Por ello, se aconseja (sólo en los casos de poca movilidad a nivel de la articulación del tobillo) ubicar un taco de madera de entre 2 y 3 centímetros debajo de los talones, o la utilización de calzado con tacos relativamente altos. Esto posibilita que aún en la flexión profunda de rodillas los talones tengan apoyo (De Hegedüs, J., 1991).

En la sentadilla completa, el descenso debe realizarse hasta lograr una flexión profunda de las piernas, hasta la posición que el esquema corporal lo permita. En ese punto se produce un pequeño movimiento donde la cadera se desplaza hacia abajo y adelante (Anselmi, H., 2007; Badillo, J.J., 2000; Cappa, D., 2000). En la media sentadilla, se desciende hasta que los muslos se encuentran paralelos al suelo (Kulund, D., 1990).

En las dos variantes, el ascenso debe realizarse repitiendo el mismo movimiento pero en sentido contrario (Cappa, D., 2000).

La fase de inspiración se producirá antes de la bajada y la de espiración hacia el final de la fase ascendente, consiguiéndose con esto mantener fija la columna el mayor tiempo posible (Colado Sánchez, J.C., 2004).

2. Análisis de las extremidades inferiores

▪ Actividad muscular

Para determinar qué músculos se activan durante la sentadilla y en qué grado, se mencionan a continuación diferentes estudios que implementaron la electromiografía para cuantificar la actividad muscular en este ejercicio.

La actividad de los cuádriceps aumentó progresivamente al flexionar la rodilla, y disminuyó al extenderla. El pico de actividad se registró al flexionar la rodilla aproximadamente entre 80° y 90°. Es por esto que una flexión mayor a 90° puede no aumentar el desarrollo del cuádriceps.

Con respecto a los músculos que conforman el cuádriceps, el vasto interno y el vasto externo produjeron entre un 40 – 50% más de actividad que el recto anterior. La menor actividad allí observada, en comparación con ambos vastos, puede deberse a su función bi-articular como flexor de cadera y extensor de rodilla. Un aumento de la actividad del recto anterior incrementaría la torsión en la cadera flexionándola, con un incremento simultáneo de los

músculos extensores (isquiotibiales, glúteo mayor y aductor mayor) para extender la cadera.

El recto anterior es probablemente más efectivo como un extensor de la cadera, cuando el tronco está más vertical, porque se encuentra en una posición estirada en comparación a cuando está inclinado hacia delante en la flexión de cadera. Con respecto a los vastos, ambos produjeron aproximadamente la misma cantidad de actividad electromiográfica.

La actividad de los isquiotibiales fue mayor durante el ascenso de la sentadilla, mostrando mayor actividad en los isquiotibiales laterales que en los isquiotibiales medios. La actividad pico de los isquiotibiales fue registrada entre 30 y 80% de la fuerza de contracción isométrica máxima voluntaria, que ocurría entre los 50° y 70° con la rodilla flexionada. Varios estudios reportaron una actividad mayor de los isquiotibiales durante el ascenso, en comparación con la del descenso.

Los isquiotibiales son músculos bi-articulares, y por lo tanto, es difícil determinar si estos músculos actúan de manera excéntrica durante el descenso y concéntrica durante el ascenso, como se cree comúnmente. En realidad, pueden llegar a trabajar casi isométricamente durante el descenso como en el ascenso de la sentadilla, porque se acortan concurrentemente en la rodilla y se alargan en la cadera durante el descenso, y se alargan en la rodilla y se acortan en la cadera durante el ascenso.

En cualquier caso, los isquiotibiales probablemente no modifican mucho su largo durante la sentadilla. De ahí que en concordancia con la relación fuerza-longitud en los músculos esqueléticos, una constante longitud en los tendones les permitiría ser más efectivos en la generación de fuerza a través de todo el movimiento de la sentadilla.

Algunos estudios reportaron la actividad moderada de los gemelos durante la sentadilla que progresivamente aumentaba cuando la rodilla estaba flexionada y decrecía cuando la rodilla estaba extendida. La actividad pico de los gemelos ocurre cuando la rodilla está flexionada entre 60° y 90°. Debido a que el tobillo se dorsiflexa durante el descenso y se plantaflexa durante el ascenso, comúnmente se cree que el gemelo se contrae excéntricamente durante el descenso para ayudar a controlar el radio de dorsiflexión del tobillo, y concéntricamente durante el ascenso para ayudar a la flexión plantar del tobillo. De todas maneras, como el gemelo es un músculo bi-articular, su longitud puede no variar mucho durante la sentadilla, porque se acorta en la rodilla y se alarga en el tobillo durante el descenso, y se alarga en la rodilla y se acorta en el tobillo durante el ascenso.

También se ha investigado el efecto que produce la posición de los pies en la actividad de los cuádriceps, isquiotibiales y gemelos. Para ello, varios

estudios analizaron las distintas combinaciones posibles (los pies apuntando hacia delante, lo más para afuera posible y hacia adentro, 30° aproximadamente).

No se hallaron diferencias significativas en la actividad del cuádriceps, los isquiotibiales, y los gemelos entre las tres posiciones distintas de los pies.

Respecto de los efectos de amplitud de la posición de las piernas, se estudió la actividad de los músculos de la rodilla durante la sentadilla en una posición angosta vs. una posición amplia. Se registró que la actividad del gemelo era 21% mayor en la posición angosta comparada con la posición amplia. Asimismo, se señaló que no había diferencias significativas en la actividad de los cuádriceps y los isquiotibiales entre la posición angosta y la amplia durante la sentadilla, lo cual coincide con los resultados de otras investigaciones donde se utilizaron resonancias magnéticas inmediatamente después de haber realizado la sentadilla y tampoco se observó ninguna diferencia en la actividad del cuádriceps y de los isquiotibiales entre una posición de piernas angosta y una amplia (Escamilla, R.F., 2001).

▪ **Biomecánica del tren inferior**

Los ejercicios de cadena cinemática cerrada, como la sentadilla, tienen efectos biomecánicos en las extremidades inferiores y en particular en la articulación de la rodilla, que desarrollan fuerzas en torno a esta articulación y que es esencial conocer para su posterior análisis. Palmiter y col. han propuesto un modelo biomecánico de la extremidad inferior que cuantifica dos fuerzas críticas en la articulación de la rodilla (Palmiter, R., Kai-Nan, A., Scott, et al. 1991). Se produce una fuerza de cisión en una dirección posterior que haría que la tibia se desplazase en sentido anterior si no estuviera limitada por los tejidos blandos (principalmente el ligamento cruzado anterior). La segunda fuerza es una fuerza de compresión que sigue en dirección del eje longitudinal de la tibia. Los ejercicios en los que se soporta peso aumentan la compresión en la articulación de la rodilla, lo cual mejora su estabilidad.

Los ejercicios de cadena cinemática cerrada provocan la contracción de los isquiotibiales, creando un momento de flexión tanto en la cadera como en las rodillas, con los isquiotibiales contrayéndose para estabilizar la cadera mientras el cuádriceps estabiliza la rodilla. Un momento es el producto de fuerza por distancia desde el eje de rotación. Describe el efecto de giro producido cuando se ejerce una fuerza sobre el cuerpo que gira sobre un punto fijo.

La contracción de los isquiotibiales ayuda a contrarrestar la tendencia del cuádriceps a causar un traslado tibial anterior. La co-contracción resulta

especialmente eficiente a la hora de reducir la fuerza de cisión cuando la fuerza de resistencia se dirige en una orientación axial en relación a la tibia, como ocurre en un ejercicio donde se soporta peso (Prentice, W.E., Iriarte, E., 2000).

Varias investigaciones demostraron que la co-contracción ayuda a estabilizar la articulación de la rodilla y a disminuir la fuerza de cisión (Kaland, S., Sinkjaer, T., Arendt Nielsen, L., et al 1990). La tensión de los isquiotibiales se puede aumentar con una leve flexión anterior del tronco. Esta flexión desplaza el centro de gravedad en sentido anterior, disminuyendo el momento de flexión de las rodillas y reduciendo la fuerza de cisión en éstas y la compresión femoropatelar. Los ejercicios de cadena cinemática cerrada intentan minimizar el momento de flexión de la rodilla, al mismo tiempo que aumentan el momento de tensión en la cadera.

También se crea un momento de tensión del tobillo cuando se aplica la fuerza de resistencia a la parte inferior del pie. La planta del pie estabiliza la tensión del tobillo y crea un momento de extensión de la rodilla, que, una vez más, ayuda a neutralizar la fuerza de cisión anterior. De este modo, se recluta toda la cadena cinemática de la extremidad inferior, aplicando una fuerza axial al segmento distal.

En estos tipos de ejercicios, el momento de flexión aumenta a medida que la rodilla se flexiona, causando un aumento de la tensión del tendón rotuliano y del cuádriceps, y por tanto, un aumento de las fuerzas de reacción de la articulación femoropatelar. No obstante, la rótula tiene una superficie de contacto mucho más amplia con el fémur, y la tensión del contacto queda minimizada (Prentice, W.E., Iriarte, E., 2000).

▪ **Discusión sobre la flexión de la rodilla**

La sentadilla ha sufrido innumerable cantidad de críticas y se le otorga la capacidad de producir lesiones en la articulación de la rodilla. Uno de los primeros detractores de la sentadilla profunda fue el traumatólogo norteamericano Karl Klein, quien realizó una investigación con el fin de evaluar los efectos que produce la sentadilla en la estabilidad de la rodilla. Con este propósito, diseñó un dispositivo para cuantificar el movimiento lateral de la pierna con respecto al del muslo y, de esta manera, poder determinar la estabilidad de la rodilla. En función de la evidencia acumulada en varias fases del estudio, Klein concluyó que se debe desalentar el uso de la sentadilla profunda, especialmente como se utiliza en el entrenamiento de pesas, en atletas y en otros programas de acondicionamiento físico, debido al efecto perjudicial que produce en la estructura de los ligamentos de la rodilla.

No obstante, sugirió que el ejercicio debe modificarse de forma que los pies apunten hacia delante y el descenso se realice hasta la mitad de la

flexión de la rodilla. Esto permitirá que trabaje el músculo, pero sin generar estrés anormal en la estructura de los ligamentos articulares (Klein, K., 1962). Sin embargo, este estudio fue desestimado por otros investigadores dado que el autor utilizó un dispositivo de medición diseñado por él que no tiene validación científica.

Por otro lado, en el año 1971, Meyer utilizó el mismo dispositivo creado por Klein y no encontró diferencias significativas de estabilidad y flexibilidad en la rodilla en dos grupos que realizaban sentadilla profunda y media. Estos hallazgos invalidan las conclusiones realizadas por Klein (Cappa, D., 2000).

Con referencia a la problemática, algunos entrenadores manifestaron sus experiencias. Parker (preparador físico de Los Gigantes de Nueva York en 1992) dijo: "la sentadilla hará más para prevenir las lesiones de rodilla que cualquier otro ejercicio", y continúa: "muchos entrenadores creen que la sentadilla es peligrosa para la rodilla. Nada más lejos de la realidad". También destaca que este ejercicio es la base del entrenamiento en la actualidad y que lo será en el futuro. Poliquin (entrenador de Jadson Logan, lanzador de martillo en 1992), cuenta que su atleta padecía de dolores de rodilla durante los últimos ocho años; según Poliquin, el dolor era provocado por el uso continuado de la media sentadilla. En función de esto, cambió el ejercicio a sentadilla profunda y el dolor desapareció. Por último, J. Davies (1993) aportó: "la sentadilla debe hacerse tan lenta y profunda como sea posible" (Badillo, J.J., 2000).

Un tiempo después, se realizó una investigación donde se estudió el efecto sobre la traslación antero-posterior de la rodilla. Con este fin, se expuso a un grupo de futbolistas profesionales a un programa de entrenamiento, donde los voluntarios realizaban la sentadilla con una sobrecarga de 130-200% del peso corporal, dos veces por semana, durante 21 semanas. Se les examinó con un artrómetro (dispositivo que mide la flexibilidad de la articulación) los desplazamientos de la rodilla a 30 y 90 grados de flexión. Este estudio no demostró incrementos significativos en la traslación tibiofemoral antero-posterior en atletas usando el ejercicio de la sentadilla, a 30 y 90 grados como parte de su programa de entrenamiento de fuerza (Panariello, R.A., Backust, S.I., Parker, J.W., 1994).

Luego, Escamilla realizó una investigación bibliográfica con el propósito de examinar la biomecánica de la rodilla durante la ejecución de la sentadilla. En función de este estudio, el autor recomienda (para los atletas con rodillas sanas) realizar la media sentadilla por sobre la sentadilla profunda, ya que la sentadilla profunda tiene mayor probabilidad de producir lesiones en los meniscos y en los ligamentos cruzados y laterales (Escamilla, R.F., 2001).

Además, Fry y col. estudiaron la cinética de las rodillas en dos movimientos de sentadilla, cuando se restringe el movimiento (evitando que esta articulación supere la línea de los pies) vs. cuando dicho movimiento no es restringido. Este estudio surgió en función de las recomendaciones dadas por algunos autores, donde se establecía que las rodillas no debían superar la línea de los pies. Para ello, estudiaron a un grupo de atletas que realizaron los dos tipos de sentadilla, una con restricción en el desplazamiento anterior de la rodilla, y la otra sin ninguna restricción. Evaluando el torque de la rodilla y la cadera, concluyeron que la técnica utilizada puede afectar la distribución de fuerzas entre la rodilla y la cadera. Si bien restringir el desplazamiento de las rodillas hacia delante puede minimizar el estrés en las rodillas, es posible que la fuerza sea inapropiadamente transferida a la cadera y a la región baja de la espalda. De esta manera, una carga adecuada en las articulaciones durante el ejercicio puede requerir que las rodillas se muevan apenas pasando la línea de los dedos del pie (Fry, A.C., Smith, J.C., Schilling, B.K., et al: 2003).

3. Análisis del tronco

A los fines de estudiar el impacto que produce la sentadilla en la columna lumbar, en este apartado se analizará la estructura de la columna vertebral (composición y función), los músculos del tronco, la actividad en la flexión y el análisis biomecánico en este movimiento. También se analizarán los mecanismos que permiten reducir la presión de los discos intervertebrales, los límites de seguridad en los levantamientos de peso y qué es lo que sucede cuando se sobrecarga la columna vertebral (lumbalgia mecánica).

▪ La columna vertebral

La columna vertebral o raquis es un sistema dinámico compuesto por elementos rígidos (vértebras, elementos elásticos y discos intervertebrales). Este sistema mecánico tiene que reunir a la vez las cualidades de resistencia y de estabilidad, ya que debe absorber las presiones que sobre ella se ejercen tanto en los movimientos cotidianos como en los ejercicios físicos más intensos. Por lo tanto, la función de la columna vertebral es permitir el movimiento entre sus elementos (unidades funcionales), soportar peso y proteger a la médula y las raíces nerviosas.

La columna vertebral está compuesta por 33 vértebras, divididas en cuatro segmentos: 7 vértebras en la región cervical, 12 en la dorsal, 5 en la lumbar y 4 coccígeas.

Los cuerpos vertebrales se unen entre sí por medio de una anfiartrosis típica (articulaciones poco móviles, sin cavidad articular), en la que los cabos

óseos se encuentran unidos por unos discos fibrocartilagosos como también por un aparato ligamentoso.

El disco intervertebral tiene una porción central, denominada núcleo pulposo, una porción periférica denominada anillo fibroso y dos láminas cartilaginosas (superior e inferior) que se adhieren íntimamente a los extremos de los cuerpos vertebrales. El 70-90% del núcleo es agua, el 65% de su peso son proteoglucanos y el 15-20% es colágeno. La capacidad de resistir compresiones depende de su contenido de proteoglucanos.

Biomecánicamente, la naturaleza fluida del núcleo hace que, bajo compresiones, intente deformarse y transmitir la presión aplicada en todas direcciones.

El anillo fibroso está compuesto por capas concéntricas sucesivas de fibras de colágeno, ordenadas con 30 grados de inclinación hacia la derecha y la izquierda de forma alternante en cada capa, lo cual hace que sean prácticamente perpendiculares entre sí. Esta arquitectura lo hace capaz de soportar compresiones, pero está mal preparado para los cizallamientos. El anillo en la zona lumbar y cervical es más grueso en la parte anterior que en la parte posterior, debido a la lordosis existente en estas regiones. El agua es también el principal componente del anillo fibroso y representa el 60-70% de su peso. Asimismo, el colágeno constituye el 50-60% de su peso en estado seco.

El disco intervertebral desempeña múltiples funciones en la columna vertebral:

- **Función conectiva:** el anillo fibroso constituye un sólido medio de unión que complementa los ligamentos vertebrales comunes anteriores y posteriores.
- **Función distributiva:** de las líneas de fuerzas gravitatorias.
- **Función dinámica:** gracias a la gran deformabilidad de los discos intervertebrales, la columna puede movilizarse en los tres ejes (antero-posterior, transverso, longitudinal).
- **Función amortiguadora:** por sus características físicas, el disco actúa como un auténtico muelle frente a los impactos y esfuerzos que soporta el raquis. De acuerdo con las últimas investigaciones, la carga máxima (hasta la ruptura) es de 800 kg. (Miller Marrero, R.C., 2005).

■ Acciones musculares en la flexión del tronco

Los músculos posteriores, como los laterovertebrales (cuadrado lumbar y psoas) y los de la pared abdominal (recto anterior, transverso, oblicuo mayor y oblicuo menor), actúan directamente sobre los movimientos e indirectamente sobre su estabilidad. En este apartado se analizarán con una visión más mecánica que anatómica, haciendo

hincapié en la flexión del tronco, ya que en la sentadilla existe un desplazamiento del tronco hacia delante.

Los primeros 50 a 60° de flexión del tronco se producen a nivel de la columna lumbar. La flexión está favorecida por la báscula anterior de la pelvis y se inclina mediante la acción de la musculatura abdominal y del psoas. A partir de ahí, el peso de la parte superior del cuerpo contribuye a aumentar la flexión, mientras que el incremento gradual de la actividad de los músculos erectores controla esta flexión. Los músculos de la cara posterior de la cadera controlan la báscula anterior de ésta. La columna dorsal no desempeña un rol importante en la flexo-extensión.

Cuando la columna está flexionada, los músculos que se ocupan de extenderla no son los propios de la columna, sino los grandes músculos de la pelvis (glúteo mayor y menor), que la verticalizan. Estos músculos actúan hasta que la flexión se ha reducido lo suficiente y los paravertebrales toman el relevo. Los músculos traccionan lateralmente la fascia toraco-lumbar produciendo un momento extensor sobre las vértebras debido a la dirección oblicua de sus fibras. Las fibras de las láminas superficiales tienen una dirección caudomedial y las profundas la tienen craneomedial. Una tracción transversal tiende a aproximar las apófisis espinosas (como si se cerrase una pinza), creando así un momento extensor en toda la columna vertebral.

Fiodyd y Silver observaron que a partir de los 40 grados de flexión de la columna, los músculos lumbares estudiados mediante EMG dejan de actuar (fenómeno de la relajación muscular) y la estabilidad depende de la fascia toraco-lumbar (Miller Moreno, R.C., 2005).

■ Biomecánica de la flexión del tronco

Si en la posición de inclinación hacia delante sólo se considera la acción de los músculos raquídeos, el cálculo de las fuerzas que ejerce sobre el disco lumbosacro demuestra que éstas son considerables. De hecho, el peso de la parte superior del tronco junto con la cabeza se aplica a la altura del centro de gravedad parcial (P) localizado justo por delante de la décima dorsal. El peso (P_1) recae en el extremo de un brazo de palanca cuyo punto fijo se sitúa en el núcleo pulposo de L_5-S_1 . Para equiparar estas fuerzas, los músculos espinales que actúan sobre el brazo de palanca de 7 a 8 veces más corto, precisan una fuerza de 7 a 8 veces superior al peso (E_1). Estas fuerzas se pueden reducir en función del ángulo de inclinación del tronco hacia delante, que hace que la longitud del brazo de palanca sobre el que actúa P_1 aumente. De todos modos, la fuerza que se ejerce sobre el disco será igual a la suma de peso P_1 y E_1 y será tanto más adecuada cuanto más inclinado esté el tronco de este

individuo hacia delante y, sobre todo, teniendo el peso que lleva encima.

Por ejemplo: se calcula que para levantar una carga de 10 kg. con las rodillas flexionadas y el tronco derecho, la fuerza E_1 desarrollada por los músculos espinales es de 141 kg. La misma carga de 10 kg. con las rodillas extendidas y el cuerpo inclinado hacia delante desarrolla una fuerza E_1 de 256 kg. Si esta misma carga se levanta con los brazos extendidos hacia delante, la fuerza E_1 necesaria es de 363 kg. En este momento, según los autores, la fuerza que soporta el núcleo oscilaría entre 282 y 726 kg. pudiendo alcanzar los 1200 kg., lo que es claramente superior a las cargas de ruptura del disco intervertebral (800 kg. en sujetos sanos ante de los 40 años). Sin embargo, debe considerarse que la totalidad de la fuerza que se ejerce sobre el disco intervertebral no la soporta únicamente el núcleo.

Nachemson determinó la presión del interior del núcleo y demostró que cuando se ejerce una fuerza sobre un disco, el núcleo soporta el 75% de la carga y el anillo el 25% (siempre y cuando sus fibras de colágeno estén intactas y mantengan su capacidad de hidratación, el anillo se comporta como una masa sólida y sea capaz de soportar grandes pesos en forma pasiva). Por otra parte, el tronco en conjunto interviene para suavizar las presiones sobre el disco lumbosacro y los disco del raquis lumbar inferior (Kapandji, A.I., 1999).

▪ Mecanismos reductores de presión

Durante los esfuerzos de levantamiento, se desarrolla instintivamente una "presión abdominal", denominada maniobra de Valsalva. Ésta consiste en el cierre de la glotis y de todos los orificios abdominales, transformando así la cavidad abdominotorácica en una cavidad cerrada a la contracción de los músculos expiratorios, y en particular de los músculos abdominales. De este modo, la presión aumenta considerablemente en la cavidad abdominotorácica y la convierte en una viga rígida situada por delante del raquis que transmite las fuerzas a la cintura pélvica y al periné. La investigación de esta estructura inflable reduce de manera notable la compresión longitudinal en los discos: en el D_{12-L_1} decrece un 50% y en el disco lumbosacro un 30%. Por este mismo motivo, la tensión de los músculos espinales disminuye un 55%. Este mecanismo de hiperpresión toraco-abdominal es por lo tanto muy útil para suavizar las fuerzas que se ejercen sobre el raquis; sin embargo, sólo actúan durante poco tiempo. De hecho, el fenómeno de Valsalva provoca una apnea absoluta y causa importantes alteraciones circulatorias (hipertensión en el sistema venoso cefálico, disminución del retorno venoso al corazón, disminución del volumen de sangre contenido en las paredes alveolares, aumento de la resistencia en la circulación menor).

Tal situación no debe prolongarse indefinidamente y los esfuerzos de levantamientos de cargas pesadas sólo pueden ser breves e intensos. (Kapandji, A.I., 1999).

▪ Límites de seguridad en los levantamientos de peso

Dada la problemática existente sobre los efectos secundarios que producen los levantamientos de peso en la columna lumbar, el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacionales (NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health) estableció límites de seguridad para los levantamientos de peso.

El NIOSH considera a los levantamientos como toda aquella carga que se alza desde el piso. Los valores que se muestran a continuación hacen referencia a la compresión que se produce en los discos intervertebrales; por lo tanto, pueden tomarse como referencia para implementarla al ejercicio en estudio.

La determinación de los límites de seguridad en el levantamiento de peso se realiza comparando los esfuerzos, y se calculan mediante los modelos biomecánicos con las cargas máximas observadas en modo experimental en tejidos específicos de la columna. Si las lesiones internas calculadas que resultan de la aplicación de la carga externa conocida entran en los valores de los límites de la carga máxima observada experimentalmente, entonces el levantamiento se considera "seguro". Cuando los esfuerzos internos calculados exceden la capacidad de los tejidos, se puede esperar que ocurra una lesión. Por lo tanto, los modelos biomecánicos se pueden emplear para el desarrollo o la justificación de estrategias de control del riesgo que minimicen los esfuerzos calculados, manteniendo una zona de seguridad durante las actividades de levantamientos.

Para establecer los criterios de los niveles de seguridad de un levantamiento de peso, la ecuación del NIOSH emplea los siguientes criterios biomecánicos de acuerdo con una revisión bibliográfica. Estos criterios fueron:

- La articulación entre L_5 y S_1 es el nivel en el que se produce el mayor esfuerzo durante un levantamiento. La fuerza compresiva a este nivel constituye el vector de esfuerzo crítico.
- El criterio de la fuerza de compresión que establece un aumento del riesgo es de 350 kg. (Waters, T.R., Putz-Andersson, V., Garg, A., 1994).

Varios estudios muestran que, con una carga compresiva de 350 kg. sobre la columna lumbar, se comienzan a producir microfracturas en los platillos

vertebrales en menos del 1% de la población trabajadora masculina y en menos del 25% de los trabajadores durante tareas ocasionales del levantamiento de peso. Por otro lado, superar los 650 kg. es peligroso para la mayoría de los trabajadores (Grive, G., Boyling, J.D., Gwendolen, A., et al. 2007).

El mecanismo de las lesiones vertebrales bajo cargas compresivas se produce por el fallo de los platillos de los cuerpos vertebrales y de las trabéculas subyacentes conforme con el núcleo pulposo que se presiona en dirección superior e inferior. Es improbable que la magnitud de las fuerzas compresivas durante un único levantamiento ocasione una única rotura del platillo vertebral, y se ha afirmado que es más probable que las lesiones de este tipo sean acumulativas. Lotz y cols, estudiaron los efectos de las cargas compresivas mantenidas sobre la estructura del disco de los ratones, y observaron que la compresión se asociaba a una desorganización de la estructura del anillo, un aumento de la inestabilidad biomecánica (es decir, un aumento de la zona neutral), alteraciones en el colágeno y una menor celularidad. También apreciaron que una compresión mantenida producía una muerte celular en el núcleo y en la parte interna del anillo, posiblemente por los esfuerzos biomecánicos o por el entorno biomecánico desfavorable producido por la pérdida resultante de agua. Asimismo, detectaron que se observan cambios en la morfología del anillo y también un aumento de la inestabilidad biomecánica en las discopatías degenerativas humanas. Se ha propuesto que los efectos de las cargas compresivas mantenidas o repetitivas sobre el disco aceleran los fenómenos regenerativos del disco a través de los mecanismos biomecánicos y celular, incluso cuando se encuentren por debajo de los límites de compresión "seguros" desde el punto de vista biomecánico (Lotz, J.C., Colliou, O.K., Chin, J.R., et al. 1998).

Algunos científicos están en desacuerdo con el criterio para determinar los límites de seguridad en los levantamientos de peso, aportando que para dicho fin es necesario realizar más estudios. Sin embargo, otros proponen los criterios biomecánicos que se pueden emplear: el momento externo de la cadera, la fuerza de cizallamientos antero-posteriores, la fuerza de cizallamiento lateral y los parámetros cinemáticos del tronco (Grive, G., Boyling, J.D., Gwendolen, A., et al. 2007).

▪ **Lumbalgias mecánicas**

Como se mencionó anteriormente, la columna lumbar es básicamente una estructura de carácter mecánico que sostiene las cargas máximas de nuestro cuerpo. Aproximadamente el 90% de los padecimientos lumbares se corresponden con alteraciones de tipo mecánico de las estructuras

vertebrales, originados por un funcionamiento inadecuado de ese tramo del raquis. La mayoría de los síntomas atribuibles a la lumbalgia son causados por el desarrollo de procesos degenerativos, que en el hombre empiezan a partir de los 20 años. Estos cambios degenerativos comienzan en el anillo fibroso y resultan de desviaciones de la postura normal de ese tramo de la columna. Hay varias investigaciones que identificaron las posturas y los movimientos que originan tensión en la columna lumbar y aquellos que por el contrario la disminuyen. En muchas ocasiones, no existe una lesión estructural identificable, de modo que la lumbalgia mecánica puede ocurrir por desequilibrios y sobreesfuerzos de los miembros vertebrales.

Algunos científicos piensan que entre un 80 y 90% de la población padecerá una lumbalgia en algún momento de su vida (Maverro, F., Martínez, D., Torres, L., et al. 2005).

En el caso de los deportistas competitivos, es relativamente raro registrar casos de lumbalgia. Sin embargo, cuando ocurre puede incapacitar a un deportista o limitar su capacidad para competir con efectividad durante un período significativo de tiempo. Se define la lesión deportiva como un problema que hace que un deportista pierda, al menos, un día de entrenamiento o de competición; entonces, la lumbalgia se puede catalogar como una lesión deportiva. Las estadísticas recabadas por la Unidad de Medicina de la Universidad de Wake Forest durante los últimos cinco años muestran que los problemas de lumbares constituyen aproximadamente el 5% de todas las lesiones que hacen perder entrenamientos al deportista. La incidencia de la lumbalgia en el deportista recreativo es posiblemente más alta, ya que en su mayoría no son tan jóvenes ni poseen tan buena condición física como los deportistas profesionales.

Como la mayoría de los deportistas están bien entrenados, con buen tono en los músculos abdominales y paravertebrales, pocos experimentan lumbalgia por sobrecarga postural (el tipo más común en la población general). Los problemas lumbares en los deportistas bien entrenados tienden más bien a estar relacionados con su deporte.

En los deportes de contacto como por ejemplo el fútbol, el rugby, el baloncesto y el hockey, el traumatismo directo puede ser una causa significativa de lumbalgia. Estas condiciones predisponen a la espondilolisis y espondilolistesis, debido al aumento de la sobrecarga localizada sobre la pars interarticularis.

Los deportes que requieren entrenamiento de pesas significativo hasta esfuerzos máximos, tales como el culturismo o la halterofilia, pueden aumentar la carga sobre la columna lumbar y predisponer al deportista a problemas lumbares significativos (Sanches Pinilla, R.O., 1992).

Del análisis de los diferentes estudios de investigación se evidencia una relación directa entre la reiteración de ciertos gestos deportivos y la aparición de una afección determinada, de modo que se puede intuir que ciertos deportes son susceptibles de generar estas lesiones (Crespo, M.A., Martín, C., 1992).

4. Análisis de los defectos en la ejecución de la sentadilla

Arqueo de la espalda baja: Eric Cressey establece que este error técnico afecta al 60% de la población que concurre al gimnasio e intenta realizar la sentadilla. Básicamente, el arqueo se produce cuando el ejecutante posee los flexores de caderas hiperactivos y los abdominales y glúteos débiles, lo cual lleva a un giro anterior de la pelvis, acentuando la lordosis lumbar. También hay usualmente tensión de femorales y erectores espinales debido a la dominancia sinérgica. El ilíaco y recto femoral tienen inserción muy junta en el ilión, y el psoas mayor y menor en las vértebras L₁-L₂ y D₁₂, los discos intervertebrales y el sacro (el tensor de la fascia lata, el sartorio, y el complejo aductor también contribuyen). Cuando estos músculos están tensos, tiran la columna lumbar y la mitad de la pelvis hacia delante.

Excesiva aducción y rotación interna del fémur (giro interno de rodilla): éste es un problema que tiene origen en varios factores potenciales. Primero, y contemplando el escenario anterior, se puede notar que un tensor de la fascia lata y una banda iliotibial tensa vencen la función rotadora externa del glúteo mayor y provoca la rotación interna del fémur. Además, los aductores tensos y la resultante inhibición de abductores (especialmente el glúteo mediano y menor, porque el tensor de la fascia lata raramente se encuentra debilitado) pueden causar la inclinación de la rodilla hacia adentro. Es por estos mecanismos que se puede producir dolor en los ligamentos laterales de las rodillas. Más aún, cuando el glúteo está débil, varios músculos pequeños deben producir un trabajo mayor, como agente compensatorio.

Rotación externa y pronación (aplastamiento) del pie: esta dificultad está muy relacionada con el apartado anterior. Si el fémur, y por lo tanto, la tibia, están internamente rotados y uno debe permanecer balanceado (inadecuadamente), la compensación debe ocurrir más abajo de la cadena cinética, comenzando con la rotación externa del tobillo. Por lo tanto, los mismos músculos sobre activos e inhibidos implicados en la rotación interna del fémur y tibia usualmente contribuyen a la rotación externa del pie. En posición de cadena cinemática cerrada

como la sentadilla, la articulación subtalar hace pronación cuando la tibia rota internamente en el talus, permitiendo que el pie se aplane. Estos cambios estructurales están asociados con tensiones en los músculos que revierten la flexión plantar del pie, y su debilidad en los que intervienen y dorsiflexionan el pie.

Levantar los talones: para lograr un rango completo de movimiento en la sentadilla, debe haber suficiente rango de movimiento o dorsiflexión; los flexores plantares tensos interfieren con la dorsiflexión óptima, entonces los talones se levantan a fin de permitir al torso hacer lo que el tren inferior no le permite. En otros casos, los talones se levantarán aún sin tener flexores plantares tensos, porque las extremidades inferiores trabajan para compensar el rango de movimiento disminuido de la cadera debido a los flexores de cadera cortados. Obviamente, ambos escenarios deben evitarse porque la masa de la barra se coloca hacia delante y aumenta el riesgo de lesión, especialmente en la espalda baja.

Redondear la espalda baja: este defecto se produce por dos causas. Una es el exceso de tensión de los glúteos que limita la flexión de la cadera y aumenta la compensación lumbar. La otra se debe a la debilidad de los músculos paravertebrales en la región cervical que contribuye a acentuar la curvatura cifótica, lo cual dificulta mantener la posición de los hombros hacia atrás y abajo para crear una base firme de soporte sobre la cual apoya la barra. En otras palabras, la debilidad de los músculos paravertebrales impide mantener la columna derecha, a medida que aumenta la profundidad en el descenso.

Independientemente de la causa que produce este defecto, los entrenadores aconsejan aumentar la presión intra torácica; el aumento de la presión intra-abdominal es una forma segura de activar la estabilidad durante estos ejercicios (Anselmi, H., 2007).

▪ Valoración de la sentadilla

Si bien muchas personas que se dedican a la tonificación y musculación hablan muy bien de este ejercicio por su globalidad y la fuerza genérica que puede crear, otras advierten sobre su peligro potencial de provocar lesiones a nivel de la espalda baja y las rodillas (López Miñarro, P.A., 2002). No obstante, los detractores recomiendan que lo ideal para evitar lesiones en este ejercicio, es que el ejecutante disponga de:

- Una fuerza general aceptable, con una preparación específica de columna y abdominales.
- Una técnica excepcional, dirigida y supervisada por un profesional.

- Una clara necesidad de usarla, puesto que existen ejercicios alternativos que no requieren tantas precauciones previas y desarrollan los mismos grupos musculares.
- No tener, ni haber padecido, lesiones de espalda ni de rodillas.
- Tener muy claro la cantidad de peso con la que se aconseja trabajar, según los objetivos que esa persona plantee y la edad.

Por lo tanto, antes de recomendar libremente su práctica, el profesional debe pensar de forma global las ventajas y los inconvenientes del ejercicio, junto con la verdadera necesidad de realizarlo (Colado Sánchez, J.C., 2004). Sobre todo si se tiene en cuenta que las regiones de la columna vertebral (cervical, dorsal, lumbar) son zonas que acumulan excesiva tensión a lo largo del día, por lo que se debe evitar sobrecargarlas aún más por medio de ejercicios desaconsejados (López Miñarro, P.A., 2000).

En consecuencia, se debe considerar que existen justificadas razones por las que, para el grueso principal de la población, se desaconsejan determinadas posturas y en su lugar se ofrecen alternativas menos polémicas y más profesionales. Estas acciones preventivas sólo buscan disminuir el riesgo potencial de lesión que puede afectar negativamente tanto a la persona que realiza sus sesiones de entrenamiento con un enfoque de bienestar, como a aquella que busca un mayor rendimiento deportivo. De este modo, la opción más coherente y científica recomendada es buscar posiciones articulares armónicas, que permitan el mínimo riesgo de lesión (Colado Sánchez, J.C., 2004).

CONCLUSIONES

Si bien los profesionales de la salud, en una amplia mayoría, recomiendan realizar la media sentadilla por sobre la sentadilla profunda, no se encontraron estudios que establezcan una relación causal entre la sentadilla profunda y las lesiones de rodilla.

Con respecto a la flexión del tronco, se debe tener en cuenta que la presión de la sobrecarga recae sobre el disco intervertebral situado entre L₅-S₁, que dicho disco posee valores de compresión "seguros" y que, por encima de ellos, puede dañarse. También se demostró que los errores más frecuentes en la realización de este ejercicio se deben al desequilibrio de tensiones musculares, generando alteraciones mecánicas que imposibilitan una ejecución técnica correcta.

En vista de la evidencia recabada, podemos concluir que la sentadilla (en sus variantes media y profunda, con la carga ubicada sobre los hombros) no

es un ejercicio potencialmente lesivo siempre y cuando se realice correctamente. Para ello, el ejecutante debe encontrarse apto para realizarla.

Debido a que existe un gran porcentaje de sujetos que por lumbalgias, desequilibrio de la pelvis o ejecución técnica defectuosa, no pueden realizar sentadillas, este trabajo sugiere la búsqueda de un ejercicio alternativo, donde la cadena cinemática se encuentre cerrada (por los beneficios que permite) y que el peso no se encuentre sobre los hombros, para no sobrecargar la columna lumbar.

■ Aplicación práctica

Antes de incluir la sentadilla en un programa de ejercicios, el entrenador debe asegurarse de que la persona se encuentre apta para realizarla. Esto significa que tenga la cadera equilibrada, dado que un desequilibrio en esta zona le impediría lograr una correcta ejecución técnica. Por otro lado, se recomienda implementar los modelos biomecánicos para determinar la presión que se está ejerciendo sobre el disco intervertebral (L₅-S₁), para establecer a través de éste si la presión se encuentra o no dentro de los límites de seguridad. Por último, y para los sujetos que no se encuentren aptos para hacer la sentadilla, este trabajo propone la exploración de algún ejercicio alternativo (de cadena cinemática cerrada) que permita obtener beneficios similares a la sentadilla pero sin sobrecargar la columna vertebral.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anselmi, H.: Actualizaciones sobre entrenamiento de la potencia. Anselmi, Buenos Aires, 2007.
2. Badillo, J.J.: Programación del entrenamiento de la fuerza. Inde, España, 2000.
3. Cappa, D.: Entrenamiento de la potencia muscular. Cordoba, Adobe, 2000.
4. Chandler, T.J., Wilson G.D., Stone, M.H.: The effect of the squat exercise on knee stability. *Med Sci Sports Exerc.* 1989 Jun;21(3):299-303.
5. Colado Sánchez, J.C.: Fitness en las salas de musculación. Inde, Barcelona, 2004.
6. Crespo, M.A., Martín, C.: Afecciones traumáticas del deporte en los niños. Lesiones por uso y esfuerzo excesivo. *Archivos de Medicina del Deporte*, 1992, 42:153-144.
7. De Hegedüs, J.: Enciclopedia de la musculación deportiva. Argentina, Stadium, 1991.

8. Escamilla, R.F.: Knee biomechanics of dynamic squat exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Jan; 33(1):127-41. Review.
9. Fry, A.C., Smith, J.C., Schilling, B.K.: Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. *J Strength Cond Res.* 2003 Nov; 17(4):629-33
10. Grieve, G., Boyling, J.D., Jull Lance, G.A., et al.: *Terapia manual contemporánea.* España. Masson. 2007.
11. Kaland, S., Sinkjaer, T., Areadt-Neilsen, L., et al.: Altered timing of hamstring muscle action cruciate ligament deficient patients, *Am J Sport Med* 18(3), pág. 245-248, 1990.
12. Kapandji, A.I.: *Fisiología articular.* España, Médica Panamericana, 1999.
13. Klein, K.: The knee the ligaments. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 1962;44:1191-1193
14. Kulund, D.: *Lesiones del deportista.* España, Salvat, 1990.
15. Lambert, G.: *La musculación.* Argentina, Lidium, 1989.
16. López Miñarro, P.A.: *Ejercicios desaconsejados en la educación física.* Inde, Barcelona, 2000.
17. López Miñarro, P.A.: *Mitos y falsas creencias en la práctica deportiva.* Inde, Barcelona, 2002.
18. Lotz, J.C., Colliou, O.K., Chin, J.R., et al.: Compression induced degeneration of the intervertebral disc: an invivo mouse model and finite element study. *Spine* 1998; 23(23): 2493-2506
19. Maverro, F., Martinez, D., Torres, L., et al.: *Fisioterapeuta del servicio de salud de la comunidad de Madrid.* España, Mad-Eduforma, 2005.
20. Miller Marrero, R.C.: *Biomecánica clínica de los tejidos articulares del aparato locomotor.* España, Masson, 2005.
21. Palmiter, R., Kai-Nan, A., Scott., et al.: Kinetic chain exercise in knee rehabilitation, *Sport Med* 11(6), pág. 402-413, 1991.
22. Panariello, R.A., Backust, S.I., Parker, J.W.: The effect of the exercise on anterior-posterior knee transition in professional football players. *Am J Sport Med.* 1994 Nov-Dec; 22(6): 768-73
23. Pearl, B., Gary, T., Moran, P.H.: *La musculación.* Barcelona, Paidotribo, 2003.
24. Pearl, B.: *Tratado general de musculación.* Barcelona, Paidotribo, 1998.
25. Prentice, W.E., Iriate, E.: *Técnica de rehabilitación en la medicina deportiva.* España, Paidotribo, 2000.
26. Sánchez Pinilla, R.O.: *Medicina del ejercicio físico y del deporte para la atención de la salud.* Díaz de Santos. Madrid. 1992.
27. Waters, T.R., Putz-Andersson, V., Garg, A.: *Applications manual for the revised NIOSH lifting*

equation. National Institute for Occupational Safety and Health, Washington DC. Department of Health and Human Services (NIOSH) 1994; publication no. 94-11

