

Selected Papers from Impact

# Comparación entre la Sentadilla y la “Sentadilla a Una Pierna con Pie Lastrado” con respecto a la Actividad Electromiográfica, la Fuerza Resultante y la Sobrecarga

Miguel A Laborato<sup>1</sup>, Carolina Corradi<sup>2</sup> y Nicolás Vigario Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Investigación y Desarrollo, FORTIA, Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup>Laboratorio de Biomecánica Deportiva, CeNARD, Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup>Instituto Dr. José Ingenieros, Buenos Aires, Argentina

## RESUMEN

El propósito de este trabajo es determinar si el ejercicio que se desarrolló (Sentadilla a una Pierna con Pié Lastrado; S-1P-PL), permite realizar el mismo trabajo en la musculatura de las piernas, pero, sin sobrecargar la columna lumbar. Para este fin, se estableció si existieron diferencias significativas entre ambos ejercicios con respecto a la fuerza resultante (FR), la actividad electromiográfica (AEMG) y la sobrecarga (S). Siete voluntarios estudiantes de Educación Física (3 masculinos y 4 femeninos; de edad media de  $21,86 \pm 2,41$  años; masa corporal media de  $63,94 \pm 11,81$  kg; talla media de  $1,71, \pm 0,08$  m) participaron del estudio. Los sujetos realizaron el test de 10 RM, en ambos ejercicios, y, simultáneamente se les evaluó: el promedio de los picos de FR, el promedio general de la AEMG en los músculos: glúteo mayor, recto anterior, semimembranoso y paravertebrales, y la S para la sentadilla y la S-1P-PL. Los resultados P demostraron que no hubo diferencias significativas en cuanto a la AEMG del recto anterior ( $P=0,46$ ), semimembranoso ( $P=0,53$ ), glúteo mayor ( $P=0,23$ ) y FR ( $P=0,6$ ), con un  $\alpha=0,05$ . En cambio, si se observaron diferencias significativas en la AEMG de los paravertebrales ( $P=0,023$ ) y la sobrecarga ( $P=0,00$ ), siendo mayor en la sentadilla. Los hallazgos sugieren que el nuevo ejercicio (S-1P-PL) permite trabajar la musculatura del tren inferior con la misma intensidad que la sentadilla, pero sin sobrecargar la columna lumbar.

**Palabras Clave:** sentadilla, talonera lastrada, sentadilla a una pierna con pie lastrado, dinámica, actividad muscular, electromiografía

## INTRODUCCION

La sentadilla es uno de los ejercicios más comúnmente utilizados por los atletas para aumentar su rendimiento en el deporte. Este ejercicio multiarticular desarrolla los más poderosos y extensos músculos del cuerpo y tienen similitudes biomecánicas y neuromusculares con muchos movimientos deportivos, como la carrera y los saltos. (Escamilla, R. F. et al. 2001). Se considera un ejercicio de cadena cinética cerrada (Escamilla, R. F. et al. 1998; Wilk, K. E. et al. 1996) y es muy

recomendado y utilizado como ejercicio en recuperaciones de lesiones deportivas luego de una cirugía de ligamento cruzado anterior (Lutz, G. E. et al. 1993; Ohkoshi, Y. et al. 1991).

Pero también es un ejercicio polémico, ya que existen controversias generadas por kinesiólogos, traumatólogos y entrenadores, los cuales discuten los efectos colaterales que involucran a la columna vertebral y a las rodillas. Para los entrenadores, la sentadilla es el ejercicio más completo, considerando que las lesiones producidas, son el resultado de la mala ejecución técnica (Badillo, J.J., 2000; Cappa, D., 2000; Chandler, T.J., Wilson, G.D., Stone, M.H., 1989; Colado Sánchez, J.C., 2004). Mientras que los profesionales de la salud (kinesiólogos, traumatólogos, etc.) advierten sobre su peligro potencial de provocar lesiones a nivel de la espalda baja y rodillas (Klein, Kart, K., 1962; Kulund, D.N., 1990; López Miñarro, P.A., 2000; López Miñarro, P.A., 2002; Prentice, W.E., 1997).

La sentadilla ha sufrido innumerable cantidad de críticas y se le otorga en parte a la capacidad de producir lesiones en la articulación de las rodillas. Uno de los primeros detractores de la sentadilla profunda fue el traumatólogo norteamericano Karl Klein. Este realizó un trabajo de investigación (1962) con el propósito de evaluar los efectos que produce la sentadilla en la estabilidad de la rodilla. Para esto 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. Klein concluyó en función de la evidencia acumulada en varias fases del estudio, que se debe desalentar el uso de la sentadilla profunda, especialmente como se utiliza en el entrenamiento de pesas y como es utilizada en atletas u otros programas de acondicionamiento físico, por el efecto perjudicial que produce en la estructura de los ligamentos de la rodilla. No obstante, sugirió que el ejercicio debe ser modificado de forma que los pies apunten hacia adelante y el descenso se realice hasta la mitad de la flexión de la rodilla. Esto permitirá que trabaje el músculo, pero sin generar "stress" anormal en la estructura de los ligamentos articulares (Klein K, 1962). Por otro lado Meyers (1971), 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 media y profunda. Estos hallazgos sientan discrepancias y dudas en las conclusiones realizadas por Klein (Cappa D., 2000).

Por otro lado, Panariello (1994) realizó un estudio de investigación donde estudió el efecto sobre la traslación antero posterior de la rodilla. Para este fin, 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. A estos se les examinó con un "arthrometer" (dispositivo que mide flexibilidad de la articulación), los desplazamientos de la rodilla a 30° y 90° de flexión. Este estudio no demostró incrementos significativos ( $p < 0.05$ ) en la traslación tibiofemoral antero-posterior en atletas usando el ejercicio de la sentadilla, a 30 y 90° como parte de su programa de entrenamiento.

Escamilla et al. (1998) plantearon una investigación sobre los ejercicios de cadena cinética cerrada y abierta comparando la biomecánica de la rodilla y la actividad muscular implicada. Dado que normalizaron la actividad muscular como un porcentaje de la máxima contracción isométrica voluntaria, no se pueden comparar los resultados. Podríamos aclarar de esta investigación que la acción del recto anterior tiene diferentes acciones dependiendo del grado de flexión y/o extensión, o sea en las diferentes fases de la sentadilla.

Posteriormente, Escamilla et al. (2001) investigaron el efecto que produce la posición de los pies en la sentadilla. Para ello, se analizaron las distintas combinaciones posibles (los pies apuntando hacia delante, lo mas para afuera posible y hacia adentro, 30° aproximadamente). No hallaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la actividad del cuádriceps, isquiotibiales, y gemelos entre las tres posiciones distintas de los pies.

Otro científico que investigó sobre la biomecánica de la rodilla durante la ejecución de la sentadilla es Fry (2003). Este investigador estudió la cinética de las rodillas en dos momentos: cuando se restringe el movimiento (evitando que esta articulación supere la línea de los pies) vs. cuando no se restringe dicho movimiento. Este estudio surgió en función de las recomendaciones dadas por algunos autores donde proponían que las rodillas no debían superar la línea de los pies (Colado Sanchez J.C., 2004; López Miñarro P.A., 2000). Para esto, Fry et al. (2003) estudiaron a un grupo de atletas que realizó los dos tipos de sentadilla. A uno de los ejercicios se les limitó el movimiento de las rodillas para que no sobrepasen el nivel de los pies y, al otro no lo restringieron de ninguna manera. 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 adelante puede minimizar el "stress" en las rodillas, es posible que la fuerza sea inapropiadamente transferida a la cadera y a la región baja de la espalda; definiendo "stress" en las rodillas a una elevada participación de los ligamentos mediales, laterales, posterior y anteriores. De esta manera, una carga apropiada en las articulaciones durante el ejercicio puede requerir que las rodillas sean levemente movidas pasando la línea de los dedos del pie.

No obstante, muchos estudios mostraron actividades moderadas a elevadas del músculo cuádriceps durante la sentadilla (Escamilla, R. F. et al., 1998; Mccaw S.T. and Melrose D.R., 1999; Ninos J.C. et al., 1997; Signorile J.F. et al., 1995; Stuart M.J. et al., 1996; Wretenberg P., Feng Y., Arborelius U.P., 1996; Wretenberg P. et al., 1993) hallándose que el pico de

actividad se encuentra muy próximo a la máxima flexión de rodilla (Escamilla, R. F. et al., 1998; Isea J.A., Erickson J.C., Worrell T.W., 1997; Ninos J.C. et al., 1997; Signorile J.F. et al., 1994; Stuart M.J. et al., 1996; Wretenberg P. et al., 1993)

Independientemente de la pugna establecida entre ambos sectores, la sentadilla es un ejercicio que está contraindicado para personas que padecen lumbalgias y para aquellos que no poseen una técnica correcta. Teniendo en cuenta que los problemas en la zona lumbar constituyen aproximadamente el 5% de todas las lesiones que afectan a los deportistas, y que, esta cifra aumenta para los deportistas recreativos, existe un amplio porcentaje de sujetos (deportistas y no deportistas) que no puede realizar este ejercicio (Peterson, L., 1988).

Considerando el riesgo potencial que representa su ejecución, sobretodo para estos sujetos no deportistas, los traumatólogos y kinesiólogos recomiendan a los entrenadores y a los profesores de educación física que, antes de recomendar libremente a la sentadilla, piensen globalmente en las ventajas y desventajas del ejercicio junto con la verdadera necesidad de realizarlo (Colado Sánchez, J.C., 2004).

En función de las controversias existentes con respecto a la sentadilla, nos concentramos en la ejecución de un ejercicio alternativo que permita obtener las mismas ventajas de la sentadilla pero, sin sobrecargar la columna vertebral y que posea una ejecución técnica sencilla. De esta manera surgió la "Sentadilla a una pierna con pie lastrado (S-1P-PL)".

El propósito de este estudio es determinar si existen diferencias significativas entre la sentadilla y la " Sentadilla a una pierna con pie lastrado (S-1P-PL)" con respecto a: la fuerza resultante (FR), la actividad electromiográfica (AEMG) y la sobrecarga (S).

## MÉTODOS

### Procedimiento Experimental

Esta investigación de tipo cuantitativa, se lleva a cabo a través de un estudio transversal- correlacional, de diferencias entre grupos (Hernández Sampieri R., Fernández Collado C., Bapista Lucio P., 1997), orientado a descubrir si existen diferencias entre los ejercicios propuestos en las variables ya mencionadas. El mismo duró tres semanas, divididas en dos etapas: entrenamiento y evaluación. El entrenamiento fue realizado con estudiantes de la carrera de Educación Física en el gimnasio Sport Club (Nuñez) en 9 sesiones, teniendo como finalidad que los voluntarios:

- Aprendan la técnica del nuevo ejercicio.
- Se preparen físicamente para realizar una prueba máxima (10 RM).
- Elijan la pierna sobre la cual se tomarían los datos.
- Experimenten la evaluación en ambos ejercicios.
- Obtener los valores de 10 RM para cada voluntario en cada ejercicio.

La última sesión de entrenamiento se realizó el test de 10 RM en ambos ejercicios con el fin de cuantificar la carga máxima para cada voluntario. Se define carga en este caso a la cantidad de peso que puede movilizarse para cada uno de los ejercicios seleccionados.

La evaluación fue realizada en el Laboratorio de Biomecánica del C.e.N.A.R.D. (Centro Nacional de Alto Rendimiento Deportivo) en un mismo día sobre los dos ejercicios a evaluar, luego de un descanso total sobre la etapa de entrenamiento de 48 hs.

### Sujetos

Se reclutaron siete voluntarios (4 mujeres y 3 hombres), estudiantes de educación física (profesorado Inst. José Ingenieros), de edad media de 21,86 años con un desvío estándar de  $\pm 2,41$  años; masa corporal media de 63,94 kg con un desvío estándar de  $\pm 11,81$  kg; talla parada de 1,71 m con un desvío estándar de  $\pm 0,08$  metros. Se escogió esta muestra porque estos sujetos poseen una preparación física de base, que les permite realizar las evaluaciones propuestas en este trabajo. Y están familiarizados con las ejecuciones técnicas de los ejercicios de cadena cinética cerrada. Se utilizó una técnica de selección "no probabilística" (de sujetos voluntarios), porque la experiencia indica que para obtener resultados máximos en una evaluación, es indispensable contar con el compromiso del examinado, de lo contrario, los resultados no serían máximos y esto sesgaría el estudio. Ningún sujeto previamente tenía historia clínica de lesiones deportivas ni cirugías a nivel de las rodillas.

|                          | Hombres       | Mujeres |
|--------------------------|---------------|---------|
| Tamaño de la Muestra (n) | 3             | 4       |
| Edad (años)              | 21,86 ± 2,41  |         |
| Talla (m)                | 1,71 ± 0,08   |         |
| Masa corporal (kg)       | 63,94 ± 11,81 |         |

**Tabla 1.** Características de los sujetos. Los datos son presentados como valores medios ± desvío estándar.

## Tests Realizados

Los ejercicios que se realizaron en la evaluación fueron la sentadilla y la sentadilla a una pierna con pie lastrado (S-1P-PL).

### Técnica de 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, movilizand o la carga (lastre) sobre el tronco (nuca). La posición inicial del sujeto es parado en posición erguida. En un movimiento continuo, el sujeto desciende hasta una posición aproximada de 100° de flexión de rodilla y luego asciende hasta la posición erguida nuevamente.



**Figura 1.** Ejercicio de sentadilla con la carga ubicada por detrás (vista plano frontal).

### Técnica de S-1P-PL

En la posición inicial el ejecutante se encuentra parado con una pierna sobre un banco (de aprox. 60 cm de alto), de frente y sujeto con ambas manos al espaldar.

La otra pierna (libre) se encuentra extendida, al lado de la pierna de apoyo y fuera del banco. Sobre ésta, se coloca la talonera la cual permite cargarle el peso o lastre.

El ejercicio consiste en descender hasta que la rodilla llegue a 90° de flexión (la pierna libre no debe tocar el suelo), luego, ascender hasta la posición de partida. En todo el recorrido la rodilla apunta en la misma dirección a la que apuntan los pies y el ejecutante permanecerá sujeto al espaldar. La pierna libre (que lleva la talonera con el lastre), se encontrará extendida e inmóvil al lado de la pierna de apoyo. El tronco se mantendrá recto, paralelo al espaldar.



**Figura 2.** Ejercicio de sentadilla a una pierna con pie lastrado

Este ejercicio posee dos variantes para graduar la resistencia. La primera consiste en modificar la carga (peso incorporado a la Talonera Lastrada), y la segunda, cambiar el punto de sujeción al espaldar (a medida que baja el punto de apoyo por debajo de la línea de los hombros, la resistencia aumenta).

En cualquiera de las dos técnicas, la respiración consiste en inspirar en el descenso y exhalar en el ascenso.

### **Protocolo de Evaluación y Familiarización**

Para comparar el nivel de esfuerzo entre ambos ejercicios, se seleccionó el test de 10 repeticiones máximas (RM), para examinar el mismo nivel de intensidad en ambos ejercicios. Cada sujeto fue examinado y pretestado aproximadamente una semana antes de la sesión de evaluación, tomándose datos de masa corporal, talla y edad. Durante esta sesión de pretest, los sujetos se familiarizaron con el protocolo de evaluación y se realizó el test de 10 RM para cada ejercicio. Para esto se realizó una entrada en calor de 10 min de la musculatura implicada, del tren inferior en este caso). La prueba comienza con la realización de 10 repeticiones del ejercicio estipulado con el 60% de la carga máxima estimada para cada sujeto.

Una vez finalizadas las repeticiones, el ejecutante tiene un período de recuperación de 3 a 5 min., incluyendo breves períodos de estiramiento. A continuación, el ejecutante repite la serie, pero, con un incremento de peso. La carga va aumentando progresivamente en cada serie hasta llegar al punto en que, el ejecutante pueda realizar 10 repeticiones pero no 11. En ese momento finaliza la prueba y se toma como resultado la última carga levantada (Sanches O., Pinilla, R.,1992).

Adicionalmente, durante el pretest, cada sujeto practicó con cada sobrecarga asegurando una cadencia consistente y el rango de movimiento adecuado.

### **Protocolo**

Los sujetos (n=7) se presentaron el día 1 a las 10 de la mañana, realizaron la misma entrada en calor, por tandas, para evitar el enfriamiento mientras esperaban el turno de la evaluación. Se ubicaron los electrodos en el sujeto 1, que realizó las dos técnicas explicitadas anteriormente. De esta forma se obtuvieron los datos electromiográficos de ambas técnicas. Al realizar la técnica de S-1P-PL, sobre el banco ya estaba calibrada la plataforma de fuerza. Con lo cual ese mismo día se tomaron los datos de fuerza de esa técnica. Así se fue repitiendo el protocolo con los 7 sujetos.

Por razones de movilización de la plataforma y sus conexiones, la adquisición de los valores de fuerza en la técnica sentadilla se realizó al otro día. Cabe mencionar que sólo se tenían 2 plataformas y la técnica sentadilla se evaluaba en forma bipodal (un pie en cada plataforma). Este día sólo se presentaron 5 sujetos (dos se ausentaron por razones personales) siendo la razón por la cual en el análisis de las variables, la fuerza resultante sólo tiene  $n=5$ , no así las demás variables que tienen  $n=7$ .

### Instrumentación

Se utilizaron como materiales una barra olímpica de 20 kg, dos soportes para sostener la barra, un banco de 0,70 m de alto, una talonera lastrada graduable y pesas de distintos kilates (15, 10, 5, 2,5, 1,5 kg). La talonera lastrada es un producto diseñado por la empresa FORTIA ([www.productosfortia.com](http://www.productosfortia.com)); tiene ejes de carga en donde se ubican los discos, que pueden ser comunes y olímpicos. En este caso se utilizó el modelo preparado para discos olímpicos, con ejes de 50 mm y preparada para 2,5/5/10 kg.



**Figura 3.** Talonera lastrada utilizada en la evaluación

Para la toma de datos se implementaron distintos instrumentos de evaluación con el fin de cuantificar detalladamente el trabajo muscular realizado en estos ejercicios. El instrumental utilizado fue: plataforma de fuerza y un electromiógrafo de superficie.

**Plataforma de fuerza:** se utilizaron dos plataformas de fuerza (modelo OR6-6, AMTI, Watertown, Massachusetts), para medir la fuerza aplicada por el sujeto con cada una de sus piernas en la sentadilla y con la pierna no lastrada apoyada en el banco en el ejercicio S-1P-PL. Mientras los sujetos ejecutaban la sentadilla, sus dos pies estaban apoyados uno en cada plataforma, las cuales se encontraban a nivel del piso en el laboratorio de evaluación. Para la evaluación del ejercicio S-1P-PL, se colocó una plataforma sobre el banco en donde se apoyaba la pierna no lastrada. Cada plataforma brinda un sistema de análisis dinámico de movimiento que permite medir la fuerza que el pie ejerce sobre el plano de apoyo cada 0,001 seg. Estas plataformas utilizan una interface National Instrument ISA de adquisición de datos. La calibración de las mismas se realiza mediante el mismo software de adquisición de datos ya que tienen una calibración de fábrica y para mantener la calibración se mantienen siempre encendidas. Estas técnicas tienen sus fundamentos en la tercera ley de Newton (principio de acción- reacción). Toda fuerza aplicada sobre la plataforma (acción) producirá una fuerza proporcional a dicha fuerza aplicada (reacción) que se proyectará en los tres ejes del espacio (X-Y-Z): componente vertical (Z), antero posterior (X) y medio lateral (Y) (Jodar, X.A., et al 1998). La variable Fuerza Resultante (FR) fue calculada con el teorema de Pitágoras.

**Electromiógrafo de superficie:** se utilizó un electromiógrafo modelo MA 100 de Motion Lab Systems Inc., alámbrico de 8 canales. Tiene una interface que comparte con las plataformas de fuerza, siendo la National Instrument ISA de adquisición de datos. La sensibilidad es de  $\pm 2.5$  voltios. Este instrumento que permite grabar, amplificar y mostrar una señal neurofisiológica de baja amplitud en un ambiente de ruidos/interferencias (señales de alta amplitud).

El electromiógrafo puede amplificar selectivamente la señal emitida (voltaje) por nervios o músculos, atenuando los demás ruidos que los rodean. En otras palabras, mejora la relación "Señal/Ruido" (S/R). En los instrumentos modernos, la relación S/R es aumentada a través del desarrollo de sofisticados "hardware" (dispositivos físicos, tales como cables, amplificadores, etc) y de "software" (programas y algoritmos especiales que permiten procesar señales en computadoras)

(Johnson, E. W., Pease, W. S., Lew, H. L., 2007). Se ubicaron 4 electrodos en la parte media de los músculos analizados de una sola pierna y tronco. Los músculos evaluados fueron el recto anterior, semimembranoso, glúteo mayor y paravertebral. Para favorecer la toma de datos electromiográficos se esparció sobre los sectores mencionados un gel conductor y encima de ello el electrodo, sujeto por una tira de elástico con velcro para fijarlo en la posición requerida.

El hardware utilizado para la obtención de datos es de la empresa Win Laborat y la versión utilizada fue la 2.35, que arroja las señales emitidas por los canales necesarios por cada 0.001 de segundo. Luego se realizó el gráfico de dichos voltajes en función del tiempo. La variable AEMG, fue calculada con el promedio general de la actividad eléctrica para cada músculo.

*Registro visual:* a través de la observación y anotación, se llevó un registro de la carga total (kg) movilizada en cada ejercicio con cada uno de los sujetos evaluados. Se utilizaron un block de notas y una lapicera de tinta.

### **Familiarización con el protocolo**

El objetivo de esta familiarización fue lograr que los voluntarios conozcan los ejercicios y la prueba de evaluación (sobre todo con el aprendizaje técnico del ejercicio S-1P-PL) porque, el desconocimiento de la ejecución técnica de los ejercicios o del test de evaluación, producirían resultados no confiables.

En este período se trabajó sobre la técnica de los ejercicios y la progresión de la carga, preparándolos para realizar una prueba máxima. Considerando que para el análisis de datos solo se examinaba una pierna, se les pidió elegir con cual de ellas querían realizar el estudio. Una vez seleccionada, el acondicionamiento se realizó sobre dicha pierna. En el último día de entrenamiento, se realizó el test de 10 RM (en ambos ejercicios), con el fin de cuantificar la carga máxima para cada voluntario.

### **Análisis Estadísticos**

Debido a que el objetivo es la comparación de dos ejercicios, el tipo de investigación que se implementó es correlacional, de diferencias entre grupos. Como la distribución estadística de datos que se obtendría de cada ejercicio, era desconocida y dado el tamaño reducido de la muestra (número de voluntarios), se utilizó una prueba no-paramétrica "Prueba de Rangos con Signos de Wilcoxon" para cada variable. El criterio para establecer la significancia estadística fue  $\alpha < 0.05$ .

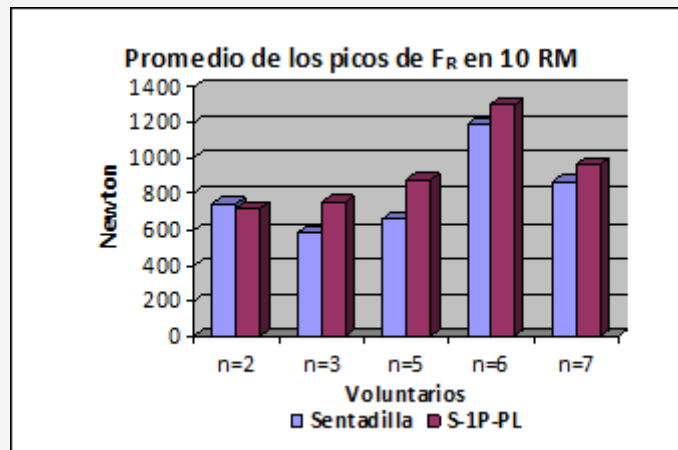
Las variables analizadas con esta prueba no-paramétrica fueron: AEMG del recto anterior, semimembranoso, glúteo mayor y paravertebrales; fuerza resultante (FR) y sobrecarga (S) para los dos ejercicios evaluados: la sentadilla y la S-1P-PL.

El programa utilizado para el tratamiento estadístico fue el Microsoft Excel 2003, con el complemento Herramientas de Análisis y Herramientas de Análisis VBA activadas. Los gráficos también fueron realizados con este programa.

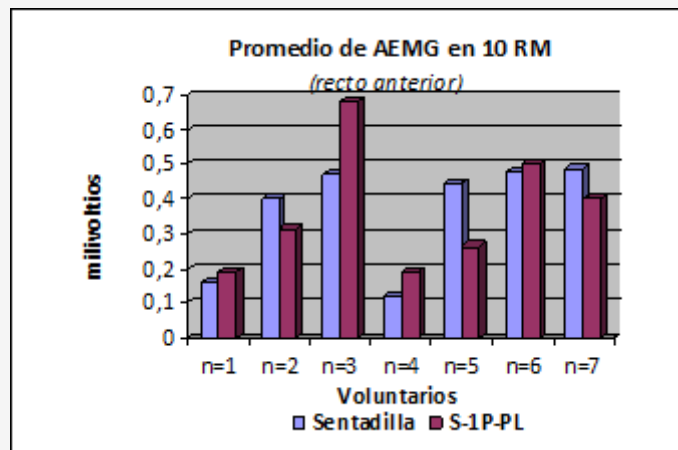
## **RESULTADOS**

---

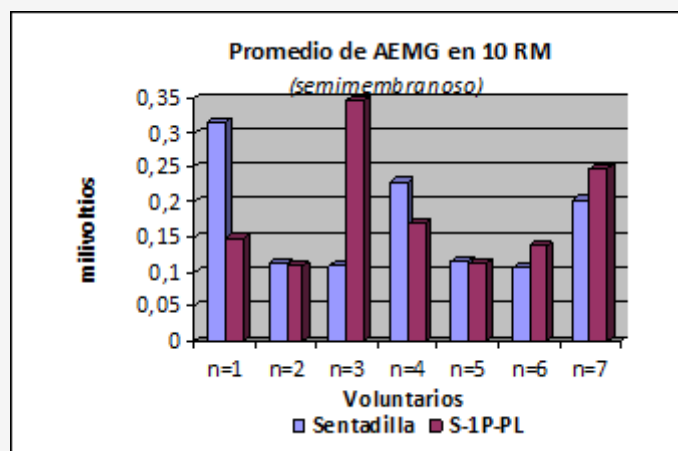
A fines de ser prácticos en este apartado se analizarán las variables de manera independiente en forma gráfica y en dos tablas en forma conjunta. Las tablas que se presentan a continuación, corresponden al formato del estadístico utilizado (Prueba de Rangos con Signos de Wilcoxon) y los datos para cada ejercicio se determinaron procesando la información de las pruebas de laboratorio.



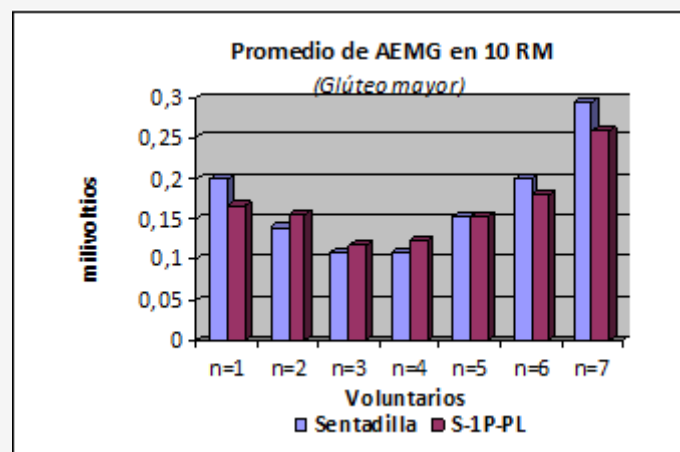
**Figura 4.** Diferencias de los promedios de picos de FR entre la sentadilla y la S-1P-PL. P- representa la probabilidad de que las diferencias entre las medianas sean igual a 0 ( $\alpha = 0.05$ ).



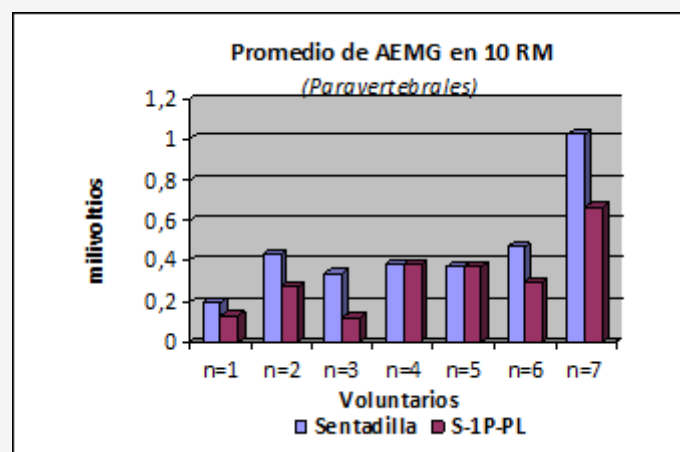
**Figura 5.** Representación del voltaje promedio en 10 RM, registrado en el músculo recto anterior, por cada voluntario, en ambos ejercicios (sentadilla y S-1P-PL).



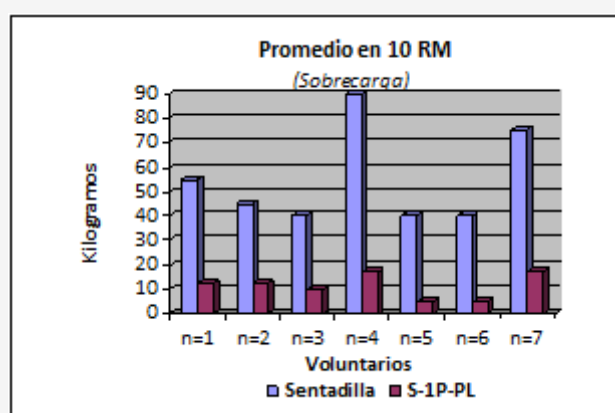
**Figura 6.** Representación del voltaje promedio en 10 RM, registrado en el músculo semimembranoso, por cada voluntario, en ambos ejercicios (sentadilla y S-1P-PL).



**Figura 7.** Representación del voltaje promedio en 10 RM, registrado en el músculo glúteo mayor, por cada voluntario, en ambos ejercicios (sentadilla y S-1P-PL).



**Figura 8.** Representación del voltaje promedio en 10 RM, registrado en los músculos paravertebrales, por cada voluntario, en ambos ejercicios (sentadilla y S-1P-PL).



**Figura 9.** Representación de la sobrecarga movilizada en 10 RM, por cada voluntario, en ambos ejercicios (sentadilla y

| TABLA DE DIFERENCIAS DE RANGO CON SIGNO DE WILCOXON |                                               |         |             |                 |                                                |         |             |                 |                                                |         |             |                 |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------|-------------|-----------------|------------------------------------------------|---------|-------------|-----------------|------------------------------------------------|---------|-------------|-----------------|
|                                                     | Promedio de los picos de $F_R$ 10 RM<br>(n=5) |         |             |                 | Promedio de AEMG en 10 RM (Recto anterior n=7) |         |             |                 | Promedio de AEMG en 10 RM (Semimembranoso n=7) |         |             |                 |
| Voluntarios                                         | Sentadilla                                    | S-1P-PL | Diferencias | Rango con signo | Sentadilla                                     | S-1P-PL | Diferencias | Rango con signo | Sentadilla                                     | S-1P-PL | Diferencias | Rango con signo |
| n=1                                                 |                                               |         |             |                 | 0.157                                          | 0.192   | -0.035      | -2              | 0.314                                          | 0.148   | 0.166       | 6               |
| n=2                                                 | 742                                           | 718     | 24          | 1               | 0.402                                          | 0.315   | 0.087       | 5               | 0.110                                          | 0.108   | 0.002       | 1               |
| n=3                                                 | 584                                           | 754     | -170        | -4              | 0.469                                          | 0.678   | -0.209      | -7              | 0.108                                          | 0.346   | -0.238      | -7              |
| n=4                                                 |                                               |         |             |                 | 0.123                                          | 0.193   | -0.070      | -3              | 0.229                                          | 0.169   | 0.060       | 5               |
| n=5                                                 | 653                                           | 878     | -225        | -5              | 0.448                                          | 0.264   | 0.184       | 6               | 0.116                                          | 0.110   | 0.006       | 2               |
| n=6                                                 | 1186                                          | 1305    | -119        | -3              | 0.475                                          | 0.504   | -0.029      | -1              | 0.105                                          | 0.138   | -0.033      | -3              |
| n=7                                                 | 865                                           | 970     | -105        | -2              | 0.487                                          | 0.402   | 0.084       | 4               | 0.202                                          | 0.248   | -0.046      | -4              |
|                                                     | W+ (Suma de rangos positivos) = 1             |         |             | p=0.06          | W+ (Suma de rangos positivos) = 14             |         |             | p=0.46          | W+ (Suma de rangos positivos) = 14             |         |             | p=0.53          |
|                                                     | W. (Suma de rangos negativos) = 14            |         |             |                 | W. (Suma de rangos negativos) = 13             |         |             |                 | W. (Suma de rangos negativos) = 14             |         |             |                 |

**Tabla 2.** Diferencias de FR, AEMG recto anterior y AEMG semimembranoso en 10 RM en la sentadilla y la S-1P-PL. P: representa la probabilidad de que las diferencias entre las medianas sean igual a 0 ( $\alpha = 0.05$ ).

| TABLA DE DIFERENCIAS DE RANGO CON SIGNO DE WILCOXON |                                      |         |             |                 |                                                 |         |             |                 |                                     |         |             |                 |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|---------|-------------|-----------------|-------------------------------------------------|---------|-------------|-----------------|-------------------------------------|---------|-------------|-----------------|
| Promedio de AEMG en 10 RM (Glúteo mayor n=7)        |                                      |         |             |                 | Promedio de AEMG en 10 RM (Paravertebrales n=7) |         |             |                 | Sobrecarga movilizada en 10RM (n=7) |         |             |                 |
| Voluntarios                                         | Sentadilla                           | S-1P-PL | Diferencias | Rango con signo | Sentadilla                                      | S-1P-PL | Diferencias | Rango con signo | Sentadilla                          | S-1P-PL | Diferencias | Rango con signo |
| n=1                                                 | 0.199                                | 0.166   | 0.033       | 6               | 0.200                                           | 0.130   | 0.070       | 3               | 55                                  | 12      | 43          | 5               |
| n=2                                                 | 0.138                                | 0.155   | -0.017      | -4.5            | 0.432                                           | 0.274   | 0.158       | 4               | 45                                  | 12      | 33          | 2               |
| n=3                                                 | 0.108                                | 0.116   | -0.008      | -2              | 0.340                                           | 0.123   | 0.217       | 6               | 40                                  | 9.5     | 31          | 1               |
| n=4                                                 | 0.109                                | 0.123   | -0.014      | -3              | 0.384                                           | 0.382   | 0.002       | 1               | 90                                  | 17      | 73          | 7               |
| n=5                                                 | 0.153                                | 0.152   | 0.001       | 1               | 0.366                                           | 0.369   | -0.004      | -2              | 40                                  | 5       | 35          | 3.5             |
| n=6                                                 | 0.198                                | 0.181   | 0.017       | 4.5             | 0.469                                           | 0.294   | 0.175       | 5               | 40                                  | 5       | 35          | 3.5             |
| n=7                                                 | 0.295                                | 0.258   | 0.037       | 7               | 1.027                                           | 0.662   | 0.365       | 7               | 75                                  | 17      | 58          | 6               |
|                                                     | W+ (Suma de rangos positivos) = 18,5 |         |             | P= 0.23         | W+ (Suma de rangos positivos) = 26              |         |             | P= 0.023        | W+ (Suma de rangos positivos) = 28  |         |             | P= 0.00         |
|                                                     | W. (Suma de rangos negativos) = 9,5  |         |             |                 | W. (Suma de rangos negativos) = 2               |         |             |                 | W. (Suma de rangos negativos) = 0   |         |             |                 |

**Tabla 3.** Diferencias de AEMG glúteo mayor, AEMG paravertebrales y sobrecarga movilizada en 10 RM en la sentadilla y la S-1P-PL. P: representa la probabilidad de que las diferencias entre las medianas sean igual a 0 ( $\alpha = 0.05$ ).

Teniendo en cuenta el análisis estadístico de las variables estudiadas, destacamos:

- No se encontraron diferencias significativas en la actividad electromiográfica (AEMG) de los músculos: recto anterior (P=0.46), semimembranoso (P=0.53) y glúteo mayor (P=0.23).

- Se observaron diferencias significativas con respecto a la actividad electromiográfica (AEMG) del músculo paravertebral ( $P=0.023$ ), siendo MENOR en la S-1P-PL.
- Con respecto a la sobrecarga, la S-1P-PL muestra un valor significativamente menor al correspondiente a la sentadilla. Esta reducción conjuntamente con la ubicación del lastre en el pie, beneficia la columna lumbar preservándola de acciones compresivas.
- Se observa una clara diferencia en los registros dinámicos demostrando que la S-1P-PL presenta valores de FR mayores que la sentadilla, pero debido al tamaño reducido de la muestra, esta diferencia no puede considerarse como significativa.

## DISCUSIÓN

Se trata de una investigación que busca proponer un ejercicio con las mismas finalidades desde el aspecto de entrenamiento y rehabilitación las evitando manifestaciones no tan positivas de la sentadilla. Es por esta razón que se hace imposible establecer una comparación con respecto a lo investigado con estudios científicos de la literatura.

La mayoría de los trabajos encontrados en la literatura analizan la sentadilla para observar la estabilidad de la rodilla, si es un ejercicio que puede hacer más estable o inestable esa articulación en conjunto con los ligamentos que la conforman y demás partes blandas; la mayoría de ellos también investigan sobre la actividad eléctrica de los músculos del muslo en las distintas fases de la sentadilla (Chandler T. J., 1989; Escamilla R. F., 1998, 2001; Fry A.C., 2003; Isear J.A., 1997; Klein K., 1962; Mccaw S.T., 1999; Meyers, E., 1971; Ninos J.C., 1997; Signiorile J.F., 1995, 1994; Wretenberg P., 1996, 1993).

Algunos trabajos se centraron en el estudio de la sentadilla, ya sea por la posición que adoptan los pies en su ejecución o el ancho de los mismos a través de su filmación y análisis en dos y tres dimensiones (Escamilla, R. F., 2001); como la comparación dinámica entre la sentadilla con el ejercicio en prensa variando el ancho, ángulo y desplazamiento de los pies (Escamilla, R. F., 2001).

Con respecto a la ejecución de la sentadilla, se han encontrado trabajos que se basan en 1 RM (Caterisano, A., 2002; Chandler, T.J., 1989; Escamilla, R. F., 1998, 2001; Isear J.A., 1997; Fry A.C., 2003; Ninos J.C., 1997; Signiorile J.F., 1994, 1995; Wretenberg P., 1993, 1996), con sujetos altamente entrenados. En esta investigación, al estar evaluando a sujetos estudiantes de educación física que sólo tienen un entrenamiento físico de base, el protocolo utilizado fue de 10 RM en los dos tipos de ejercicios explicados. La diferencia con los otros métodos de evaluación obliga a que no se realice con la máxima carga posible en 1RM. Cuando los sujetos son entrenados, su carga máxima se conoce y se puede utilizar directamente. Otras investigaciones centraron la comparación en ejercicios de cadena cinética abierta y cerrada (Escamilla, R. F., 1998; Lutz, G. E., 1993; Stuart M.J., 1996; Wilk, K. E., 1996). Pero nosotros utilizamos dos ejercicios de la misma cadena cinética.

## CONCLUSIÓN

En función de evidencias recopiladas, podemos concluir que la S-1P-PL es un ejercicio que permite trabajar la musculatura del tren inferior con la misma intensidad que la sentadilla, pero sin sobrecargar la columna vertebral. Si bien quedan estudios por realizar para conocer más detalladamente las características de este ejercicio (la capacidad máxima de la cadera de soportar peso, por ej.), hasta la actualidad (dos años de implementación) no se obtuvieron efectos negativos, como lesiones a nivel de articulaciones y músculos implicados.

### Aplicaciones Prácticas

Creemos que la S-1P-PL es un buen ejercicio alternativo para aquellos sujetos (deportistas y no-deportistas) que, por incapacidad de lograr una ejecución técnica correcta o por afecciones lumbares, no se encuentren aptos para realizar la sentadilla.

### Lineamientos para Futuras Investigaciones

Se podrían realizar futuros estudios acerca de la capacidad máxima de la cadera de soportar peso en la talonera lastrada y la actividad muscular que conlleva ese tipo de resistencias.

También podría hacerse un trabajo de investigación a largo plazo observando si los sujetos que ejecutan este tipo de sentadilla (S-1P-PL) observan efectos secundarios de este ejercicio y si los hubiera, investigar sobre las causas de las mismas.

Podría también hacer un paralelismo con estas conclusiones y aportar los datos cinemáticos en 3D de la S-1P-PL, observando las velocidades angulares y el desplazamiento de los segmentos. Y compararlos con los de la sentadilla propiamente dicha.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Carolina Corradi y Nicolás Vigario por formar parte del equipo para realizar este trabajo. Sus intervenciones fueron muy importantes, permitiendo que este trabajo pueda realizarse. Por otro lado, agradezco a Gustavo Represas por abrirnos las puertas del laboratorio y brindarnos todo su conocimiento y experiencia; también al Equipo IncuBA, perteneciente al Centro Metropolitano de Diseño (Ministerio de Economía y Desarrollo, C.A.B.A) por su apoyo y asistencia para realizar este proyecto. Por último, a mi familia por acompañarme en todo momento.

## REFERENCIAS

1. Badillo, JJ (2000). Programación del entrenamiento de la fuerza. *Capítulo 4, Inde, España*
2. Cappa D (2000). Entrenamiento de la potencia muscular. *Capítulo 4, Adobe, Argentina*
3. Caterisano A., Moss R., Pellingier T., Woodruff K., Lewis V., Booth W., Khandra T (2002). The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *J. Strength Cond. Res.* 16(3), 428-432
4. Chandler TJ, Wilson GD, Stone MH (1989). The effect of the squat exercise on knee stability. *Med Sci Sports Exerc.* 21(3):299-303
5. Colado Sánchez JC (2004). Fitness en las salas de Musculación. *Capítulo 3, Inde, Barcelona*
6. Escamilla R. F., Fleisig G. S., Glend S., Zheng N., Barrentine S. W., Stevens W., Wilk k., Andrews J. R (1998). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30(4):556-569
7. Escamilla R. F., Fleisig G. S., Zheng N., Barrentine S. W., Wilk K. E., and Andrews J. R (1998). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:556-569
8. Escamilla R. F., Glend S., Fleisig G. S., Lowry T., Barrentine S. W., III (2001). A three-dimensional biomechanical analysis of squat during varying stance widths. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33(6):984-998
9. Escamilla, R. F., Fleisig G. S., Zheng N., Lander J. E., Barrentine S. W., Andrews J. R., Bergemann B. W., and Moorman C. T., III (2001). Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33(9):1552-1566
10. Fry A.C., Smith J.C., Schilling B.K (2003). Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. *J Strength Cond Res.* 17(4):629-633
11. Hernández Sampieri R., Fernández Collado C., Bapista Lucio P (1997). Metodología de la Investigación. *Capítulo 7, McGrall-Hill, Colombia*
12. Isear J.A., Erickson J.C., Worrell T.W (1997). EMG analysis of lower extremity muscle recruitment patterns during an unloaded squat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29: 532-539
13. Jodar, X. A (1998). Biomecánica aplicada al deporte. *Capítulo 2, Universidad de León, España*
14. Johnson E. W., Pease W. S., Lew H. L (2007). Johnson's Practical Electromyography. *Chapter 2, Williams & Wilkins, EE UU*
15. Klein, Kart K (1962). The knee the ligaments. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 44:1191-1193
16. Kulund, DN (1990). Lesiones del deportista. *Capítulo 4, Salvat, España*
17. López Miñarro PA (2000). Ejercicios desaconsejados en la actividad física. *Capítulo 1, Inde, Barcelona*
18. López Miñarro PA (2000). Mitos y falsas creencias en la práctica deportiva. *Capítulo 1, Inde, Barcelona*
19. Lutz, G. E., Palmitier R. A., An K. N., and Chao E. Y (1993). Comparison of tibiofemoral joint forces during open-kinetic-chain and closedkinetic- chain exercises. *J. Bone Joint Surg. Am.* 75:732-739
20. Mccaw S.T., Melrose D.R (1999). Stance width and bar load effect on leg muscle activity during the parallel squat. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31(3):428-436
21. Meyers, E (1971). Effect of selected exercise variables on ligament stability and flexibility of the knee. *Research Quarterly*, 42(4), 411-422
22. Ninos J.C., Irrgang J.J., Burdett R., Weiss J.R (1997). Electromyographic analysis of the squat performed in self-selected lower extremity neutral rotation and 30 degrees of lower extremity turn-out from the self-selected neutral position. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 25:307-315
23. Ohkoshi, Y., Yasuda K., Kaneda K., Wada T., and Yamanaka M (1991). Biomechanical analysis of rehabilitation in the standing position. *Am. J. Sports Med.* 19:605-611
24. Panariello R.A., Backust S.I., Parker J.W (1994). The effect of the exercise on anterior-posterior knee transition in professional

- football players. *Am J Sport Med*, 22(6): 768-73
25. Peterson L (1988). Lesiones deportivas. *Capítulo 4, Jims, España*
  26. Prentice, WE (1997). Técnica de rehabilitación en la medicina deportiva. *Capítulo 7, Paidotribo, 1ª Edición, España*
  27. Sanches O., Pinilla, R (1992). Medicina del ejercicio físico y del deporte para la atención de la salud. *Capítulo 4, Diaz de Santos, Madrid*
  28. Signiorile J.F., Kwiatkowski K., Caruso J.F., Robertson B (1995). Effect of foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps muscles during the parallel squat and knee extension. *J. Strength Cond. Res.* 9:182-187
  29. Signiorile J.F., Weber B., Caruso J.F., Lowensteyn I., Perry A.C (1994). An electromyographical comparison of the squat and knee extension exercises. *J. Strength Cond. Res.* 8:178-183
  30. Stuart M.J., Meglan D.A., Lutz G.E., Gowney E.S., An K.N (1996). Comparison of intersegmental tibiofemoral joint forces and muscle activity during various closed kinetic chain exercises. *Am. J. Sports Med.* 24:792-799
  31. Wilk, K. E., Escamilla R. F., Fleisig G. S., Barrentine S. W., Andrews J. R., and Boyd M. L (1996). A comparison of tibiofemoral joint forces and electromyographic activity during open and closed kinetic chain exercises. *Am. J. Sports Med.* 24:518-527
  32. Wretenberg P., Feng Y., Arborelius U.P (1996). High and low bar squatting techniques during weight-training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:218-224
  33. Wretenberg P., Feng Y., Lindberg F., Arborelius U.P (1993). Joint moments of force and quadriceps activity during squatting exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 3:244-250