

La repetición máxima en el ejercicio de sentadilla: procedimientos de medida y factores determinantes

Repetition Maximum Squat: Measurement Procedures for Determining Factors

INMACULADA GARCÍA SÁNCHEZ

BERNARDO REQUENA SÁNCHEZ

Facultad del Deporte
Universidad Pablo de Olavide (Sevilla)

Correspondencia con autora

Inmaculada García Sánchez
igarcia@upo.es

Resumen

En la actualidad, investigadores y entrenadores utilizan la repetición máxima (1RM) en el ejercicio de sentadilla como la medida más identificativa y representativa de la máxima fuerza muscular en el movimiento de extensión de cadera y rodilla. El presente trabajo de revisión tiene el propósito de describir los procedimientos utilizados en investigación para evaluar la 1RM en el ejercicio de sentadilla y analizar los factores determinantes de su rendimiento. Con muestras de sujetos entrenados, en la mayoría de estudios revisados se utilizan protocolos de medida muy similares. Además, la heterogeneidad de los resultados publicados en relación al rendimiento obtenido en la 1RM se debe fundamentalmente a diferencias relacionadas con la edad y sexo de los ejecutantes, la técnica de ejecución del ejercicio de sentadilla y/o el historial de entrenamiento de fuerza de la muestra seleccionada según práctica deportiva.

Palabras clave: fuerza muscular máxima, una repetición máxima, ejercicio de sentadilla

Abstract

Repetition Maximum Squat: Measurement Procedures for Determining Factors

At present, researchers and trainers use one repetition maximum (1 RM) when doing squats as the most identifiable and representative measurement of maximum muscle strength in the movement of hip and knee extension. This review paper seeks to describe the procedures used in research to assess 1 RM in squats and analyze the determining factors for their performance. Using samples of trained subjects, very similar measurement protocols were used in most of the studies reviewed. Furthermore, the heterogeneity of published results in terms of performance in 1 RM is mainly due to differences in the age and sex of the athletes, the technical execution of the squat and/or the history of strength training of the selected sample based on the type of sport done.

Keywords: maximum muscle strength, one repetition maximum, squats

Introducción

La sentadilla es uno de los ejercicios más populares y utilizados para el desarrollo de la fuerza muscular que forma parte habitual de programas de rehabilitación y acondicionamiento físico (Abelbeck, 2002; Escamilla, 2001; Neitzel & Davies, 2000; Toutoungi, Lu, Leardini, Catini, & O'Connor, 2000). El ejercicio de sentadilla se puede definir como una actividad de cadena cinética cerrada que se ejecuta con una acción de empuje y que implica principalmente a la musculatura del tren inferior (Escamilla, Lander, & Garhammer, 2000; Siff & Verkhoshansky, 2000). Aunque las extremidades inferio-

res son las principales responsables del movimiento en la ejecución del ejercicio de sentadilla, las extremidades superiores y el tronco participan activamente garantizando la estabilidad del movimiento (Neitzel & Davies, 2000).

El concepto de fuerza aplicada se entiende como el resultado de la acción muscular sobre las resistencias externas que pueden ser el propio peso corporal o cualquier otra resistencia o artefacto ajeno al sujeto (González & Ribas, 2002). Por un lado, si la resistencia que se utiliza para medir la fuerza en el ejercicio de sentadilla se supera, pero solo se puede superar una vez, la fuerza que se mide (expresada en kilogramos) es la

fuerza dinámica máxima (FDM) y se la conoce como la repetición máxima (1RM) (Sale, 1991). Por otro lado, el valor de fuerza isométrica máxima (FIM) es el pico de fuerza que se mide cuando no hay movimiento porque la resistencia externa es insuperable y el sujeto aplica su máxima fuerza voluntaria (González & Ribas, 2002).

Mientras que la FIM se ha considerado tradicionalmente como la medida de referencia para establecer la máxima fuerza muscular, la mayoría de investigadores y entrenadores en la actualidad, conforme a los principios de especificidad del entrenamiento, utilizan la FDM como la medida más apropiada e identificativa de la fuerza máxima (Peterson, Alvar, & Rhea, 2006). Aunque hay algunos autores que han empleado el ejercicio de sentadilla isométrica para medir la fuerza máxima de las extremidades inferiores (p. ej., Newton et al., 2002), se podría afirmar que en la actualidad científica y deportiva lo más común entre investigadores y entrenadores es medir e identificar la FDM (1-3 RM) en el ejercicio de sentadilla como la medida más representativa de la máxima fuerza muscular en el movimiento de extensión de cadera y rodilla (Kraemer & Ratamess, 2004).

En el ámbito del entrenamiento deportivo y teniendo en cuenta la heterogeneidad de los resultados publicados en relación a la FDM (1RM) que se manifiesta en el ejercicio de sentadilla, los objetivos del presente estudio son: 1) describir los procedimientos o protocolos de medida que en la actualidad se emplean para evaluar la 1RM y 2) analizar los principales factores que determinan la capacidad del ejecutante para aplicar la máxima fuerza muscular (edad y sexo del ejecutante, técnica de ejecución del ejercicio de sentadilla e historial de entrenamiento de la muestra seleccionada).

Procedimientos para la medición de la repetición máxima en el ejercicio de sentadilla

Se ha revisado cómo la mayoría de estudios que han empleado muestras de deportistas entrenados para evaluar la FDM a través de la 1RM (p. ej., ver *tabla 1*), lo han hecho utilizando procedimientos de medida muy similares. Tomando como referencia la guía de la National Strength and Conditioning Association (Harman, Garhammer, & Pandorf, 2000), el protocolo para la medición de la 1RM se puede estructurar en tres partes bien diferenciadas: 1) calentamiento no específico y ejecución de ~10 repeticiones (rep) del ejercicio de sentadilla frente a

una resistencia ligera; 2) incremento progresivo de la intensidad de la carga en porcentajes de la 1RM estimada por el sujeto (5-6 rep al 60 %; 2-3 rep al 70 %; 1-2 rep al 80 %); 3) incremento progresivo de la carga en kg de peso (de 2 a 10 kg) hasta el fallo en la ejecución del sujeto (el último intento realizado correctamente con la máxima carga posible es el resultado que determina el valor de la 1RM).

En la *tabla 1* se resumen una serie de estudios representativos que en la última década han empleado el ejercicio de sentadilla para medir la FDM a través de la 1RM. En general se observa cómo todos los sujetos precisaron entre 2 y 6 intentos hasta que alcanzaron su 1RM, las recuperaciones entre intentos fueron completas y los resultados de FDM (1RM) se expresaron en valores medios absolutos (kg totales que levantan los sujetos) y/o relativos al peso corporal (kg que levantan los sujetos por kg de peso corporal).

Factores determinantes de la magnitud de la repetición máxima en el ejercicio de sentadilla

De los trabajos revisados (ver *tabla 1*), destaca la variabilidad en los resultados publicados puesto que se observa como la 1RM oscila en un rango de 63,5 a 305 kg en valores absolutos y de 0,98 a 3,07 kg/kg en valores relativos. Esta heterogeneidad en los datos puede deberse a diferencias relacionadas con la edad de los sujetos (Izquierdo et al., 1999; Newton et al., 2002), el sexo (Cotterman, Darby, & Skelly, 2005; Thomas et al., 2007), la técnica de ejecución del ejercicio de sentadilla (Cotterman et al., 2005; Harris, Cronin, & Hopkins, 2007; Harris, Cronin, Hopkins, & Hansen, 2008) y/o el historial de entrenamiento de fuerza de los sujetos según práctica deportiva (Baker & Newton, 2008; Izquierdo, Hakkinen, González, Ibañez, & Gorostiaga, 2002; McBride, Triplett-Mcbride, Davie, Abernethy, & Newton, 2003).

Edad y sexo del ejecutante

Se puede afirmar que uno de los factores que determinan la magnitud de la fuerza máxima aplicada durante un ejercicio de sentadilla, es la edad del sujeto ejecutante. Está comprobado cómo la fuerza máxima decrece con la edad y especialmente cuando se alcanzan los 60 años (Hakkinen, Hallinen, & Izquierdo, 1998; Hakkinen, Kraemer, & Kallinen, 1996; Hakkinen, Pastinen,

Estudio	Sujetos	Protocolo	Resultados (1RM) Valores medios (DE)
Cormie, Mccauley, Triplett y McBride, 2007	13 H (E, J) [7 JF, 2 ST, 2 V y 2 L]	1RM (MS) (1) Resistencia ligera (~10 rep). (2) Incremento progresivo de la carga en % de la 1RM-E. (3) Superado el 80-90%, incremento de 2 a 5 kg hasta el fallo del sujeto (3-5 intentos hasta alcanzar la 1RM)	170,4 ± 21,7 kg 1,9 ± 0,2 kg/kg
Izquierdo et al., 1999	47 H [26 ME y 21 EA]	1RM (MS) (1) Resistencia ligera (~10 rep). (2) Incremento progresivo de la carga en % de la 1RM-E. (3) Superado el 80-90%, incremento de 2 a 5 kg hasta el fallo del sujeto (4-5 intentos hasta alcanzar la 1RM)	ME: 117,5 ± 3,9 kg EA: 101 ± 5 kg
Izquierdo, Hakkinen, Gonzalez, Ibañez y Gorostiaga, 2002	70 H (E, J) [11 Ha, 19 JBa, 18 C, 10 CMD y 12 Es]	1RM (MS) (1) Resistencia ligera (~10 rep). (2) Incremento progresivo de la carga en % de la 1RM-E. (3) Superado el 80-90%, incremento de 2 a 5 kg hasta el fallo del sujeto (4-5 intentos hasta alcanzar la 1RM)	Ha (1540,2 ± 176 kg y 19,23 ± 0,77 kg/kg) Jba (1334 ± 157 kg y 16,28 ± 1,26 kg/kg) C (1314,5 ± 176 kg y 18,54 ± 2,75 kg/kg) CMD (1069 ± 108 kg y 16,09 ± 1,37 kg/kg) Es (1030 ± 49 kg y 14,52 ± 1,37 kg/kg)
Zink, Perry, Robertson, Roach y Signorile, 2006	12 H (E, J)	1RM (MS) (1) 30% 1RM-E (8-10 rep); 50% 1RM-E (4-6 rep); 70% 1RM-E (2-4 rep); 90% 1RM-E (1 rep). (2) Superado el 90%, incremento de 2 a 10 kg hasta el fallo del sujeto (3-4 intentos hasta alcanzar la 1RM/3 min descanso)	175,14 ± 30,6 kg 1,87 ± 0,21 kg/kg
McBride, Triplett-Mcbride, Davie, Abernethy y Newton, 2003	20 H (E, J) [5 Es, 5 Ha, 5 LP y 5 V]	1RM (MS) (1) 30% 1RM-E (8-10 rep); 50% 1RM-E (4-6 rep); 70% 1RM-E (2-4 rep); 90% 1RM-E (1 rep). (2) Superado el 90%, incremento de 2 a 10 kg hasta el fallo del sujeto (3-4 intentos hasta alcanzar la 1RM/3 min descanso)	Es (151,0 ± 14,8 kg) Ha (249 ± 24,2 kg) LP (214,0 ± 12,3 kg) V (173,0 ± 19,0 kg)
Baker et al., 2001	48 H (E, J) [24 JRNP y 24 JRP]	1RM (SC) (1) Resistencia ligera (~10 rep). (2) Incremento progresivo de la carga en % de la 1RM-E. (3) Superado el 80-90%, incremento de 2 a 10 kg hasta el fallo del sujeto (3-5 intentos hasta alcanzar la 1RM)	JRNP (147,6 ± 25,2 kg) JRP (161,2 ± 16,9 kg)
Baker y Newton, 2008	40 H (E, J) [20 JRD1 y 20 JRD2]	1RM (MS) (1) Resistencia ligera (~10 rep). (2) Incremento progresivo de la carga en % de la 1RM-E. (3) Superado el 80-90%, incremento de 2 a 10 kg hasta el fallo (3-5 intentos hasta alcanzar la 1RM)	JRD1 (175,0 ± 27,3 kg); JRD2 (149,6 ± 14,3 kg)

FDM = fuerza dinámica máxima; 1RM = una repetición máxima; 1RM-E = una repetición máxima estimada; kg = kilogramo; DE = desviación estándar; H = hombres; M = mujeres; E = entrenados; J = jóvenes; JF = jugadores fútbol; ST = saltadores de triple; V = velocistas; L = lanzadores; ME = mediana edad; EA = edad avanzada; Ha = halterófilos; Jba = jugadores balonmano; C = ciclistas; CMD = corredores media distancia; Es = estudiantes; LP = levantadores de pesos; JR = jugadores rugby; JRNP = jugadores rugby no profesionales; JRP = jugadores rugby profesionales; JRD1 = jugadores rugby primera división; JRD2 = jugadores rugby segunda división; JB = jugadores baloncesto; S = sentadilla; MS = media sentadilla; SC = sentadilla completa; SS = sentadilla split; rep = repeticiones; min = minutos; % = porcentaje; ~ = aproximadamente.

▲
Tabla 1

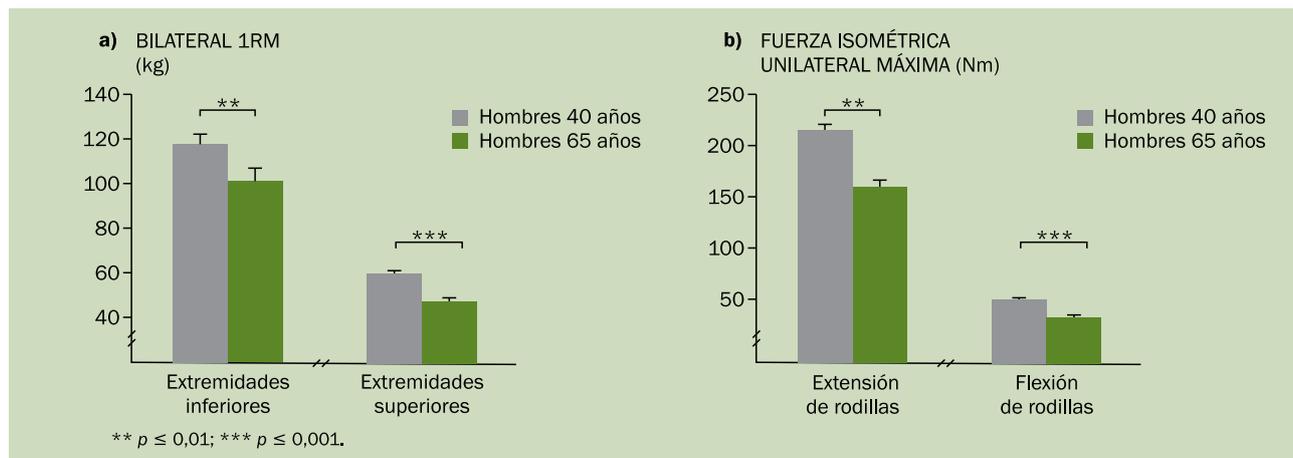
Resumen de estudios en los que se ha empleado el ejercicio de sentadilla para medir la FDM a través de la 1RM

Estudio	Sujetos	Protocolo	Resultados (1RM) Valores medios (DE)
Wisloff et al., 2004	17 H (E, J) [JF]	1RM (MS) (1) Resistencia ligera (~10 rep). (2) Incremento progresivo de la carga en % de la 1RM-E. (3) Superado el 80-90%, incremento de 2 a 10 kg hasta el fallo (3-6 intentos hasta alcanzar la 1RM)	171,7 ± 21,2 kg 2,2 ± 0,3 kg/kg
Thomas et al., 2007	19 H (E, J) 14 M (E, J) [JF]	1RM (MS) (1) 40-60% 1RM-E (5-10 rep); 60-80% 1RM E (2-3 rep). (2) 3-5 intentos hasta alcanzar la 1RM (3 min descanso)	H: 121,0 ± 22,5 kg M: 83,2 ± 12,6 kg
Harris, Cronin y Hopkins, 2007	18 H (E, J) [JR]	1RM (S 110°) (1) Resistencia ligera (~10 rep). (2) Incremento progresivo de la carga en % de la 1RM-E. (3) Superado el 80-90%, incremento de 2 a 10 kg hasta el fallo del sujeto (2-3 intentos hasta alcanzar la 1RM)	280 ± 50kg 2,67 ± 0,46 kg/kg
Harris, Cronin, Hopkins y Hansen, 2008	30 H (E, J) [JR]	1RM (S 110°) (1) Resistencia ligera (~10 rep). (2) Incremento progresivo de la carga en % de la 1RM-E. (3) Superado el 80-90%, incremento de 2 a 10 kg hasta el fallo del sujeto (2-3 intentos hasta alcanzar la 1RM)	305 ± 46,6 kg 3,07 ± 0,48 kg/kg
Sleivert y Taingahue, 2004	30 H (E, J) [27 JR y 3 JB]	1RM (MS) y 1RM (SS 100°) (1) 50% 1RM-E (2X5 rep); 80% 1RM-E (1 rep); 90% 1RM E (1 rep) (2) máximo de 5 intentos con incremento de 5 a 10 kg hasta alcanzar la 1RM (15 min descanso)	ST (149,5 ± 22,6 kg) SS (206,6 ± 34,4 kg)
Cotterman, Darby y Skelly, 2005	16 H 16 M (J)	1RM (S –barra guiada vs. barra libre–) (1) 50% 1RM-E (8-10 rep); 75% 1RM-E (3-5 rep); 1RM-E (3-4 rep) (2) Una serie de intentos con incremento de 2,5 a 10 kg hasta el fallo del sujeto (2-3 min descanso)	Barra libre Barra fijada H: 168,2 ± 32,2 kg H: 171,5 ± 35,7 kg M: 80,4 ± 17,2 kg M: 86,6 ± 13,8 kg
Petterson, Alvar y Rhea, 2006	19 H (E, J) 36 M (E, J)	1RM (MS) (1) Resistencia ligera (~10 rep). (2) Incremento progresivo de la carga en % de la 1RM-E. (3) Superado el 80-90%, incremento de 2 a 10 kg hasta el fallo del sujeto (3-5 intentos hasta alcanzar la 1RM)	H: 155,77 ± 23,98 kg M: 85,79 ± 16,38 kg H: 1,85 ± 0,29 kg/kg M: 1,27 ± 0,22 kg/kg
McGuigan, Ghiagiarelli y Tod, 2005	10 H (E, J) 10 M (E, J)	1RM (MS) (1) 30% 1RM-E (8-10 rep); 50% 1RM-E (4-6 rep); 70% 1RM-E (2-4 rep); 90% 1RM-E (1 rep). (2) Superado el 90%, incremento de 2,5 a 10 kg hasta el fallo del sujeto (3-5 intentos hasta alcanzar la 1RM)	H: 148,6 ± 36,9 kg M: 63,5 ± 19,3 kg/kg

FDM = fuerza dinámica máxima; 1RM = una repetición máxima; 1RM-E = una repetición máxima estimada; kg = kilogramo; DE = desviación estándar; H = hombres; M = mujeres; E = entrenados; J = jóvenes; JF = jugadores fútbol; ST = saltadores de triple; V = velocistas; L = lanzadores; ME = mediana edad; EA = edad avanzada; Ha = halterófilos; Jba = jugadores balonmano; C = ciclistas; CMD = corredores media distancia; Es = estudiantes; LP = levantadores de pesos; JR = jugadores rugby; JRNP = jugadores rugby no profesionales; JRP = jugadores rugby profesionales; JRD1 = jugadores rugby primera división; JRD2 = jugadores rugby segunda división; JB = jugadores baloncesto; S = sentadilla; MS = media sentadilla; SC = sentadilla completa; SS = sentadilla split; rep = repeticiones; min = minutos; % = porcentaje; ~ = aproximadamente.

Tabla 1 (Continuación)

Resumen de estudios en los que se ha empleado el ejercicio de sentadilla para medir la FDM a través de la 1RM

**Figura 1**

Media y desviación estándar. a) Una repetición máxima (1RM) en la ejecución bilateral del ejercicio de media sentadilla y press de banca. b) Fuerza isométrica máxima en la extensión y flexión de la rodilla en hombres de mediana edad (40 años) y mayores (65 años). (Reimpreso de Izquierdo et al., 1999)

Karsikas, & Linnamo, 1995; Narici, Bordini, & Cerretelli, 1991; Skelton, Greig, Davies, & Young, 1994; Vandervoort & McComas, 1986). Así, por ejemplo, Skelton, Greig, Davies y Young (1994) demostraron que la FIM disminuía entre un 1 y un 2 % al año en un grupo de hombres de ~65 años.

En esta línea de investigación, se han revisado solo dos estudios (Izquierdo et al., 1999; Newton et al., 2002) que han comparado la fuerza máxima producida en el ejercicio de sentadilla en grupos de sujetos de diferentes edades. Newton et al. (2002) midieron en un grupo de sujetos jóvenes ($29,75 \pm 5,34$ años) y mayores ($61 \pm 4,40$ años) la FIM que se producía en una sentadilla (90° de flexión de rodillas) antes y después de aplicar un programa de entrenamiento de fuerza que duró 10 semanas. Estos autores comprobaron cómo los jóvenes aplicaron un 60 % más de fuerza que los mayores antes y después del entrenamiento (antes: 1040N vs. 661N; después: 1318N vs. 820N). Tras el programa, la FIM en el ejercicio de sentadilla se incrementó de una forma significativa tanto en el grupo de jóvenes como en el de mayores. Esta ganancia estuvo acompañada de incrementos significativos en la activación neural voluntaria de la musculatura del cuádriceps. El entrenamiento de fuerza progresivo pudo llevar no solo al aumento en la activación de la musculatura agonista sino también a efectos de aprendizaje traducidos en términos de reducción en la co-activación agonista/antagonista (Carolan & Cafarelli, 1992; Hakkinen et al., 1998).

Izquierdo et al. (1999) midieron la 1RM en el ejercicio de sentadilla (desde 90° de flexión de rodillas) a 26 hombres de mediana edad (~40 años) y a 21 de edad avanzada (~65 años). Los sujetos de mediana edad levantaron una media de $117,5 \pm 3,9$ kg mientras que el resultado obtenido por los mayores fue de 101 ± 5 kg (fig. 1). Además, estos autores evaluaron la FDM producida en el ejercicio de sentadilla unilateral (desde los 70° de flexión de rodilla y hasta que el sujeto alcanzaba una extensión mínima de 170°). El valor de la 1RM en la sentadilla unilateral fue significativamente mayor ($p \leq 0,001$) en el grupo de hombres de mediana edad (75 ± 10 kg) que en el grupo de hombres mayores (55 ± 10 kg). Izquierdo et al. (1999) completaron el estudio midiendo la FIM de los extensores y flexores de la rodilla de la pierna derecha; mostrando que los valores de fuerza producidos en el grupo de mediana edad fueron también mayores ($p \leq 0,01$) que los producidos en el grupo de mayores (fig. 1).

Los resultados obtenidos por Newton et al. (2002) e Izquierdo et al. (1999) soportan la noción de que con la edad se produce una disminución de la capacidad de generar fuerza máxima. Con los años se produce una pérdida de masa muscular como consecuencia de una reducción en el tamaño y/o una pérdida de fibras musculares, especialmente de fibras de contracción rápida (Lexell, Henriksson-Larsen, Winblad, & Sjostorm, 1983; Lexell, Taylor, & Sjostorm, 1988). La combinación de los efectos propios de la edad con unos niveles

	Media \pm DE		Diferencia media
	SM	FW	
Sentadilla			
• Hombres	171,5 \pm 35,7	168,2 \pm 32,2	3,28
• Mujeres	86,6 \pm 13,8	80,4 \pm 17,2	6,25
Total	129,0 \pm 50,6	124,3 \pm 51,3	4,77
Press de banca			
• Hombres	100,6 \pm 17,6	112,9 \pm 18,8	-12,34
• Mujeres	34,2 \pm 8,3	43,7 \pm 9,2	-9,51
Total	67,4 \pm 36,3	78,3 \pm 38,0	-10,93

Tabla 2
Media y desviación estándar (DE) de los resultados obtenidos en la ejecución de la repetición máxima (1RM) en el ejercicio de sentadilla y press de banca por parte de una muestra de 32 sujetos entrenados (16 hombres y 16 mujeres) en una Smith Machine (SM) y con pesos libres (FW). (Modificado de Cotterman et al., 2005)

de actividad física que son cada vez más bajos y/o de menor intensidad (Evans & Campbell, 1993) provocan que las fibras de contracción rápida muestren una mayor desinervación y atrofia que las fibras de contracción lenta (Faulkner & Brooks, 1995). En este sentido, una reciente revisión (Galvao, Newton, & Taaffe, 2005) recoge cómo el entrenamiento sistemático de fuerza interviene de forma eficaz contra la sarcopenia sugiriendo que es una de las forma más efectivas de inducir adaptaciones anabólicas tanto en hombres como en mujeres mayores (> 60 años).

Otro factor que determina la magnitud de la capacidad de generar fuerza máxima en el ejercicio de sentadilla es el sexo del ejecutante. Los resultados publicados en los estudios representativos que se recogen en la *tabla 1* muestran que el valor medio de la 1RM obtenido por los hombres supera al obtenido por las mujeres (151,67 \pm 31,45 kg vs. 79,89 \pm 15,73 kg) (Cotterman et al., 2005; McGuigan, Ghiagiarelli, & Tod, 2005; Peterson et al., 2006; Thomas et al., 2007). Este hecho no sorprende si se tiene en cuenta que las mujeres con respecto a los hombres son capaces de producir niveles de fuerza inferiores (Lynch et al., 1999; Newman et al., 2006) debido fundamentalmente a que tienen una superficie de grasa subcutánea mayor y presentan, tanto en las extremidades superiores como en las inferiores, una masa muscular inferior (Goodpaster et al., 2001). Es decir, se podría afirmar que las características antropométricas y fisiológicas que diferencian a hombres de mujeres (p. ej., peso, talla y composición corporal) influyen claramente en la producción de los niveles más bajos de fuerza máxima en el sexo femenino (Cotterman et al., 2005).

Técnica de ejecución del ejercicio de sentadilla

En cuanto al tipo de equipamiento empleado para medir la producción de fuerza máxima, Cotterman et al. (2005) determinaron los efectos de las variables independientes sexo y tipo de equipamiento sobre la variable dependiente 1RM para el ejercicio de sentadilla (ver *tabla 2*). Estos autores observaron que cuando todos los sujetos (16 hombres y 16 mujeres) se incluyeron en el análisis, el resultado de la 1RM ejecutada en pódico de musculación fue significativamente mayor que el resultado obtenido con la ejecución del ejercicio de una forma libre. Sin embargo, cuando se hizo la división por sexos, la 1RM fue significativamente mayor solo para las mujeres (los hombres levantaron de media 3,3 kg más y las mujeres 6,3 kg). Estos autores sugieren que la mayor experiencia en la ejecución del ejercicio de sentadilla con pesos libres y cargas elevadas que presentaban los hombres con respecto a las mujeres podría ser la razón por la que no se encontraron diferencias significativas en los valores de 1RM en el grupo de hombres.

Estudios previos que han analizado la sentadilla ejecutada en pódico de musculación comparándola con la ejecución de este mismo ejercicio de una forma libre (Andrews, Hay, & Vaughan, 1983; Doktor, 1993; McLaughlin, Dillman, & Lardner, 1977; McLaughlin, Lardner, & Dillman, 1978), han comprobado que la sentadilla con barra guiada reduce la necesidad por parte del sujeto de garantizar el equilibrio y por tanto, la actividad muscular necesaria para mantener la estabilidad en el movimiento se ve disminuida. A este respecto, Doktor (1993) y McLaughlin, Dillman y Lardner (1977),



▲ **Figura 2**

Máquina para la ejecución del ejercicio de sentadilla (fabricación propia). (Reimpreso de Harris et al., 2008)

McLaughlin, Lardner y Dillman (1978) demostraron que el aumento del ángulo tronco-muslo durante la sentadilla ejecutada en un pórtico de musculación simulaba la ejecución de levantadores experimentados en el entrenamiento de sentadilla con pesos libres y que por tanto la carga que podrían levantar sujetos menos experimentados con esta técnica sería mayor.

La profundidad que se alcanza con el movimiento de flexión de las rodillas influye también en la capacidad del sujeto para aplicar fuerza máxima en el ejercicio de sentadilla (Harris et al., 2007, 2008; Sleivert & Taingahue, 2004). Lander, Bates, Sawhill y Hamill (1985) definieron el concepto de “sticking region” como la región de aplicación de la curva fuerza-tiempo donde el fallo es más probable que ocurra si la aceleración durante el impulso inicial del movimiento es insuficiente. Dicho de otro modo, si el sujeto cuando ejecuta el ejercicio de sentadilla descende la carga pero no lo suficiente como para pasar a través de la “sticking region” (p. ej., el sujeto no llega a los 90° de flexión de rodilla), podría levantar más peso puesto que no llegaría a la citada región. McLaughlin et al. (1977) encontraron esta región en una angulación del muslo con respecto a la horizontal de $29,6 \pm 2,0^\circ$. En este sentido, Harris et al. (2007, 2008) recogieron unos valores medios absolutos y relativos de la 1RM más altos que los recogidos para el resto de estudios que apa-

recen en la *tabla 1* (280 ± 50 kg/ $2,67 \pm 0,46$ kg/kg y $305 \pm 46,6$ kg/ $3,07 \pm 0,48$ kg/kg, respectivamente). Estos autores atribuyeron los resultados obtenidos a la posición de partida en la ejecución del ejercicio de sentadilla (110° de flexión de rodillas) que permitió a los sujetos un movimiento más explosivo debido a la relación ventajosa tensión-longitud en los extensores de rodilla y cadera (Hay, 1992) (ver *fig. 2*).

En esta misma línea, Sleivert y Taingahue (2004) observaron diferencias significativas en los valores de la 1RM entre una sentadilla ejecutada con una técnica “Split” ($206,6 \pm 34,4$ kg) y una sentadilla tradicional ($149,5 \pm 22,6$ kg) argumentando también diferencias en la angulación de partida para ambos ejercicios (100° para la sentadilla split y 90° para la sentadilla tradicional).

Historial de entrenamiento del ejecutante según práctica deportiva

Finalmente destacar que se han encontrado diferencias en la FDM (1RM) producida en el ejercicio de sentadilla entre sujetos que practican diferentes modalidades deportivas (Izquierdo et al., 2002; McBride et al., 2003) y sujetos que practican la misma modalidad deportiva pero en diferentes niveles de competición (Baker & Newton, 2008) (*tabla 1*). Así por ejemplo, Izquierdo et al. (2002) observaron en un grupo de halterófilos, valores absolutos y relativos de fuerza máxima superiores a los conseguidos por un grupo de jugadores de balonmano ($1540,2 \pm 176$ N/ $19,23 \pm 0,77$ N/kg y $1334,0 \pm 157$ N/ $16,28 \pm 1,26$ N/kg, respectivamente). Los jugadores de balonmano a su vez registraron valores más altos que ciclistas, corredores de media distancia y estudiantes ($1314,5 \pm 176$ N/ $18,54 \pm 2,75$ N/kg; $1069,0 \pm 108$ N/ $16,09 \pm 1,37$ N/kg y $1030,0 \pm 49$ N/ $14,52 \pm 1,37$ N/kg, respectivamente). En esta misma línea, McBride et al. (2003) observaron en halterófilos y levantadores de pesos valores de la 1RM ($249,0 \pm 24,2$ kg y $214,0 \pm 12,3$ kg, respectivamente) superiores a los obtenidos por velocistas ($173,0 \pm 19,1$ kg) y por estudiantes ($151,0 \pm 14,8$ kg). Las diferencias de fuerza máxima entre estos grupos de deportistas podrían ser debidas a adaptaciones producidas por el historial de entrenamiento y/o a diferencias en la composición de las fibras musculares (Izquierdo et al., 2002; McBride et al., 2003). Los levantadores de pesos, halterófilos y jugadores de balonmano normalmente llevan a cabo programas de entrenamiento contra resistencias máximas o

casi-máximas mientras que ciclistas, corredores de media distancia y estudiantes realizan generalmente entrenamientos contra resistencias intermedias-bajas o no llevan a cabo ningún tipo de trabajo de fuerza. El entrenamiento de fuerza contra resistencias máximas o casi-máximas durante años produce adaptaciones a largo plazo traducidas en una mayor coordinación inter-muscular (Moritani, 1993; Sale, 2003), una mayor rigidez músculo-tendinosa (Kubo et al., 2007, Kyrolainen & Komi, 1994), un aumento en la activación de unidades motrices de contracción rápida (Sale, 2003) y/o una hipertrofia selectiva en las fibras que componen las unidades motrices de contracción rápida (Goldspink, 1992; Hakkinen, Alen, & Komi, 1985; Hakkinen, Komi, & Kauhanen, 1986). Así mismo, estudios previos que han comparado a sujetos no entrenados con atletas especializados en el trabajo de resistencia y con atletas de fuerza/potencia, han demostrado que los atletas de resistencia presentan un alto porcentaje de fibras de contracción lenta mientras que los de fuerza/potencia presentan una predominancia de fibras de contracción rápida (Costill et al., 1976; Saltin, Henriksson, Nygard, Andersen, & Jansson, 1977).

Conclusiones

- La literatura científica muestra cómo la mayoría de estudios que han empleado muestras de deportistas entrenados para evaluar la FDM a través de la 1RM, lo han hecho utilizando procedimientos de medida muy similares. Todos estos protocolos se basan en un incremento progresivo de la intensidad de la carga en porcentajes de la 1RM estimada por el sujeto, seguido de un incremento progresivo de la carga en kg de peso hasta el fallo en la ejecución del sujeto. Además, se ha comprobado cómo todos los sujetos precisaron entre 2 y 6 intentos para alcanzar el valor de su 1RM y las recuperaciones entre intentos fueron completas.
- De los trabajos revisados, destaca la variabilidad en los resultados publicados. Esta heterogeneidad en los datos puede deberse a diferencias relacionadas con la edad y el sexo de los sujetos, con la técnica de ejecución del ejercicio de sentadilla y/o con el historial de entrenamiento de fuerza de los sujetos según práctica deportiva:
 - Con respecto a la edad de los sujetos, el paso de los años (unido a unos niveles de actividad física que son cada vez más bajos y/o de menor intensidad) produce una disminución en la capacidad de generar fuerza máxima debida fundamentalmente a la pérdida de masa muscular producida por la reducción en el tamaño y/o por la pérdida de fibras musculares (especialmente de fibras de contracción rápida).
 - Las características antropométricas y fisiológicas que diferencian a hombres de mujeres (peso, talla, composición corporal) influyen claramente en la producción de los niveles más bajos de fuerza máxima en el sexo femenino.
 - En relación con la técnica de ejecución del ejercicio de sentadilla, la profundidad que se alcanza con el movimiento de flexión de las rodillas influye en la capacidad del sujeto para aplicar fuerza máxima. De esta forma, los valores de la 1RM son más altos cuando la angulación de partida del sujeto en la ejecución del ejercicio de sentadilla se sitúa por encima de los 90° de flexión de rodillas. Esta angulación permite un movimiento más explosivo debido a la relación ventajosa tensión-longitud en los extensores de rodilla y cadera.
 - Las adaptaciones producidas por el historial de entrenamiento y/o por diferencias en la composición de las fibras musculares de sujetos que practican diferentes modalidades deportivas o sujetos que practican la misma modalidad deportiva pero en diferentes niveles de competición, también son factores determinantes que influyen en el rendimiento de la FDM (1RM) producida en el ejercicio de sentadilla.
- Es destacable la ausencia de trabajos de investigación en los que se analicen las características dinámicas y cinemáticas de la 1RM en el ejercicio de sentadilla. En este sentido, desde esta revisión se sugiere la necesidad de futuros estudios en los que se analicen dichas características en las diferentes variantes del ejercicio de sentadilla tradicional (p.e. sentadilla tradicional con diferentes angulaciones de rodilla) o se comparen dichas características en grupos de sujetos de diferente sexo, edad y/o historial de entrenamiento de fuerza. Así mismo, sería interesante analizar cómo evolucionan estas características tras un periodo de entrenamiento sistemático de fuerza con cargas máximas o casi-máximas en un mismo grupo de sujetos.

Referencias

- Abelbeck, K. G. (2002). Biomechanical model and evaluation of a linear motion squat type exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(4), 516-524. doi:10.1519/00124278-200211000-00005
- Andrews, J. G., Hay, J. G., & Vaughan, C. L. (1983). Knee shear forces during a squat exercise using a barbell and a weight machine. En B. H. Matsui & K. Kobayashi (Eds.), *Biomechanics VIII* (pp. 923-927). Champaign (IL): Human Kinetics.
- Baker, D., Nance, S., & Moore, M. (2001). The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 92-97. doi:10.1519/00124278-200102000-00016
- Baker, D. & Newton, R. U. (2008). Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 153-158. doi:10.1519/JSC.0b013e31815f9519
- Carolan, B. & Cafarelli, E. (Septiembre, 1992). Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 73(3), 911-917.
- Cormie, P., McCaulley, G. O., Triplett, T., & McBride, J. M. (2007). Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(2), 340-349. doi: 10.1249/01.mss.0000246993.71599.bf
- Costill, D. L., Daniels, J., Evans, J., Fink, W., Krahenbuhl, G., & Saltin, B. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *Journal of Applied Physiology*, 40(2), 149-154.
- Cotterman, M. L., Darby, L. A., & Skelly, W. A. (2005). Comparison of muscle force production using the smith machine and free weights for bench press and squat exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 169-176. doi:10.1519/14433.1
- Doktor, I. (1993). The effect of load on lifting characteristics of the parallel squat (Tesis de maestría). University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada.
- Escamilla, R. F. (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 127-141. doi:10.1097/00005768-200101000-00020
- Escamilla, R. F., Lander, J. E., & Garhammer, J. (2000). Biomechanics of powerlifting and weightlifting exercises. En W. E. Garret & D. F. Kirkendall (Eds.), *Exercise and Sport Science* (pp. 585-615). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Evans, W. J. & Campbell, W. W. (1993). Sarcopenia and age-related changes in body composition and functional capacity. *Journal of Nutrition*, 123(Supl. 2), 465-468.
- Faulker, J. A. & Brooks, S. V. (1995). Muscle fatigue in old animals: unique aspects of fatigue in elderly humans. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 384, 471-480.
- Galvao, D. A., Newton, R. U., & Taaffe, D. R. (2005). Anabolic responses to resistance training in older men and women. *Journal of Aging and Physical Activity*, 13(3), 343-358.
- Goldspink, G. (1992). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. En P. V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (pp. 211-229). Boston: Blackwell Scientific Publications.
- González, J. J. & Rivas, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona: Inde.
- Goodpaster, B. H., Carlson, C. L., Visser, M., Kelley, D. E., Scherzinger, A., Harris, T. B., ... Newman, A. B. (2001). Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The health ABC study. *Journal of Applied Physiology*, 90(6), 2157-2165.
- Hakkinen, K., Alen, M., & Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force and relaxation-time, electromyographic and muscle fiber characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125(4), 573-585. doi:10.1111/j.1748-1716.1985.tb07759.x
- Hakkinen, K., Hallinen, M., & Izquierdo, M. (1998). Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA and force during strength training in middle-aged and older people. *Journal of Applied Physiology*, 84(4), 1341-1349.
- Hakkinen, K., Komi, P. V., & Kauhanen, H. (1986). Electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric, concentric and various strength-shortening cycle exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 7(3), 144-151. doi:10.1055/s-2008-1025752
- Hakkinen, K., Kraemer, W. J., & Kallinen, M. (1996). Bilateral and unilateral neuromuscular function and muscle cross-sectional area in middle-aged and elderly men and women. *Journal of Gerontology Biological Science*, 51(1), B21-B29.
- Hakkinen, K., Pastinen, U. M., Karsikas, R., & Linnamo, V. (1995). Neuromuscular performance in voluntary bilateral and unilateral contractions and during electrical stimulation in men at different ages. *European Journal of Applied Physiology*, 70(6), 518-527. doi:10.1007/BF00634381
- Harman, E., Garhammer, J., & Pandorf, C. (2000). Administration, scoring and interpretation of selected tests. En T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *NSCA's Essentials of Strength Training and Conditioning* (2.ª ed., pp. 287-318). Champaign (IL): Human Kinetics.
- Harris, N. K., Cronin, J. B., & Hopkins, W. G. (2007). Power outputs of a machine squats-jump across a spectrum of loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1260-1264. doi:10.1519/R-21316.1
- Harris, N. K., Cronin, J. B., Hopkins, W. G., & Hansen, K. T. (2008). Relationship between sprint times and the strength/power outputs of a machine squat jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 691-698. doi:10.1519/JSC.0b013e31816d8d80
- Hay, J. G. (1992). Mechanical basis of strength expression. En P. V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (pp. 197-207). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Izquierdo, M., Hakkinen, K., Gonzalez-Badillo, J. J., Ibañez, J., & Gorostiaga, E. M. (2002). Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *European Journal of Applied Physiology*, 87(3), 264-271. doi:10.1007/s00421-002-0628-y
- Izquierdo, M., Ibañez, J., Gorostiaga, E., Garrues, M., Zúñiga, A., Antón, A., ... Hakkinen, K. (1999). Maximal strength and power characteristics in isometric and dynamic actions of the upper and lower extremities in middle-aged and older men. *Acta Physiologica Scandinavica*, 167, 57-68. doi:10.1046/j.1365-201x.1999.00590.x
- Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674-688. doi:10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61
- Kubo, K., Morimoto, M., Komuro, T., Tsunoda, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2007). Influences of tendon stiffness, joint stiffness and electromyographic activity on jump performance using single joint. *European Journal of Applied Physiology*, 99(3), 235-243. doi:10.1007/s00421-006-0338-y
- Kyrolainen, H. & Komi, P. V. (1994). Differences in mechanical efficiency between power- and endurance-trained athletes while jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 70(1), 36-44.
- Lander, J. E., Bates, B. T., Sawhill, J. A., & Hamill, J. (1985). A comparison between free weight and isokinetic bench pressing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(3), 344-353.
- Lexell, J., Henriksson-Larsen, K., Winblad, B., & Sjostrom, M. (1983). Distribution of different fiber types in human skeletal mus-

- cles. Effects of aging studied in whole muscle cross sections. *Muscle Nerve*, 6(8), 588-595. doi:10.1002/mus.880060809
- Lexell, J., Taylor, C. C., & Sjoström, M. (1988). What is the cause of the ageing atrophy? *Journal of the Neurological Sciences*, 84(2-3), 275-294. doi:10.1016/0022-510X(88)90132-3
- Lynch, N. A., Metter, E. J., Lindle, R. S., Forzard, J. L., Tobin, J. D., Roy, T. A., ... Hurler, B. F. (1999). Muscle quality. I. Aged-associated differences between arm and leg muscle groups. *Journal of Applied Physiology*, 86(1), 188-194.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A. J., Abernethy, P. J., & Newton, R. U. (2003). Characteristics of titin in strength and power athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 88(6), 553-557. doi:10.1007/s00421-002-0733-y
- McGuigan, M. R., Ghiagiarelli, J., & Tod, D. (2005). Maximal strength and cortisol responses to psyching-up during the squat exercise. *Journal of Sports Sciences*, 23(7), 687-692. doi:10.1080/02640410400021401
- McLaughlin, T. M., Dillman, C. J., & Lardner, T. J. (1977). A kinematic model of performance in the parallel squat by champion powerlifters. *Medicine and Science in Sports*, 9(2), 128-33.
- McLaughlin, T. M., Lardner, T. J., & Dillman, C. J. (1978). Kinetics of the parallel squat. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 49(2), 175-189.
- Moritani, T. (1993). Neuromuscular adaptations during the acquisition of muscle strength, power and motor tasks. *Journal of Biomechanics*, 26(Supl. 1), 95-107.
- Narici, M., Bordini, M., & Cerretelli, P. (1991). Effects of aging on human adductor pollicis muscle function. *Journal of Applied Physiology*, 71(4), 1227-1281.
- Neitzel, J. A. & Davies, G. J. (2000). The benefits and controversy of the parallel squat. *Strength and Conditioning Journal*, 22(3), 30-37. doi:10.1519/00126548-200006000-00008
- Newman, A. B., Kupelian, V., Visser, M., Simonsick, E. M., Goodpaster, B. H., Kritchevsky, S. B., ... Harris, T. B. (2006). Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *Journal of Gerontology Biological Science*, 61(1), 72-77.
- Newton, U. R., Hakkinen, K., Hakkinen, A., McCormick, M., Volek, J., & Kraemer, W. (2002). Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8), 1367-1375. doi:10.1097/00005768-200208000-00020
- Peterson, M. D., Alvar, B. A., & Rhea, M. R. (2006). The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 867-873. doi:10.1519/R-18695.1
- Sale, D. G. (1991). Testing strength and power. En J. D. McDougall, H. D. Wenger, & H. J. Green (Eds.), *Physiological Testing of the High Performance Athlete* (pp. 21-106). Champaign (IL): Human Kinetics.
- Sale, D. G. (2003). Neural adaptation to strength training. En P.V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (2.^a ed., pp. 281-314). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Saltin, B., Henriksson, J., Nygard, E., Andersen, P., & Jansson, E. (1977). Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary men and endurance runners. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301, 3-29. doi:10.1111/j.1749-6632.1977.tb38182.x
- Siff, M. C. & Verkoshansky, Y. V. (2000). *Superentrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.
- Skelton, D. A., Greig, C. A., Davies, J. M., & Young, A. (1994). Strength power and related functional ability of healthy people aged 64-89 years. *Age and Ageing*, 23(5), 371-377. doi:10.1093/ageing/23.5.371
- Sleivert, G. & Taingahue, M. (2004). The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 91(1), 46-52. doi:10.1007/s00421-003-0941-0
- Thomas, G. A., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Anderson, J. M., & Maresh, C. M. (2007). Maximal power at different percentages of one repetition maximum: Influence of resistance and gender. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 336-342. doi:10.1519/00124278-200705000-00008
- Toutoungi, D. E., Lu, T. W., Leardini, A., Catini, F., & O'Connor, J. J. (2000). Cruciate ligament forces in the human knee during rehabilitation exercises. *Clinical of biomechanics*, 15(3), 176-187. doi:10.1016/S0268-0033(99)00063-7
- Vandervoort, A. A. & Mccomas, J. (1986). Contractile changes in opposing muscles of the human ankles joint with aging. *Journal of Applied Physiology*, 61(1), 361-367.
- Zink, A. J., Perry, A. C., Robertson, B. L., Roach, K.E., & Signorile, J. F. (2006). Peak power, ground reaction forces and velocity during the squat exercise performed at different loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 658-664. doi:10.1519/00124278-200608000-00030