

La repetició màxima en l'exercici d'esquat: procediments de mesura i factors determinants

Repetition Maximum Squat: Measurement Procedures for Determining Factors

INMACULADA GARCÍA SÁNCHEZ

BERNARDO REQUENA SÁNCHEZ

Facultat de l'Esport
Universidad Pablo de Olavide (Sevilla)

Autora per a la correspondència

Inmaculada García Sánchez
igarcia@upo.es

Resum

En l'actualitat, investigadors i entrenadores utilitzen la repetició màxima (1RM) en l'exercici d'esquat com la mesura més identificativa i representativa de la màxima força muscular en el moviment d'extensió de maluc i genoll. El present treball de revisió té el propòsit de descriure els procediments utilitzats en investigació per avaluar la 1RM en l'exercici d'esquat i analitzar els factors determinants del seu rendiment. Amb mostres de subjectes entrenats, en la majoria d'estudis revisats s'utilitzen protocols de mesura molt similars. A més a més, l'heterogeneïtat dels resultats publicats en relació amb el rendiment obtingut en la 1RM es deu fonamentalment a diferències relacionades amb l'edat i el sexe dels executants, la tècnica d'execució de l'exercici d'esquat i/o l'historial d'entrenament de força de la mostra seleccionada segons pràctica esportiva.

Paraules clau: força muscular màxima, una repetició màxima, exercici d'esquat

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

Introducció

L'esquat és un dels exercicis més populars i utilitzats per al desplegament de la força muscular que forma part habitual de programes de rehabilitació i condicionament físic (Abelbeck, 2002; Escamilla, 2001; Neitzel & Davies, 2000; Toutoungi, Lu, Leardini, Catini & O'Connor, 2000). L'exercici d'esquat es pot definir com una activitat de cadena cinètica tancada que s'executa amb una acció d'empenta i que implica principalment la musculatura del tren inferior (Escamilla, Lander & Garhammer, 2000; Siff & Verkhoshansky, 2000). Encara que les extremitats inferiors són les principals responsables del

moviment en l'execució de l'exercici d'esquat, les extremitats superiors i el tronc participen activament garantint l'estabilitat del moviment (Neitzel & Davies, 2000).

El concepte de força aplicada s'entén com el resultat de l'acció muscular sobre les resistències externes, que poden ser el propi pes corporal o qualsevol altra resistència o artefacte aliè al subjecte (González & Ribas, 2002). D'una banda, si la resistència que s'utilitza per mesurar la força en l'exercici d'esquat se supera, i no més es pot superar un vegada, la força que es mesura (expressada en quilograms) és la força dinàmica màxima (FDM) i se la coneix com la repetició màxima (1RM)

(Sale, 1991). D'altra banda, el valor de força isomètrica màxima (FIM) és el pic de força que es mesura quan no hi ha moviment perquè la resistència externa és insuperable i el subjecte aplica la seva màxima força voluntària (González & Ribas, 2002).

Mentre que la FIM s'ha considerat tradicionalment com la mesura de referència per establir la màxima força muscular, la majoria d'investigadors i entrenadores en l'actualitat, conforme als principis d'especificitat de l'entrenament, utilitzen la FDM com la mesura més apropiada i identificativa de la força màxima (Peterson, Alvar & Rhea, 2006). Encara que hi ha alguns autors que han emprat l'exercici d'esquat isomètrica per mesurar la força màxima de les extremitats inferiors (p. ex., Newton et al., 2002), es podria afirmar que en l'actualitat científica i esportiva el més comú entre investigadors i entrenadores és mesurar i identificar la FDM (1-3 RM) en l'exercici d'esquat com la mesura més representativa de la màxima força muscular en el moviment d'extensió de maluc i genoll (Kraemer & Ratamess, 2004).

En l'àmbit de l'entrenament esportiu, i tenint en compte l'heterogeneïtat dels resultats publicats en relació amb la FDM (1RM) que es manifesta en l'exercici d'esquat, els objectius del present estudi són: 1) descriure els procediments o protocols de mesura que en l'actualitat s'empren per avaluar la 1RM, i 2) analitzar els principals factors que determinen la capacitat de l'executant per aplicar la màxima força muscular (edat i sexe de l'executant, tècnica d'execució de l'exercici d'esquat i historial d'entrenament de la mostra seleccionada).

Procediments per al mesurament de la repetició màxima en l'exercici d'esquat

S'ha revisat com la majoria d'estudis que han emprat mostres d'esportistes entrenats per avaluar la FDM a través de la 1RM (p. ex., vegeu taula 1), ho han fet utilitzant procediments de mesura molt similars. Prenent com a referència la guia de la National Strength and Conditioning Association (Harman, Garhammer & Pandorf, 2000), el protocol per al mesurament de la 1RM es pot estructurar en tres parts ben diferenciades: 1) escalfament no específic i execució de ~10 repeticions (rep.) de l'exercici d'esquat enfront d'una resistència lleugera; 2) increment

progressiu de la intensitat de la càrrega en percentatges de la 1RM estimada pel subjecte (5-6 rep. al 60 %; 2-3 rep. al 70 %; 1-2 rep. al 80 %); 3) increment progressiu de la càrrega en quilograms de pes (de 2 a 10 kg) fins a la fallada en l'execució del subjecte (l'últim intent fet correctament amb la màxima càrrega possible és el resultat que determina el valor de la 1RM).

A la *taula 1* es resumeixen una sèrie d'estudis representatius que en l'última dècada han emprat l'exercici d'esquat per mesurar la FDM a través de la 1RM. En general s'observa com tots els subjectes van necessitar entre 2 i 6 intents fins que van aconseguir el seu 1RM, les recuperacions entre intents van ser completes i els resultats de FDM (1RM) es van expressar en valors mitjans absoluts (quilograms totals que aixequen els subjectes) i/o relatius al pes corporal (quilograms que aixequen els subjectes per quilogram de pes corporal).

Factors determinants de la magnitud de la repetició màxima en l'exercici d'esquat

Dels treballs revisats (vegeu *taula 1*), destaca la variabilitat en els resultats publicats, ja que s'observa com la 1RM oscil·la en un rang de 63,5 a 305 kg en valors absoluts i de 0,98 a 3,07 kg/kg en valors relatius. Aquesta heterogeneïtat en les dades es pot deure a diferències relacionades amb l'edat dels subjectes (Izquierdo et al., 1999; Newton et al., 2002), el sexe (Cotterman, Darby & Skelly, 2005; Thomas et al., 2007), la tècnica d'execució de l'exercici d'esquat (Cotterman et al., 2005; Harris, Cronin & Hopkins, 2007; Harris, Cronin, Hopkins & Hansen, 2008) i/o l'historial d'entrenament de força dels subjectes segons pràctica esportiva (Baker & Newton, 2008; Izquierdo, Hakkinen, González, Ibáñez & Gorostiaga, 2002; McBride, Triplett-Mcbride, Davie, Abernethy & Newton, 2003).

Edat i sexe de l'executant

Es pot afirmar que un dels factors que determinen la magnitud de la força màxima aplicada durant un exercici d'esquat és l'edat del subjecte executant. Està comprovat que la força màxima decreix amb l'edat i especialment quan s'arriba a seixanta anys (Hakkinen,

Estudi	Subjectes	Protocol	Resultats (1RM) Valors mitjans (DE)
Cormie, Mccauley, Triplet i McBride, 2007	13 H (E, J) [7 JF, 2 ST, 2 V i 2 L]	1RM (MS) (1) Resistència lleugera (~10 rep). (2) Increment progressiu de la càrrega en % de la 1RM-E. (3) Superat el 80-90 %, increment de 2 a 5 kg fins a la fallada del subjecte (3-5 intents fins a aconseguir la 1RM).	170,4 ± 21,7 kg 1,9 ± 0,2 kg/kg
Izquierdo et al., 1999	47 H [26 ME i 21 EA]	1RM (MS) (1) Resistència lleugera (~10 rep). (2) Increment progressiu de la càrrega en % de la 1RM-E. (3) Superat el 80-90 %, increment de 2 a 5 kg fins a la fallada del subjecte (4-5 intents fins a aconseguir la 1RM).	ME: 117,5 ± 3,9 kg EA: 101 ± 5 kg
Izquierdo, Hakkinen, Gonzalez, Ibañez i Gorostiaga, 2002	70 H (E, J) [11 Ha, 19 JBa, 18 C, 10 CMD i 12 Es]	1RM (MS) (1) Resistència lleugera (~10 rep). (2) Increment progressiu de la càrrega en % de la 1RM-E. (3) Superat el 80-90 %, increment de 2 a 5 kg fins a la fallada del subjecte (4-5 intents fins a aconseguir la 1RM).	Ha (1540,2 ± 176 kg i 19,23 ± 0,77 kg/kg) Jba (1334 ± 157 kg i 16,28 ± 1,26 kg/kg) C (1314,5 ± 176 kg i 18,54 ± 2,75 kg/kg) CMD (1069 ± 108 kg i 16,09 ± 1,37 kg/kg) Es (1030 ± 49 kg i 14,52 ± 1,37 kg/kg)
Zink, Perry, Robertson, Roach i 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) Superat el 90 %, increment de 2 a 10 kg fins a la fallada del subjecte (3-4 intents fins a aconseguir la 1RM/3 min descans).	175,14 ± 30,6 kg 1,87 ± 0,21 kg/kg
McBride, Triplet-Mcbride, Davie, Abernethy i Newton, 2003	20 H (E, J) [5 Es, 5 Ha, 5 LP i 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) Superat el 90 %, increment de 2 a 10 kg fins a la fallada del subjecte (3-4 intents fins a aconseguir la 1RM/3 min descans).	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 i 24 JRP]	1RM (SC) (1) Resistència lleugera (~10 rep). (2) Increment progressiu de la càrrega en % de la 1RM-E. (3) Superat el 80-90 %, increment de 2 a 10 kg fins a la fallada del subjecte (3-5 intents fins a aconseguir la 1RM).	JRNP (147,6 ± 25,2 kg) JRP (161,2 ± 16,9 kg)
Baker i Newton, 2008	40 H (E, J) [20 JRD1 i 20 JRD2]	1RM (MS) (1) Resistència lleugera (~10 rep). (2) Increment progressiu de la càrrega en % de la 1RM-E. (3) Superat el 80-90 %, increment de 2 a 10 kg fins a la fallada (3-5 intents fins a aconseguir la 1RM).	JRD1 (175,0 ± 27,3 kg); JRD2 (149,6 ± 14,3 kg)

FDM = força dinàmica màxima; 1RM = una repetició màxima; 1RM-E = una repetició màxima estimada; kg = quilogram; DE = desviació estàndard; H = homes; M = dones; E = entrenats; J = joves; JF = jugadors futbol; ST = saltadors de triple; V = velocistes; L = llançadors; EM = mitjana edat; EA = edat avançada; Ha = halteròfils; Jha = jugadors handbol; C = ciclistes; CMD = corredors mitja distància; Es = estudiants; LP = alçadors de pesos; JR = jugadors rugbi; JRNP = jugadors rugbi no professionals; JRP = jugadors rugbi professionals; JRD1 = jugadors rugbi primera divisió; JRD2 = jugadors rugbi segona divisió; JB = jugadors basquetbol; S = esquat; MS = mig esquat; SC = esquat complet; SS = esquat tisora; rep = repeticions; min = minuts; % = percentatge; ~ = aproximadament.

Taula 1

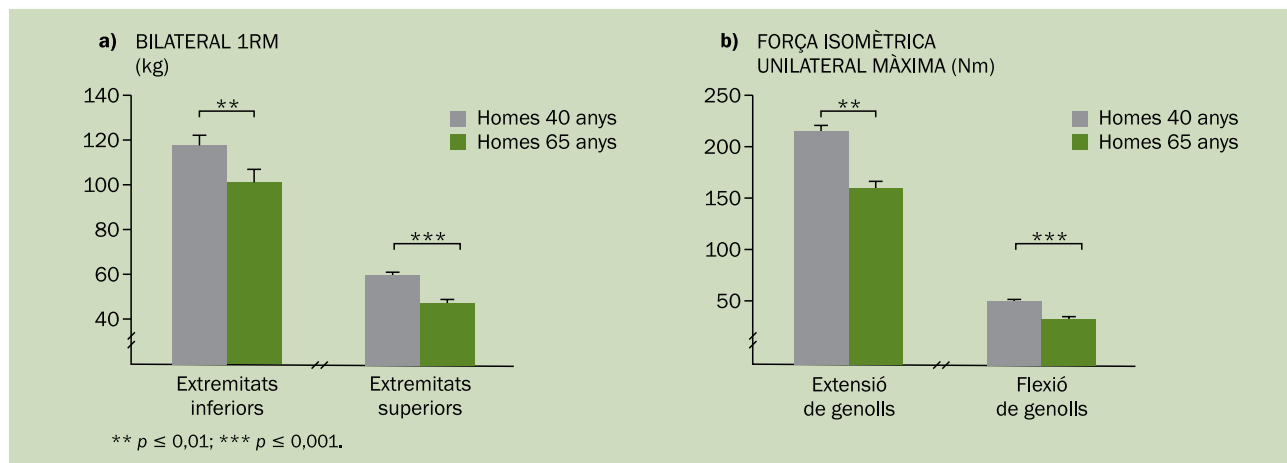
Resum d'estudis en què s'ha emprat l'exercici d'esquat per mesurar la FDM a través de la 1RM

Estudi	Subjectes	Protocol	Resultats (1RM) Valors mitjans (DE)
Wisloff et al., 2004	17 H (E, J) [JF]	1RM (MS) (1) Resistència lleugera (~10 rep). (2) Increment progressiu de la càrrega en % de la 1RM-E. (3) Superat el 80-90 %, increment de 2 a 10 kg fins a la fallada (3-6 intents fins a aconseguir 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 intents fins a aconseguir la 1RM (3 min descans).	H: 121,0 ± 22,5 kg M: 83,2 ± 12,6 kg
Harris, Cronin i Hopkins, 2007	18 H (E, J) [JR]	1RM (S 110°) (1) Resistència lleugera (~10 rep). (2) Increment progressiu de la càrrega en % de la 1RM-E. (3) Superat el 80-90 %, increment de 2 a 10 kg fins a la fallada del subjecte (2-3 intents fins a aconseguir la 1RM).	280 ± 50kg 2,67 ± 0,46 kg/kg
Harris, Cronin, Hopkins i Hansen, 2008	30 H (E, J) [JR]	1RM (S 110°) (1) Resistència lleugera (~10 rep). (2) Increment progressiu de la càrrega en % de la 1RM-E. (3) Superat el 80-90 %, increment de 2 a 10 kg fins a la fallada del subjecte (2-3 intents fins a aconseguir la 1RM).	305 ± 46,6 kg 3,07 ± 0,48 kg/kg
Sleivert i Taingahue, 2004	30 H (E, J) [27 JR i 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) màxim de 5 intents amb increment de 5 a 10 kg fins a aconseguir la 1RM (15 min descans).	ST (149,5 ± 22,6 kg) SS (206,6 ± 34,4 kg)
Cotterman, Darby i Skelly, 2005	16 H 16 M (J)	1RM (S -barra guiada vs. barra lliure-) (1) 50% 1RM-E (8-10 rep); 75% 1RM-E (3-5 rep); 1RM-E (3-4 rep). (2) Una sèrie d'intents amb increment de 2,5 a 10 kg fins a la fallada del subjecte (2-3 min descans).	Barra lliure Barra fixada 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 i Rhea, 2006	19 H (E, J) 36 M (E, J)	1RM (MS) (1) Resistència lleugera (~10 rep). (2) Increment progressiu de la càrrega en % de la 1RM-E. (3) Superat el 80-90 %, increment de 2 a 10 kg fins a la fallada del subjecte (3-5 intents fins a aconseguir 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 i 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) Superat el 90 %, increment de 2,5 a 10 kg fins a la fallada del subjecte (3-5 intents fins a aconseguir la 1RM).	H: 148,6 ± 36,9 kg M: 63,5 ± 19,3 kg/kg

FDM = força dinàmica màxima; 1RM = una repetició màxima; 1RM-E = una repetició màxima estimada; kg = quilogram; DE = desviació estàndard; H = homes; M = dones; E = entrenats; J = joves; JF = jugadors futbol; ST = saltadors de triple; V = velocistes; L = llançadors; EM = mitjana edat; EA = edat avançada; Ha = halteròfils; Jha = jugadors handbol; C = ciclistes; CMD = corredors mitja distància; Es = estudiants; LP = alçadors de pesos; JR = jugadors rugbi; JRNP = jugadors rugbi no professionals; JRP = jugadors rugbi professionals; JRD1 = jugadors rugbi primera divisió; JRD2 = jugadors rugbi segona divisió; JB = jugadors basquetbol; S = esquat; MS = mig esquat; SC = esquat complet; SS = esquat titora; rep = repeticions; min = minuts; % = percentatge; ~ = aproximadament.

▲
Taula 1 (Continuació)

Resum d'estudis en què s'ha emprat l'exercici d'esquat per mesurar la FDM a través de la 1RM

**Figura 1**

Mitjana i desviació estàndard. a) Una repetició màxima (1RM) en l'execució bilateral de l'exercici de mig esquat i aixecament de banca. b) Força isomètrica màxima en l'extensió i flexió del genoll en homes de mitjana edat (40 anys) i grans (65 anys) (Reimprès d'Izquierdo et al., 1999)

Hallinen & Izquierdo, 1998; Hakkinen, Kraemer & Kallinen, 1996; Hakkinen, Pastinen, Karsikas & Linnamo, 1995; Narici, Bordini & Cerretelli, 1991; Skelton, Greig, Davies & Young, 1994; Vandervoort & McComas, 1986). Així, per exemple, Skelton, Greig, Davies i Young (1994) van demostrar que la FIM disminuïa entre l'1 i el 2 % a l'any en un grup d'homes de ~65 anys.

En aquesta línia d'investigació, s'han revisat només dos estudis (Izquierdo et al., 1999; Newton et al., 2002) que han comparat la força màxima produïda en l'exercici d'esquat en grups de subjectes de diferents edats. Newton et al. (2002) van mesurar en un grup de subjectes joves ($29,75 \pm 5,34$ anys) i grans ($61 \pm 4,40$ anys) la FIM que es produïa en un esquat (90° de flexió de genolls) abans i després d'aplicar un programa d'entrenament de força que va durar deu setmanes. Aquests autors van comprovar com els joves van aplicar el 60 % més de força que els grans abans i després de l'entrenament (abans: 1040 N vs. 661 N; després: 1318 N vs. 820 N). Després del programa, la FIM en l'exercici d'esquat es va incrementar d'una forma significativa tant en el grup de joves com en el de grans. Aquest guany va estar acompanyat d'increments significatius en l'activació neural voluntària de la musculatura del quàdriceps. L'entrenament de força progressiu va poder portar no sols a l'augment en l'activació de la musculatura agonista sinó també a l'efecte d'aprenentatge traduït en termes de reducció en la

coactivació agonista/antagonista (Carolan & Cafarelli, 1992; Hakkinen et al., 1998).

Izquierdo et al. (1999) van mesurar la 1RM en l'exercici d'esquat (des de 90° de flexió de genolls) a 26 homes de mitjana edat (~40 anys) i a 21 d'edat avançada (~65 anys). Els subjectes de mitjana edat van aixecar una mitjana de $117,5 \pm 3,9$ quilograms, mentre que el resultat obtingut pels grans va ser de 101 ± 5 quilograms (fig. 1). A més a més, aquests autors van avaluar la FDM produïda en l'exercici d'esquat unilateral (des dels 70° de flexió de genoll i fins que el subjecte aconseguia una extensió mínima de 170°). El valor de la 1RM en l'esquat unilateral va ser significativament major ($p \leq 0,001$) en el grup d'homes de mitjana edat (75 ± 10 kg) que en el grup d'homes grans (55 ± 10 kg). Izquierdo et al. (1999) van completar l'estudi mesurant la FIM dels extensors i flexors del genoll de la cama dreta, i van mostrar que els valors de força produïts en el grup de mitjana edat van ser també majors ($p \leq 0,01$) que els produïts en el grup de grans (fig. 1).

Els resultats obtinguts per Newton et al. (2002) i Izquierdo et al. (1999) suporten la noció que amb l'edat es produeix una disminució de la capacitat de generar força màxima. Amb els anys es produeix una pèrdua de massa muscular com a conseqüència d'una reducció en la grandària i/o una pèrdua de fibres musculars, especialment de fibres de contracció ràpida (Lexell, Henriksen-Larsen, Winblad & Sjostrom, 1983; Lexell, Taylor

	Mitjana \pm DE		Diferència mitjana
	SM	FW	
Esquat			
• Homes	171,5 \pm 35,7	168,2 \pm 32,2	3,28
• Dones	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
Aixecament de banca			
• Homes	100,6 \pm 17,6	112,9 \pm 18,8	-12,34
• Dones	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

◀
Taula 2

Mitjana i desviació estàndard (DE) dels resultats obtinguts en l'execució de la repetició màxima (1RM) en l'exercici d'esquat i aixecament de banca per una mostra de 32 subjectes entrenats (16 homes i 16 dones) en una Smith Machine (SM) i amb pesos lliures (FW). (Modificat de Cotterman et al., 2005)

& Sjostorm, 1988). La combinació dels efectes propis de l'edat amb uns nivells d'activitat física que són cada vegada més baixos i/o de menor intensitat (Evans & Campbell, 1993) provoquen que les fibres de contracció ràpida mostrin una major desinnervació i atrofia que les fibres de contracció lenta (Faulkner & Brooks, 1995). En aquest sentit, una recent revisió (Galvao, Newton & Taaffe, 2005) recull com l'entrenament sistemàtic de força intervé de manera eficaç contra la sarcopènia i suggereix que és una de les formes més efectives d'induir adaptacions anabòliques tant en homes com en dones grans (> 60 anys).

Un altre factor que determina la magnitud de la capacitat de generar força màxima en l'exercici d'esquat és el sexe de l'executant. Els resultats publicats en els estudis representatius que es recullen a la taula 1 mostren que el valor mitjà de la 1RM obtingut pels homes supera l'obtingut per les dones (151,67 \pm 31,45 kg vs. 79,89 \pm 15,73 kg) (Cotterman et al., 2005; McGui-gan, Ghiagiarelli & Tod, 2005; Peterson et al., 2006; Thomas et al., 2007). Aquest fet no sorprèn si es té en compte que les dones respecte als homes són capaces de produir nivells de força inferiors (Lynch et al., 1999; Newman et al., 2006) a causa fonamentalment del fet que tenen una superfície de greix subcutani major i presenten, tant en les extremitats superiors com en les inferiors, una massa muscular inferior (Goodpaster et al., 2001). És a dir, es podria afirmar que les característiques antropomètriques i fisiològiques que diferencien homes de dones (p. ex., pes, talla i composició corporal) influeixen clarament en la producció dels nivells més baixos de força màxima en el sexe femení (Cotterman et al., 2005).

Tècnica d'execució de l'exercici d'esquat

Quant al tipus d'equipament emprat per mesurar la producció de força màxima, Cotterman et al. (2005) van determinar els efectes de les variables independents sexe i tipus d'equipament sobre la variable dependent 1RM per a l'exercici d'esquat (vegeu taula 2). Aquests autors van observar que quan tots els subjectes (16 homes i 16 dones) es van incloure en l'anàlisi, el resultat de la 1RM executada en pòrtic de musculació va ser significativament major que el resultat obtingut amb l'execució de l'exercici d'una forma lliure. No obstant això, quan es va fer la divisió per sexes, la 1RM va ser significativament major només per a les dones (els homes van aixecar de mitjana 3,3 kg més i les dones 6,3 kg). Aquests autors suggereixen que la major experiència en l'execució de l'exercici d'esquat amb pesos lliures i càrregues elevades que presentaven els homes respecte a les dones podria ser la raó per la qual no es van trobar diferències significatives en els valors de 1RM en el grup d'homes.

Estudis previs que han analitzat l'esquat executat en pòrtic de musculació comparant-lo amb l'execució d'aquest mateix exercici d'una forma lliure (Andrews, Hay & Vaughan, 1983; Doktor, 1993; McLaughlin, Dillman & Lardner, 1977; McLaughlin, Lardner & Dillman, 1978) han comprovat que l'esquat amb barra guiada redueix la necessitat del subjecte de garantir l'equilibri, i per tant l'activitat muscular necessària per mantenir l'estabilitat en el moviment es veu disminuïda. Respecte a això, Doktor (1993) i McLaughlin, Dillman i Lardner (1977), McLaughlin, Lardner i Dillman (1978) van demostrar que l'augment de l'angle tronc-cuixa



▲ **Figura 2**

Màquina per a l'execució de l'exercici d'esquat (fabricació pròpia)
(Reimprès de Harris et al., 2008)

durant l'esquat executat en un pòrtic de musculació simulava l'execució d'alçadors experimentats en l'entrenament d'esquat amb pesos lliures i que per tant la càrrega que podrien aixecar subjectes menys experimentats amb aquesta tècnica seria major.

La profunditat que s'aconsegueix amb el moviment de flexió dels genolls influeix també en la capacitat del subjecte per aplicar força màxima en l'exercici d'esquat (Harris et al., 2007, 2008; Sleivert & Taingahue, 2004). Lander, Bates, Sawhill i Hamill (1985) van definir el concepte de *sticking region* com la regió d'aplicació de la corba força-temps on la fallada és més probable que ocorri si l'acceleració durant l'impuls inicial del moviment és insuficient. Dit d'una altra manera, si el subjecte quan executa l'exercici d'esquat descendeix la càrrega però no prou per passar a través de l'*sticking region* (p. ex., el subjecte no arriba als 90° de flexió de genoll), podria aixecar més pes, ja que no arribaria a aquesta regió. McLaughlin et al. (1977) van trobar aquest regió en una angulació de la cuixa respecte a l'horitzontal de $29,6 \pm 2,0^\circ$. En aquest sentit, Harris et al. (2007, 2008) van recollir uns valors mitjans absoluts i relatius de la 1RM més alts que els recollits per a la resta d'estudis que apareixen a la *taula 1* (280 ± 50 kg / $2,67 \pm 0,46$ kg/kg i $305 \pm 46,6$ kg / $3,07 \pm 0,48$ kg/kg,

respectivament). Aquests autors van atribuir els resultats obtinguts a la posició de partida en l'execució de l'exercici d'esquat (110° de flexió de genolls), que va permetre als subjectes un moviment més explosiu a causa de la relació avantatjosa tensió-longitud en els extensors de genoll i maluc (Hay, 1992) (vegeu *fig. 2*).

En aquesta mateixa línia, Sleivert i Taingahue (2004) van observar diferències significatives en els valors de la 1RM entre un esquat executat amb una tècnica *split* ($206,6 \pm 34,4$ kg) i un esquat tradicional ($149,5 \pm 22,6$ kg) i van argumentar també diferències en l'angulació de partida per a ambdós exercicis (100° per a l'esquat tisora i 90° per a l'esquat tradicional).

Historial d'entrenament de l'executant segons pràctica esportiva

Finalment cal destacar que s'han trobat diferències en la FDM (1RM) produïda en l'exercici d'esquat entre subjectes que practiquen diferents modalitats esportives (Izquierdo et al., 2002; McBride et al., 2003) i subjectes que practiquen la mateixa modalitat esportiva però en diferents nivells de competició (Baker & Newton, 2008) (*taula 1*). Així, per exemple, Izquierdo et al. (2002) van observar en un grup d'halteròfils valors absoluts i relatius de força màxima superiors als aconseguits per un grup de jugadors d'handbol ($1.540,2 \pm 176$ N / $19,23 \pm 0,77$ N/kg i $1.334,0 \pm 157$ N / $16,28 \pm 1,26$ N/kg, respectivament). Els jugadors d'handbol, al seu torn, van registrar valors més alts que ciclistes, corredors de mitja distància i estudiants ($1.314,5 \pm 176$ N / $18,54 \pm 2,75$ N/kg; $1.069,0 \pm 108$ N / $16,09 \pm 1,37$ N/kg, i $1.030,0 \pm 49$ N / $14,52 \pm 1,37$ N/kg, respectivament). En aquesta mateixa línia, McBride et al. (2003) van observar en halteròfils i alçadors de pesos valors de la 1RM ($249,0 \pm 24,2$ kg i $214,0 \pm 12,3$ kg, respectivament) superiors als obtinguts per velocistes ($173,0 \pm 19,1$ kg) i per estudiants ($151,0 \pm 14,8$ kg). Les diferències de força màxima entre aquests grups d'esportistes podrien ser degudes a adaptacions produïdes per l'històric d'entrenament i/o a diferències en la composició de les fibres musculars (Izquierdo et al., 2002; McBride et al., 2003). Els alçadors de pesos, halteròfils i jugadors d'handbol normalment duen a terme programes d'entrenament contra resistències màximes o gairebé màximes, mentre que ciclistes, corredors de mitja distància i estudiants fan generalment entrenaments contra resistències

intermèdies-baixes o no duen a terme cap tipus de treball de força. L'entrenament de força contra resistències màximes o gairebé màximes durant anys produeix adaptacions a llarg termini traduïdes en una major coordinació intermuscular (Moritani, 1993; Sale, 2003), una major rigidesa musculotendinosa (Kubo et al., 2007, Kyrolainen & Komi, 1994), un augment en l'activació d'unitats motrius de contracció ràpida (Sale, 2003) i/o una hipertròfia selectiva en les fibres que componen les unitats motrius de contracció ràpida (Goldspink, 1992; Hakkinen, Alen & Komi, 1985; Hakkinen, Komi & Kauhanen, 1986). Així mateix, estudis previs que han comparat subjectes no entrenats amb atletes especialitzats en el treball de resistència i amb atletes de força/potència han demostrat que els atletes de resistència presenten un alt percentatge de fibres de contracció lenta, mentre que els de força/potència presenten una predominança de fibres de contracció ràpida (Costill et al., 1976; Saltin, Henriksson, Nygard, Andersen & Jansson, 1977).

Conclusions

- La literatura científica mostra com la majoria d'estudis que han emprat mostres d'esportistes entrenats per avaluar la FDM a través de la 1RM ho han fet utilitzant procediments de mesura molt similars. Tots aquests protocols es basen en un increment progressiu de la intensitat de la càrrega en percentatges de la 1RM estimada pel subjecte, seguit d'un increment progressiu de la càrrega en quilograms de pes fins a la fallada en l'execució del subjecte. A més a més, s'ha comprovat com tots els subjectes van necessitar entre dos i sis intents per aconseguir el valor del seu 1RM, i les recuperacions entre intents van ser completes.
- Dels treballs revisats, destaca la variabilitat en els resultats publicats. Aquesta heterogeneïtat en les dades es pot deure a diferències relacionades amb l'edat i el sexe dels subjectes, amb la tècnica d'execució de l'exercici d'esquat i/o amb l'historial d'entrenament de força dels subjectes segons pràctica esportiva:
- Respecte a l'edat dels subjectes, el pas dels anys (unit a uns nivells d'activitat física que són cada vegada més baixos i/o de menor intensitat) produeix una disminució en la capacitat de generar força màxima deguda fonamentalment a la pèrdua de massa muscular produïda per la reducció en la

grandària i/o per la pèrdua de fibres musculars (especialment de fibres de contracció ràpida).

- Les característiques antropomètriques i fisiològiques que diferencien homes de dones (pes, talla, composició corporal) influeixen clarament en la producció dels nivells més baixos de força màxima en el sexe femení.
- En relació amb la tècnica d'execució de l'exercici d'esquat, la profunditat que s'aconsegueix amb el moviment de flexió dels genolls influeix en la capacitat del subjecte per aplicar força màxima. D'aquesta manera, els valors de la 1RM són més alts quan l'angulació de partida del subjecte en l'execució de l'exercici d'esquat se situa per sobre dels 90° de flexió de genolls. Aquesta angulació permet un moviment més explosiu a causa de la relació avantatjosa tensió-longitud en els extensors de genoll i maluc.
- Les adaptacions produïdes per l'historial d'entrenament i/o per diferències en la composició de les fibres musculars de subjectes que practiquen diferents modalitats esportives o subjectes que practiquen la mateixa modalitat esportiva però en diferents nivells de competició, també són factors determinants que influeixen en el rendiment de la FDM (1RM) produïda en l'exercici d'esquat.
- És destacable l'absència de treballs d'investigació en què s'analitzin les característiques dinàmiques i cinemàtiques de la 1RM en l'exercici d'esquat. En aquest sentit, des d'aquesta revisió se suggereix la necessitat de futurs estudis en què s'analitzin aquestes característiques en les diferents variants de l'exercici d'esquat tradicional (p. ex., esquat tradicional amb diferents angulacions de genoll) o es comparin aquestes característiques en grups de subjectes de diferent sexe, edat i/o historial d'entrenament de força. Així mateix, seria interessant analitzar com evolucionen aquestes característiques després d'un període d'entrenament sistemàtic de força amb càrregues màximes o gairebé màximes en un mateix grup de subjectes.

Referències

- 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. A. B. H. Matsui & K. Kobayashi (Eds.), *Biomechanics VIII* (pàg. 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. (Setembre, 1992). Adaptations in co-activation 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 (Tesi de mestratge). 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. A W. E. Garret & D. F. Kirkendall (Eds.), *Exercise and Sport Science* (pàg. 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. A P. V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (pàg. 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. A T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *NSCA's Essentials of Strength Training and Conditioning* (2a ed., pàg. 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. A P. V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (pàg. 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 older 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., & Sjöström, M. (1983). Distribution of different fiber types in human skeletal muscles. 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., & Sjöström, 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., ... Hurleu, 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. A J. D. Mcdougall, H. D. Wenger, & H. J. Green (Eds.), *Physiological Testing of the High Performance Athlete* (pàg. 21-106). Champaign (IL): Human Kinetics.
- Sale, D. G. (2003). Neural adaptation to strength training. A P.V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (2a ed., pàg. 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