

Efecte de la inducció de la potenciació posttetànica muscular sobre els factors de rendiment en un gest dinàmic del tren superior

■ **BERNARDO REQUENA SÁNCHEZ**

■ **MIKEL ZABALA DÍAZ**

■ **IGNACIO CHIROSA RÍOS**

Llicenciats en Educació Física

■ **PAULINO PADIAL PUCHE**

■ **MANUEL MARTÍNEZ MARÍN**

Doctors en Educación Física.

Departament d'Educació Física i Esportiva. Universitat de Granada

■ *Paraules clau*

Potenciació posttetànica, Eficiència mecànica, Estimulació elèctrica percutània, Potència muscular

■ Abstract

Posttetanic potentiation (PTP) was induced by means of the electrical stimulator unit Compex Sport 3 on triceps brachialis of 9 team handball players of an intermediate competitive level. By means of an intra subject design or of repeated measures the magnitude of the PTP was evaluated at 5 pre-established moments (5 s, 30 s, 60 s, 180 s, 300 s) after the cessation of the percutaneous electrical stimulation (PES). The magnitude of the PTP was measured by extensions of the triceps and by use of the dynamometer Isocontrol Dinámico 3.0. This dynamometer measured the descriptions of the mechanical efficiency of the selected gesture: maximum power (Pmáx) and the time necessary to reach it (Tpmáx). It was observed that the Pmáx did not increase significantly in the potentiated state although slight changes were observed ($P = 0.057$). On the contrary, the Tpmáx decreased significantly during the potentiated state. In addition, there existed a significant difference ($P < 0.05$) between the value of the Tpmáx in non-potentiated state (P0) and the value of the Tpmáx in potentiated state at the moments T1, T4 and T5. The data indicate that the PTP caused an improvement in the mechanical efficiency of the specific gesture.

■ Key words

Posttetanic potentiation, Mechanical efficiency, Percutaneous electrical stimulation, Muscular power

Resum

La potenciació posttetànica (PPT) va ser induïda mitjançant l'electroestimulador Compex Sport 3 sobre el tríceps braquial de 9 jugadors d'handbol de nivell competitiu mitjà. A través d'un disseny intra-subjecte o de mesures repetides, es va avaluar la magnitud de la PPT en 5 moments preestablerts (5 s, 30 s, 60 s, 180 s i 300 s) després del cessament de l'estimulació elèctrica percutània (EEP). La magnitud de la PPT es va quantificar sobre el gest d'"extensions de tríceps ajaguts" i mitjançant l'ús del dinamòmetre Isocontrol Dinàmic 3.0. Aquest dinamòmetre va mesurar els descriptors de l'eficiència mecànica del gest seleccionat: potència màxima (Pmàx) i el temps necessari per assolir-la (Tpmàx). Es va observar que la Pmàx no va augmentar de forma significativa en l'estat "potenciat" encara que es van observar indicis de significació ($P = 0.057$). Per contra, el Tpmàx va disminuir de forma significativa durant l'"estat potenciat". A més a més, hi va haver una diferència significativa ($P < 0.05$) entre el valor del Tpmàx en estat "no potenciat" (P0) i el valor del Tpmàx en estat "potenciat" en els moments T1, T4 i T5. Les dades indiquen que la PPT va provocar una millora en l'eficiència mecànica del gest realitzat.

Introducció

És assumit comunament que l'activitat prèvia pot influir en el funcionament posterior del múscul esquelètic (Abbate i col., 2000). L'activació muscular precedent a la contracció pot produir tant una disminució de la capacitat de rendiment neuromuscular (produint fatiga i entenent aquesta com un decreixement en la producció de força –F– (Gibson i col., 2001) com augmentar-la. Aquest increment en la F desenvolupada com a resultat d'una activació prèvia és anomenada potenciació (Abbate i col., 2000). D'aquesta forma, la F de contracció és més gran després d'una breu tetània muscular que abans d'aquesta. Aquest increment és anomenat potenciació posttetànica (PPT). En humans, la PPT s'ha evocat de manera exògena mitjançant contraccions voluntàries de caràcter màxim (CVM) no superiors a 10 s de durada (Alway i col., 1987; Green i Jones, 1989; Houston i Grange, 1985; Petrella i col., 1989; Vandervoort i col., 1983) o mitjançant estimulació elèctrica percutània (EEP) de caràcter tetànic (Hamada i col., 1997, 2000a, 2000b; O'Leary i col., 1997, 1998; Pääsuke i col., 1999, 2000). Igualment, la potenciació pot desencadenar-se de forma endògena, en general a través de polsos d'alta freqüència inicial, fenomen esdevingut a l'inici de moviments balístics (Abbate i col., 2000).

Després de l'aplicació de l'estímul inductor de la potenciació (múscul en "estat potenciat"), la magnitud de la PPT minva fins als valors basals (propis de l'estat "no potenciat") en un període de temps que oscil·la entre 5 i 20 min, amb un temps mitjà de 10 min (Houston i Grange, 1985; O'Leary i col., 1997; Vandervoort i col., 1983).

Als estudis revisats en què s'ha induït de manera exògena la PPT, aquesta s'ha mesurat mitjançant accions musculars isomètriques generades per polsos elèctrics aïllats i sobre gests monoarticulars. Només s'ha revisat un estudi en què s'ha avaluat l'efecte de la PPT sobre un gest dinàmic de caràcter voluntari (Stuart i cols., 1988). En aquests treballs s'ha mostrat com la inducció exògena de la PPT, provoca un increment significatiu de la punta de força màxima i una disminució igualment significativa del temps per arribar-hi (Alway i col., 1987; Hamada i col., 2000a, 2000b; O'Leary i col., 1997, 1998; Petrella i col., 1989). A més a més, es comprova que la PPT s'associa a un ritme de producció de força per unitat de temps incrementat (O'Leary i col., 1997; Palmer i Moore, 1989; Vanderboom i col., 1995). Així per exemple, Hamada i col. (2000b) mostren un increment en la força màxima isomètrica (FMI) d'un 70,6 % respecte a la FMI observada en estat "no potenciat" del quàdriceps de subjectes sedentaris.

Entre els diversos processos fisiològics que expliquen la major capacitat contràctil del teixit muscular esquelètic després de la inducció exògena de la PPT, la fosforilació de la cadena lleugera de miosina reguladora (CLMr) (Decostre i col., 2000; Grange i col., 1998; Patel i col., 1998; Rassier i col., 1997) i la incrementada disponibilitat de Ca^{2+} intracel·lular durant l'activació muscular esdevinguda en l'"estat potenciat" (Pääsuke i col., 2000; Tubman i col., 1996a, 1996b), constitueixen els dos mecanismes principals a l'hora d'explicar la PPT. La magnitud de la PPT es troba afectada per les característiques dels músculs avaluats i més concretament pel tipus de fibra muscular (O'Leary i col., 1997). En humans es demostra que els grups musculars amb els temps de contracció més

curts i la major proporció de fibres ràpides (tipus II) mostren la major PPT (Hamada i col., 2000a, 2000b; O'Leary i col., 1997, 1998). Així per exemple, els gastrocnemis, amb més percentatge de fibres tipus II, mostren un major PPT que no pas el solí (Vandervoort i col., 1983). La major magnitud de la PPT a les fibres tipus II probablement està relacionada amb la seva major capacitat per a fosforilar les CLMr en resposta a una alta freqüència d'estimulació (Hamada i col., 2000a, 2000b; Hicks i col., 1991). En aquest sentit, es comprova que l'activitat de la quinasas de la CLMr és tres vegades més gran en fibres tipus II davant de fibres tipus I (Eusebi i col., 1980) i, contràriament, l'activitat de la fosfatasa de la CLMr és aproximadament quatre vegades més gran a les fibres tipus I (Moore i Stull, 1984; Stuart i col., 1988).

D'altra banda, s'ha mostrat que durant l'aplicació d'EEP es produeix un aplegament selectiu i preferent de les unitats motrius de contracció ràpida (Dudley i Harris, 1992; Maffiuletti i col., 2002). En aquest sentit, se suggereix que l'ús d'EEP com a mitjà per induir la PPT en un grup muscular determinat, resultarà més útil, per tal com es propicia un aplegament preferent de les unitats de contracció ràpida i, per tant, es generarà una major PPT. En aquest treball es pretén de comprovar l'efecte que tindria la inducció de la PPT mitjançant EEP sobre els paràmetres mecànics de rendiment d'un gest multiarticular dinàmic concèntric en ésser avaluat mitjançant un dinamòmetre específic en diferents moments de l'estat potenciat.

Material i mètode

Subjectes

Hi van participar nou individus sans de gènere masculí. Les seves característiques físiques es troben recollides a la *Taula 1*. Tots són jugadors d'handbol pertanyents a la Divisió d'Honor B masculina nacional. Cap no va presentar, al seu historial mèdic, trastorns neuromusculars. Els subjectes no van participar en programes d'entrenament de força del tren superior en les 72 h prèvies. Se'ls va recomanar abstenir-se d'ingerir cafeïna en les 24 h

■ Taula 1.

Edat i principals dades antropomètriques de la mostra seleccionada.

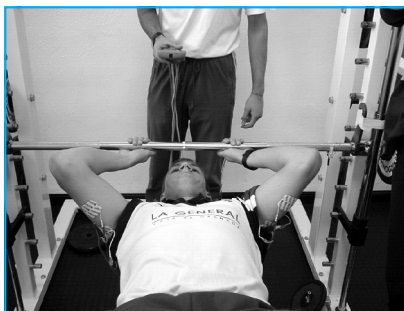
VARIABLE	VALOR MOSTRAL (MITJANA ± DT)
Edat	22,7 ± 2,9
Alçada (cm)	181,0 ± 7,9
Massa corporal (kg)	79,8 ± 8,6

precedents a l'experiment (McIntosh i Gardiner, 1987). Els subjectes van participar sota consentiment informat.

Material

La magnitud de la PPT es va avaluar mitjançant la utilització del dinamòmetre Iso-control Dinàmic 3.0 (JLML I+D, Madrid, Espanya). Aquest dinamòmetre posseeix un sensor extern que li permet de realitzar un mesurament directe de l'espai (amb una precisió directa de $\pm 0,2$ mm) relacionat amb el temps (freqüència 1KHz); obtenia una dada cada mil·lisegon. El dispositiu d'acoblament del sensor extern va ser col·locat a la barra guiada d'un pòrtic de musculació (Gerva Sports, Madrid, Espanya) de 2 m d'alçada. L'ús del pòrtic va permetre una trajectòria vertical de la barra guiada i, per tant, un desplaçament vertical del dispositiu d'acoblament del sensor de força dinàmica, cosa que va evitar el desplaçament del sensor respecte a l'eix zero graus, tot reduint l'error de mesura del dinamòmetre a un 0 %. També es va emprar un banc de musculació clàssic (Gerva Sports, Madrid, Espanya) de 0,60 m d'alçada, sobre el qual es van posicionar els subjectes per a l'avaluació.

D'altra banda, la PPT es va provocar mitjançant el programa de potenciació inclòs al menú de l'electroestimulador Compex Sport 3® (MediCompex SA, Ecublens, Switserland). Es tracta d'un aparell d'electroestimulació portàtil, dissenyat de forma exclusiva per a l'entrenament esportiu. Es caracteritza bàsicament per: a) l'alliberació d'un corrent polsat compost d'impulsos elèctrics rectangulars bifàsics simètrics amb una amplitud de 400 μs , b) presentar un rang d'intensitat de corrent modulable entre 0 i 120 mA. Els electro-



Posició de partida del moviment d'avaluació seleccionat.

des (2 mm de gruix) utilitzats per a l'EEP van ser de tipus elastòmers i autoadhesius. Així, sobre el ventre de cada tríceps braquial, es va situar un elèctrode negatiu de més superfície (10 cm x 5 cm) i dos de positius més petits (5 cm x 5 cm).

Procediment

Per a la descripció coherent del procediment seguit durant la fase experimental, cal fer la distinció dels apartats següents:

Moviment d'avaluació

El moviment seleccionat per a ser analitzat és conegut amb la denominació "extensions de tríceps ajaguts" (García, 1999) (*Foto*). Consisteix en el desplaçament de la barra guia del pòrtic mitjançant una extensió de tots dos colzes, mentre el subjecte roman ajagut supí sobre el banc d'avaluació i amb els braços perpendiculars al cos. La barra descansa de forma estàtica sobre els suports del pòrtic; es troba situada aprox. 5 cm sobre el front del subjecte, tot permetent una acció fonamentalment concèntrica. D'altra banda, aquest moviment era practicat assíduament pels subjectes, com un dels moviments bàsics del seu programa de musculació.

Estimulació elèctrica

Amb 24 h d'antelació a l'inici de la sessió principal, el grup va participar en una sessió pràctica que els va permetre de familiaritzar-se amb els diferents paràmetres de l'EEP. A més a més, cap dels subjectes no havia utilitzat l'EEP anteriorment.

En totes dues sessions, de familiarització i principal, els subjectes van ser sotmesos al mateix programa d'EEP.

Aquest tenia una durada de 180 s, i constava d'una estimulació de baixa freqüència (10 Hz) alternada amb intervals d'alta freqüència (120 Hz) en els quals s'aconsegueix un estat de tetània muscular fugaç (1,5 s). Així, durant els 180 s de durada total del programa, es generen un total de 8 tetànies.

Durant l'estimulació, els subjectes es van posicionar ajaguts d'esquena sobre el banc de musculació, amb tots dos peus recolzats sobre el terra i els genolls flexionats aproximadament 90°. Els braços es van situar en la posició d'inici del moviment d'avaluació, tal com s'ha descrit en l'apartat anterior. En aquesta actitud articular, els subjectes van ser sotmesos al programa d'EEP inductor de la PPT. La barra, durant l'aplicació de l'EEP, estava fixa i, per tant, l'acció muscular induïda elèctricament va ser de tipus isomètric.

D'altra banda, es va estimular mitjançant EEP el tríceps braquial de tots dos braços de forma simultània. Aquest múscul va ser seleccionat tant per ser l'únic agonista del moviment d'avaluació, com per la seva ubicació anatòmica superficial, la qual cosa en facilita l'estimulació percutània mitjançant EEP.

Els dos elèctrodes positius, van ser situats sobre la porció distal dels ventres medial i lateral del tríceps braquial. L'elèctrode negatiu, es va situar sobre el cap llarg del tríceps. La intensitat (0-120 mA) va ser monitorada directament i incrementada gradualment fins al nivell de màxima tolerància, el qual va oscil·lar entre 35 i 66 mA, segons les diferències en el llindar del dolor inter subjecte. Cap subjecte no va mostrar símptomes significatius de desconfort.

Protocol

Sessió de familiarització. De forma prèvia (24 h abans) a l'inici de la sessió de recollida de dades o sessió principal, els subjectes van ser sotmesos a una sessió de familiarització. En aquesta, es van pretendre els objectius següents: a) proporcionar la informació necessària sobre els procediments a seguir, b) afavorir l'habitució dels subjectes al programa de potenciació, i per tant, a les sensacions ocasionades per la contrac-

ció induïda mitjançant EEP, atès que cap subjecte no tenia experiència en l'ús d'EEP, c) determinar el valor d'intensitat màxim (rang 0-120 mA) per a cada subjecte, d) trobar i registrar el valor de la resistència externa específica (REE). El valor de la REE equival al valor en el qual el subjecte manifesta la seva potència màxima, és a dir, arriba a una velocitat mitjana d'aproximadament 1m/s (González-Badillo, 2000).

La primera part de la sessió de familiarització es va centrar en la transmissió de la informació relacionada amb els procediments a seguir. Aquesta part informativa es va realitzar al mateix lloc de l'avaluació, mitjançant comunicació verbal i audiovisual. Tot seguit, els subjectes van executar un escalfament protocol·litzat. Aquest consistia en la realització de: 5 minuts de rem a una intensitat de 80 W, extensions de tríceps davant de resistència lleu (10 kg), estiraments passius de la musculatura implicada i 4 repeticions del gest del test a velocitat moderada.

Després de l'escalfament, es va passar a executar la resta dels objectius indicats anteriorment. Així, d'una banda, es va determinar la REE mitjançant l'execució d'un test progressiu. Aquest test va consistir en la realització de dues repeticions per cada pes, començant tots els subjectes pel pes de la mateixa barra (20 kg). A partir d'aquesta primera resistència, la resta de les sèries es va realitzar amb 5 o 10 kg més en funció de la velocitat desenvolupada pel subjecte amb el pes precedent. Es va pretendre que no es realitzessin més de quatre sèries fins a determinar la REE. La recuperació entre sèries va ser completa (3 min.).

D'altra banda, un cop establerta la REE, cada subjecte va experimentar el protocol d'EEP inductor de la potenciació. La intensitat del corrent va ser incrementada gradualment fins a assolir la màxima tolerable per a cada subjecte, i aquest valor va ser registrat. Mitjançant l'ús d'un llapis dèrmic, es va dibuixar el contorn de cada elèctrode sobre la pell del subjecte.

Sessió principal. A l'arribada al lloc d'avaluació, els subjectes es van asseure i van descansar durant 20 minuts abans de co-

mençar el protocol preestablert. A continuació, els subjectes van executar el protocol següent: a) Escalfament estandarditzat, igual com el realitzat a la sessió de familiarització; b) Dos minuts de repòs després de l'escalfament, temps necessari per a la ubicació del subjecte en la posició estandarditzada (posició prèvia a l'execució del moviment d'avaluació) i per a la predisposició d'aquest per a les fases següents del protocol; c) Avaluació de la $P_{m\grave{a}x}$ (P_0) i $T_{pm\grave{a}x}$ (T_{P0}) en estat "no potenciat". Els subjectes van efectuar el moviment d'avaluació i davant la REE establerta en la sessió de familiarització. Es van realitzar tres repeticions del moviment d'avaluació amb 30" de recuperació entre cada intent. Als subjectes se'ls va recordar reiteradament que cada una d'aquestes tres repeticions havia de realitzar-se amb una intensitat màxima. El millor dels tres intents –prenent com a referència la $P_{m\grave{a}x}$ – va ser seleccionat com a valor de referència en estat no potenciat d) Cinc minuts de repòs absolut, és a dir, es va procurar que els subjectes realitzessin el menor nombre de moviments possible. Per això, els subjectes van romandre en decúbit supí damunt del mateix banc de musculació sobre el qual es va realitzar el moviment d'avaluació. Durant aquest interval de temps, els elèctrodes van ser col·locats sobre el tríceps braquial a tots dos braços. La col·locació es va realitzar sobre les marques dèrmiques realitzades en la sessió de familiarització i, per tant, la posició dels elèctrodes va ser idèntica en ambdues sessions; e) Inducció de la PPT mitjançant EEP. El valor d'intensitat màxima tolerada per cada subjecte, obtingut en la sessió de familiarització, es va prendre com a referència. Tanmateix, es va pretendre d'incrementar aquest valor fins arribar al llindar del dolor de cada subjecte; es va comprovar que la intensitat mitjana assolida pel total de la mostra, va ser 13 mA superior a la recollida en la sessió anterior; f) Avaluació de la $P_{m\grave{a}x}$ i $T_{pm\grave{a}x}$ en estat "potenciat". Tot just finalitzat el programa d'EEP inductor de la PPT, es va tornar a executar el moviment d'avaluació davant la REE. Aquest es va efectuar en cada un dels instants següents: 5 s (T_1), 30 s (T_2), 60 s (T_3), 180 s (T_4) i 300 s (T_5); un cop finalitzada l'estimulació

elèctrica. Així per exemple, al T_1 es van obtenir els valors P_1 –referit al valor de la $P_{m\grave{a}x}$ al T_1 – i TP_1 –que indica el valor del $T_{pm\grave{a}x}$ en l'instant T_1 –, en el T_2 els valors P_2 i TP_2 ... i així successivament. En cada un dels moments preestablerts durant l'estat "potenciat" (T_1 , T_2 , T_3 , T_4 i T_5), el moviment d'avaluació es va realitzar una sola vegada, per això es va informar reiteradament cada subjecte (especialment durant l'aplicació de l'EEP) sobre la necessitat d'aplicar la màxima intensitat en cadascuna de les execucions.

Mesures

Les mesures realitzades sobre cada execució del moviment d'avaluació han estat la $P_{m\grave{a}x}$ i el $T_{pm\grave{a}x}$. D'una banda, la $P_{m\grave{a}x}$ denota el major valor de potència obtingut en tot el moviment, i s'expressa en watts (W). D'una altra, el $T_{pm\grave{a}x}$ indica el temps necessari per assolir el màxim valor de potència, i s'expressa en mil·lisegons (ms). El mesurament es va realitzar en el mode Test Manual de l'Isocontrol Dinàmic 3.0. Sota aquest mode, l'enregistrament de cada repetició es va poder ajustar als instants preestablerts (T_0 , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 i T_5).

Estadística

El registre de les dades i el tractament gràfic d'aquestes es va portar a terme al Full de Càlcul Excel (Microsoft Windows 2000), mentre que el tractament estadístic es va efectuar mitjançant el programa estadístic SPSS 10 per a Windows. Es va aplicar l'anàlisi de variància per a mesu-

res repetides, comparant els valors de $P_{m\grave{a}x}$ i $T_{pm\grave{a}x}$ en els moments preestablerts (T_0 , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 i T_5) per determinar les diferències significatives entre les diferents mesures per a cada subjecte. Així mateix, es van utilitzar les proves de contrast intrasubjectes per poder determinar en quin dels moments preestablerts s'esdevenen diferències significatives entre l'estat "no potenciat" i el "potenciat". Es va seleccionar com a nivell de significació un valor de $P < 0.05$.

Resultats

Referents

a la potència màxima ($P_{m\grave{a}x}$)

La $P_{m\grave{a}x}$ no va augmentar de forma significativa durant l'estat potenciat. Així, mitjançant l'anàlisi de variància de mesures repetides no es troben diferències significatives ($P = 0.057$) en els valors adoptats per aquesta variable en cada un dels moments de mesurament preestablerts, tant en l'estat "no potenciat" (P_0) com "potenciat" (P_1 als 5 s, P_2 als 30 s, P_3 als 60 s, P_4 als 180 s i P_5 als 300 s) (Taula 2). Així mateix, com que hi ha indicis de significació, es va procedir a realitzar una anàlisi de contrast *a posteriori* mitjançant les proves de contrast intrasubjectes. Així, es comprova l'existència d'una diferència significativa ($P < 0.05$) entre el valor de la $P_{m\grave{a}x}$ en estat no potenciat (P_0) i el valor de la $P_{m\grave{a}x}$ en el moment P_2 (Taula 3).

■ Taula 2.

Valors estadístics derivats de l'anàlisi factorial de la variància per a la $P_{m\grave{a}x}$.

VARIABLE	GI	MITJANA QUADRÀTICA	F	SIGNIFICACIÓ
$P_{m\grave{a}x}$	3	13435,62	2,17	,076

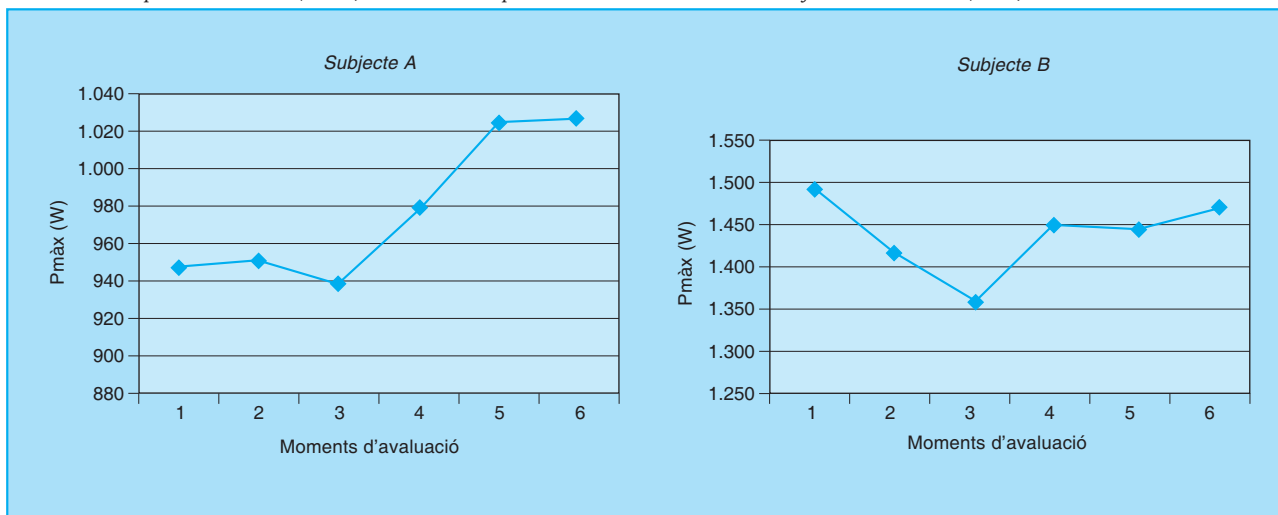
■ Taula 3.

Valors estadístics derivats de la prova de contrast intrasubjectes per a la variable $P_{m\grave{a}x}$.

MOMENTS COMPARATS	GI	MITJANA QUADRÀTICA	F	SIGNIFICACIÓ
P_1-P_0	1	19302,47	4,95	,057
P_2-P_0	1	36967,75	6,27	,037
P_3-P_0	1	24672,03	,70	,427
P_4-P_0	1	4869,24	,47	,511
P_5-P_0	1	3199,41	,34	,572

■ FIGURA 1.

Evolució de la potència màxima (Pmàx) en els moments preestablerts d'avaluació en dos subjectes de la mostra (A i B).



La figura 1 il·lustra un exemple representatiu de l'evolució de la Pmàx en els moments d'avaluació seleccionats en els estats "no potenciat" i "potenciat" en dos subjectes participants de l'estudi. A tots dos gràfics, es comprova l'enorme variabilitat existent en tots dos casos. Així, el subjecte A va generar un increment del 8,47 % en el P5 (300s) respecte al valor de Pmàx generat en l'estat "no potenciat". Tanmateix, el subjecte B obté valors de Pmàx inferiors a l'obtingut en estat "no potenciat" en tots els moments d'avaluació posttetànica. Tot i amb això, el valor de P obtingut per aquesta variable es troba prop de la seva significança.

Referents al temps necessari per aconseguir la potència màxima (TPmàx)

El TPmàx va créixer de forma significativa durant l'avaluació efectuada en l'"estat potenciat". Així, mitjançant l'anàlisi factorial de la variància es troben diferències significatives ($P < 0.05$) en els valors adoptats per aquesta variable en tots els moments de mesurament preestablerts (T1 als 5 s, T2 als 30 s, T3 als 60 s, T4 als 180 s i T5 als 300 s) (Taula 4).

D'altra banda, mitjançant les proves de contrast intrasubjectes es comprova l'existència d'una diferència significativa ($P < 0.05$) entre el valor de la TPmàx

en estat no potenciat (P0) i el valor de la TPmàx en el moment T1, T4 i T5 (Taula 5).

La figura 2 il·lustra un exemple representatiu de l'evolució del TPmàx generat per un subjecte, en els diferents moments d'avaluació planificats en els estats "no potenciat" i "potenciat". Aquest gràfic ha estat seleccionat perquè es pot considerar representatiu de la tendència adoptada per aquesta variable en tots els subjectes. Així, en aquest cas, el subjecte experimenta una reducció màxima del TPmàx d'un 6,3 % (25 ms) en el moment T1 (als 5 s del començament de l'"estat potenciat"), aquest percentatge va créixer lleugerament al llarg dels diferents moments d'avaluació, i va arribar al seu valor més gran en el T5 (7,3 %). (Figura 2)

■ Taula 4.

Valors estadístics derivats de l'anàlisi factorial de la variància per al TPmàx.

VARIABLE	GI	MITJANA QUADRÀTICA	F	SIGNIFICACIÓ
Tpmàx	5	6740,65	3,75	,007

■ Taula 5.

Valors estadístics derivats de la prova de contrast intrasubjectes per a la variable TPmàx.

MOMENTS COMPARATS	GI	MITJANA QUADRÀTICA	F	SIGNIFICACIÓ
T1-T0	1	38809,0	9,48	,015(*)
T2-T0	1	19321,0	4,68	,062
T3-T0	1	31565,4	4,41	,069
T4-T0	1	38416,0	6,27	,037(*)
T5-T0	1	52441,0	8,86	,018(*)

Discussió

La principal troballa de l'estudi que presentem és que, sobre un gest dinàmic de caràcter multiarticular i generat mitjançant una acció concèntrica de caràcter voluntari, els dos paràmetres mecànics seleccionats (Pmàx i TPmàx) per quantificar l'efecte de la PPT tendeixen a millorar en cadascun dels subjectes estudiats després de l'aplicació d'un estímul inductor mitjançant EEP.

Només s'ha revisat un estudi en què s'ha mesurat l'efecte de la PPT sobre una acció dinàmica concèntrica de caràcter voluntari. En aquest estudi, Stuart i col. (1988) van quantificar l'efecte de la PPT sobre la màxima velocitat d'extensió de genoll. Van comprovar que després de l'aplicació de l'estímul inductor de PPT, la màxima velocitat d'extensió tendia a ser més gran en l'estat potenciat, encara que l'increment esmentat (5 %) no va ser estadísticament significatiu. En aquest treball, l'estímul inductor va consistir en una CMV isomètrica de 10 s del quàdriceps, amb un angle de genoll de 90°. Després de l'aplicació de l'estímul inductor, els subjectes van realitzar extensions màximes de genoll als 20, 30, 40, 60 i 120 s. La comparació dels procediments entre el treball citat prèviament i l'estudi present, suscita interès pel fet de ser tots dos, les úniques investigacions que han quantificat la PPT sobre una acció dinàmica concèntrica en la musculatura humana i sobre gests d'execució similar. Tanmateix, l'estudi de Stuart *et al.* (1988) es diferencia fonamentalment del nostre treball en el fet que, d'una banda, s'ha utilitzat com a estímul inductor de la PPT una CMV de caràcter isomètric i, d'altra banda, s'ha avaluat l'efecte de la PPT sobre una acció concèntrica sense resistència externa.

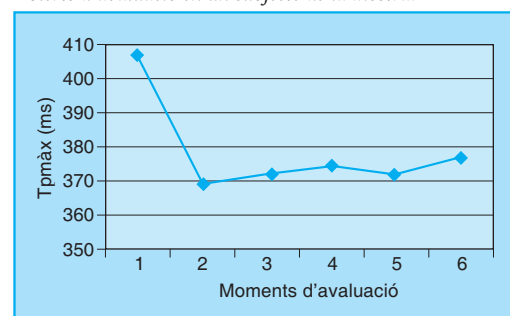
Així, en primer lloc, l'ús d'una CMV com a estímul inductor de la PPT ha estat àmpliament utilitzat en la literatura revisada (Alway i col., 1987; Belanger i col., 1983; Green i Jones, 1989; Hamada i col., 1997; Houston i Grange, 1990, 1991; Petrella i col., 1989; Stuart i col., 1988; Vandervoort i McComas, 1986; Vandervoort i col., 1983), i s'ha comprovat que el seu ús s'ha efectuat en un nombre d'estudis més gran que no pas l'EEP. En certs treballs (Vandervoort i McComas, 1983, 1986) s'han observat augments de la PPT més grans mitjançant l'ús de CMV com a estímul inductor davant de l'EEP. O'Leary *et al.* (1997) suggereixen que la raó més probable davant d'aquest fenomen és que mitjançant l'ús de la CMV com a estímul inductor de la PPT, un major nombre de grups musculars –sinergistes i fixadors– es potenciïn i, per tant, això

doni com a resultat un major nombre de fibres musculars en estat potenciat. Tanmateix, existeixen diversos factors que argumenten que l'EEP davant de la CMV, constitueix un mitjà més eficient per induir la PPT: 1) la principal limitació de l'ús de la CMV per provocar la PPT és la incapacitat d'alguns subjectes d'activar completament els seus músculs. Això comporta que no s'assoleixi una potenciació màxima i per tant, que es causi una major variació intersubjecte (O'Leary i col., 1997, 1998). 2) L'ús de l'EEP a un nivell màxim i constant (O'Leary i col., 1997), a més a més de produir una activació completa del grup muscular desitjat, permet de mesurar la capacitat de producció de F dels músculs, independentment de la voluntat, del nivell d'habilitat i especialment, del grau de motivació dels subjectes (Petrella i col., 1989). 3) L'ús d'EEP com a mitjà per induir la PPT en un grup muscular determinat, resultarà més útil, per tal com es propicia un aplegament preferent de les unitats motrius de contracció ràpida, i en conseqüència, es generarà una major PPT a causa del major contingut miofibril·lar de CLM d'aquesta mena de fibres (tipus II) (Hamada i col., 2000b).

D'altra banda, Stuart *et al.* (1988) van utilitzar com a moviment d'avaluació, l'extensió monopodal de genoll sense resistència externa. En aquest moviment, en realitzar-se sobre una resistència externa inapreciable, no es pot arribar a manifestar la força explosiva màxima (Zatsiorsky, 1995). Aquest valor de força es defineix com la *màxima producció de força per unitat de temps* (Siff i Verkoshansky, 1995), i s'hi suggereix que l'aplegament de les unitats motrius fàssiques és al màxim, voluntari. Així, Hakkinen *et al.* (1984) mostren que aquest valor de força s'assoleix amb dues condicions; d'una banda, la resistència externa s'aproxima al ~30 % de la FIM i, d'altra banda, la velocitat mitjana que el subjecte desenvolupa és de ~1 m/s. Així mateix, tenint en compte que el principal factor determinant de la magnitud de la PPT és el tipus de fibra muscular (Hamada i col., 2000a, 2000b), atès que en humans es demostra de quina forma els grups musculars amb

■ FIGURA 2.

Evolució de la TPmàx en els moments preestaberts d'avaluació en un subjecte de la mostra.



els temps de contracció més curts i la major proporció de fibres ràpides (tipus II) mostren la major PPT (Hamada i col., 1997, 2000b; Moore i col., 1985; O'Leary i col., 1997).

Tot i amb això, se suggereix que les característiques del moviment seleccionat per avaluar la PPT han d'ajustar-se per tal d'aconseguir que en la seva execució s'aplegui el màxim nombre d'unitats motrius fàssiques (o de contracció ràpida). Per això, en aquest treball: a) Es va utilitzar la resistència externa en la qual cada subjecte desenvolupava la seva força explosiva màxima i b) la mecànica del gest seleccionat va ser la d'una cadena cinètica tancada i d'empenta, en la qual la resistència externa (barra guiada) s'havia de llançar. La possibilitat de projectar la resistència externa, permet al subjecte d'augmentar la velocitat de la barra guiada durant tot el recorregut en què aquesta es troba en contacte amb el subjecte (Wilson i col., 1996).

En conseqüència, se suggereix que en el moviment d'avaluació seleccionat en el nostre estudi, i a partir dels condicionants esmentats anteriorment, el subjecte desenvoluparà el màxim aplegament voluntari d'unitats motrius fàssiques i, per tant, manifestarà en més alt grau la magnitud de la PPT. Tanmateix, Gardiner (2002) assenyala que l'aplegament d'unitats motrius en accions dinàmiques concèntriques a màxima velocitat és un fenomen encara desconegut. En aquest sentit, destaca el treball de Kossev i Christova (1998) en el qual van observar que els moviments concèntrics provoquen una

descàrrega inicial d'alta freqüència (polsos d'alta freqüència inicial) seguits per intervals més amplis entre polsos (freqüències més baixes). Aquests autors demostren que la major relació força-temps es produeix a l'inici del moviment, durant la fase estàtica del moviment, per vèncer la inèrcia de la resistència externa. Aquests resultats concorden amb el concepte de força inicial proposat per Siff i Verkhoshansky (1995). Segons aquest autor, la força inicial és la força que es produeix durant els primers 30 ms del moviment i sota condicions isomètriques. González-Badillo (2000) també considera que el màxim valor de força inicial coincideix amb la força explosiva màxima esmentada anteriorment. A més a més, la força inicial és considerada dependent de factors genètics, és a dir, és un valor de força difícilment millorable mitjançant l'entrenament.

Igualment, davant de resistències molt lleugeres o inexistents, com s'esdevenia a l'estudi de Stuart *et al.* (1988), cabria la possibilitat que la força inicial no arribés a manifestar-se en el seu màxim valor, i per tant no s'arribés a la força explosiva màxima (González-Badillo, 2000). Tot i això, es pot plantejar com a hipòtesi que el major aplegament voluntari d'unitats motrius fàsiques que un subjecte pot realitzar en un determinat moviment i en una acció muscular concèntrica, es produirà davant una resistència externa en què es generi la força explosiva màxima i, per tant, el major valor de força inicial.

D'altra banda, en el nostre treball s'inclouen d'altres elements, a part dels esmentats anteriorment, que també el diferencien del treball de Stuart *et al.* (1988) i que argumenten les millores obtingudes en la magnitud de la PPT. En aquest sentit, s'ha seleccionat un gest que habitualment els subjectes inclouen en la seva rutina d'entrenament setmanal, amb la qual cosa es va pretendre d'eliminar la variable contaminant causada per l'aprenentatge (Rutherford i Jones, 1986). A més a més, que sigui un gest habitualment practicat i entrenat, afavorirà la manifestació d'una major PPT. Així, Hamada *et al.* (2000a) van comprovar que la PPT era significativament més gran en els músculs entre-

nats amb l'entrenament tant de força com de resistència, davant la PPT observada en els grups musculars no entrenats. Igualment, la mostra seleccionada ha estat homogènia pel que fa als factors edat, sexe i nivell de condició física, factors influents en la magnitud de la PPT (Pääsuke i col., 1999, 2000).

En un altre sentit, per a la valoració de la PPT han estat seleccionats dos paràmetres mecànics fins ara inèdits en la bibliografia afí a la PPT: la potència màxima (W) i el temps utilitzat per assolir-la (ms). En correspondència amb González-Badillo (2000) el que interessa de mesurar en l'esport és la força aplicada, perquè d'aquesta depèn la potència que es pugui generar, que és, des del punt de vista del rendiment físic, el factor determinant del resultat esportiu. Així mateix, aquest mateix autor, considera que en l'avaluació de la potència caldrà determinar tant la punta màxima (P_{màx}), com la relació entre P_{màx} i el temps utilitzat per aconseguir-la (TP_{màx}). Aquesta concepció de la P_{màx} i de la TP_{màx} com a descriptors mecànics de l'eficiència d'un gest esportiu ha estat igualment proposat per altres autors (Siff i Verkhoshansky, 1995; Zatsiorsky, 1995). La lògica d'aquest plantejament resideix en el fet que gairebé la totalitat d'especialitats esportives tenen com a objectiu arribar a un determinat valor de força i velocitat (potència màxima) al mateix temps que es manté o es redueix el temps per aconseguir-lo (temps per a la potència màxima) (González-Badillo, 2000), i en conseqüència caldria mesurar i valorar tant la punta de força i velocitat (P_{màx}) com el temps emprat a aconseguir-ho (TP_{màx}).

D'altra banda, a excepció de Stuart *et al.* (1988), la resta dels treballs revisats que han provocat la PPT mitjançant EEP en grups musculars del cos humà, han avaluat la magnitud de la PPT en accions isomètriques. En tots, la PPT provoca un increment estadísticament significatiu de la FIM i una disminució (en general significativa) en el TFIM i el TR1/2 (Hamada i col., 2000a, 2000b; O'Leary i col., 1997, 1998; Vandervoort i McComas, 1986). A més a més, en aquests treballs,

durant l'estat potenciat, la magnitud de la PPT es va avaluar mitjançant accions isomètriques provocades de manera exògena mitjançant EEP i, per tant, sense la participació voluntària del subjecte. En conseqüència, hi ha massa diferències metodològiques com per poder establir comparacions amb els resultats obtinguts en el nostre estudi. Tanmateix, a la llum dels resultats obtinguts en aquest treball, es comprova que la tendència és similar a l'observada als treballs citats anteriorment. És a dir, durant l'estat potenciat, el teixit muscular esquelètic presenta una major capacitat contràctil que es manifesta en una major força generada i en un temps més curt d'aplicació d'aquesta. En el present treball, es comprova com el TP_{màx} arriba a reduir-se en 25 ms en alguns subjectes, mentre el valor de la potència es manté o fins i tot augmenta, i això, des del punt de vista del rendiment esportiu és un resultat sorprenent, si es té en compte que la major part dels gests esportius explosius tenen una durada inferior a 300 ms.

Tot i això, i encara que no s'han utilitzat els mitjans tècnics per evidenciar el mecanisme fisiològic responsable de la tendència observada en cada un dels subjectes, és a dir, generar més potència (indicis de significança) i en menys temps (significativa en els moments T1, T4 i T5, $P < 0.05$), sí que es pot concloure que l'aplicació del programa de potenciació de l'electroestimulador Compex Sport 3 sobre el tríceps braquial i sobre el gest d'avaluació seleccionat, va provocar una millora en l'execució mecànica del gest seleccionat.

Referències bibliogràfiques

- Abbate, F.; Sargeant, A. J.; Verdijk, P. W. L. i De Haan, A. (2000). Effects of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* (88), 35-40.
- Alway, S. E.; Hughson, R. L.; Green, H. J.; Patla, A. E. i Frank, J. S. (1987). Twitch potentiation after fatiguing exercise in man, *Eur. J. Appl. Physiol.* (56), 461-466.
- Belanger, A. Y.; McComas, A. J. i Elder, G. B. C. (1983). Physiological properties of two anta-

- gonistic human muscle groups. *Eur. J. Appl. Physiol.* (51), 381-393.
- Decostre, V.; Gillis, J. M. i Gailly, P. (2000). Effect of adrenaline on the post-tetanic potentiation in mouse skeletal muscle. *J. Muscle Res. Cell. Mot.* (21), 247-254.
- Dudley, G. A. i Harris, R. T. (1992). Use of electrical stimulation in strength and power training. A. P. V. Komi, *Strength and Power in Sport*. (p. 329-337) Boston: Blackwell Scientific.
- Eusebi, F.; Miledi, R. i Takahashi, T. (1980). Calcium transients in mammalian muscles. *Nature* (284), 560-561.
- García, J. M. (1999). *La Fuerza*. Madrid: Gymnos.
- Gardiner, P. F. (2002). *Neuromuscular aspects of physical activity*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Gibson, A. S. C.; Lambert, M. I. i Noakes, T. D. (2001). Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. *Sports Med.* (31), 637-650.
- González, J. J. (2000). Concepto y medida de la fuerza explosiva en el deporte. Posibles aplicaciones al entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo* (1), 5-16.
- Grange, R. W.; Vandenboom, R.; Xení, J. i Houston, M. E. (1998). Potentiation of in vitro concentric work in mouse fast muscle, *J. Appl. Physiol.* (84), 236-243.
- Green, H. J. i Jones, S. R. (1989). Does post-tetanic potentiation compensate for low frequency fatigue?, *Clin. Physiol.* (9), 499-514.
- Hakkinen, K.; Alen, M. i Komi, P. V. (1984). Neuromuscular anaerobic and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* (53), 97-105.
- Hamada, T.; Sale, D. G. i MacDougall, J. D. (2000a). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med. Sci. Sports. Exerc.* (32), 403-411.
- Hamada, T.; MacDougall, J. D.; Sale, D. G. i Moroz, J. (1997). Twitch potentiation of triceps surae and triceps brachii following voluntary contraction in trained athletes and sedentary controls. *Med Sci Sports Exerc.* (29), Suppl. 5, p. S26.
- Hamada, T.; Sale, D. G.; MacDougall, J. D. i Tarnopolsky, M. A. (2000b). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.* (88), 2131-2137.
- Hicks, A. L.; Cupido, C. M.; Martin, J. i Dent, J. (1991). Twitch potentiation during fatiguing exercise in the elderly: the effects of training. *Eur J Appl Physiol.* (63), 278-281.
- Houston, M. E. i Grange, W. R. (1990). Myosin phosphorylation, twitch potentiation, and fatigue in human skeletal muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (68), 908-913.
- (1991). Torque potentiation and myosin light chain phosphorylation in human muscle following a fatiguing contraction. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (69), 269-273.
- (1985). Myosin light chain phosphorylation and isometric twitch potentiation in intact human muscle. *Pflügers Arch.* (403), 348-352.
- Kossev, A. i Christova, P. (1998). Discharge pattern of human motor units during dynamic concentric and eccentric contractions. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Electromyogr. Motor Control* (109), 245-255.
- Maffiuletti, N. A.; Pensini, M. i Martin, A. (2002). Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training, *J. Appl. Physiol.* (92), 1383-1392.
- McIntosh, B. R. i Gardiner, P. F. (1987). Posttetanic potentiation and skeletal muscle fatigue: interactions with caffeine. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (65), 260-268.
- Moore, R. L.; Houston, M. E.; Iwamoto, G. A. i Stull, J. T. (1985). Phosphorylation of rabbit skeletal muscle myosin in situ. *J. Cell. Physiol.* (125), 301-305.
- Moore, R. L. i Stull, J. T. (1984). Myosin light chain phosphorylation in fast and slow skeletal muscles in situ. *Am. J. Physiol.* (247), C462-C471.
- O'Leary, D. D.; Hope, K. i Sale, D. G. (1997). Posttetanic potentiation of human dorsiflexors. *J. Appl. Physiol.* (83), 2131-2138.
- (1998). Influence of gender on post-tetanic potentiation in human dorsiflexors. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (76), 772-779.
- Pääsuke, M.; Ereline, J. i Gapeyeva, H. (1999). Comparison of twitch contractile properties of plantarflexor muscles in young and middle-aged men. *Acta Kinesiol. Univ. Tartu.* (4), 161-170.
- (2000). Twitch contraction properties of plantar flexion muscles in pre- and post-pubertal boys and men. *Eur. J. Appl. Physiol.* (82), 459-464.
- Patel, J. R.; Diffe, G. M.; Huang, X. P. i Moss, R. L. (1998). Phosphorylation of myosin regulatory light chain eliminates force-dependent changes in relaxation rates in skeletal muscle. *Biophys. J.* (74), 360-368.
- Petrella, R. J.; Cunningham, D. A.; Vandervoort, A. A. i Paterson, D. H. (1989). Comparison of twitch potentiation in the gastrocnemius of young and elderly men. *Eur. J. Appl. Physiol.* (58), 395-399.
- Rassier, D. E.; Tubman, L. A. i MacIntosh, B. R. (1997). Length-dependent potentiation and myosin light chain phosphorylation in rat gastrocnemius muscle. *Am. J. Physiol.* (273), C198-204.
- Rutheford, O. M. i Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* (55), 100-105.
- Siff, M. C. i Verkhoshansky, Y. V. (2001). *Superentrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.
- Stuart, D. S.; Lingley, M. D.; Grange, R. W. i Houston, M. E. (1988). Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (66), 49-54.
- Sweeny, H. L.; Bowman, B. F. i Stull, J. T. (1993). Myosin light chain phosphorylation in vertebrate striated muscle: regulation and function. *Am. J. Physiol. Cell. Physiol.* (264), C1085-C1095.
- Tubman, L. A.; MacIntosh, B. R. i Maki, W. A. (1996a). Myosin light chain phosphorylation and posttetanic potentiation in fatigued skeletal muscle. *Pflügers Arch.* (431), 882-887.
- Tubman, L. A.; Rassier, D. E. i MacIntosh, B. R. (1996b). Absence of myosin light chain and twitch potentiation in atrophied skeletal muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* (74), 723-728.
- Vandervoort, A. A. i McComas, A. J. (1983). A comparison of the contractile properties of the human gastrocnemius and soleus muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* (51), 435-440.
- (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J. Appl. Physiol.* (61) 361-367.
- Vandervoort, A. A.; Quinlan, J. i McComas, A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Exp. Neurol.* (81), 141-152.
- Wilson, G. J.; Murphy, A. J.; Walshe, A. D. i Ness, K. (1996). Stretch shorten cycle performance: detrimental effects of not equating the natural and movement frequencies. *Res. Quarterly Exerc. Sport.* (67), 373-379.
- Zatsiorsky, V. M. (1995). *Science and practice of strength training*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.