

Comparació de les adaptacions produïdes per l'entrenament amb electroestimulació concèntrica i l'entrenament voluntari

JUAN AZAEL HERRERO ALONSO*

Doctor en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.
Professor de la Facultat de Ciències de la Salut.
Universidad Europea Miguel de Cervantes de Valladolid

OLAIA ABADÍA GARCÍA DE VICUÑA**

Doctora en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.
Degana de la Facultat de Ciències de la Salut

BEATRIZ FERNÁNDEZ DÍEZ***

Doctora en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.
Professora de la Facultat de Ciències de la Salut

JUAN MARTÍN HERNÁNDEZ****

Estudiant de Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.
Facultat de Ciències de la Salut.
Universidad Europea Miguel de Cervantes de Valladolid

Correspondència amb autors/es

* jaherrero@uemc.es
** olaia@lavianesa.com
*** bfemandez@uemc.es
**** martinhi@wanadoo.es

Resum

L'objectiu d'aquest estudi va ser comparar els efectes de l'entrenament amb electroestimulació neuromuscular (EENM) concèntrica davant l'entrenament voluntari. 28 estudiants van ser dividits en tres grups: EENM (GE; $n = 10$), entrenament voluntari (GV; $n = 8$) i grup control (GC; $n = 10$). Es van realitzar 16 entrenaments del quàdriceps en 4 setmanes. Cada sessió va consistir en 8 sèries de 10 repeticions al 80 % de la força màxima isomètrica (FMI) en una màquina d'extensió de quàdriceps. El ritme d'execució va ser d'1:1:1 (fases concèntrica, excèntrica i repòs, respectivament). Al GE se li aplicava EENM durant la fase concèntrica. Abans i després de l'entrenament (T1 i T2, respectivament) i després de dues setmanes de desentrenament (T3) es va mesurar el temps de carrera en 20 m (T-20), tres salts verticals (SJ, CMJ i ABK) i la FMI. Entre T1 i T2 es va produir un increment significatiu de la FMI tant en GE com en GV (39,2 % i 30,1 %, $p < 0,001$), i el CMJ va disminuir (-6,2 %, $p < 0,01$) i l'ABK (-7,5 %, $p < 0,01$) en GE. L'entrenament amb EENM concèntrica és igual d'eficaç que l'entrenament voluntari per a la millora de la força màxima isomètrica, i pot resultar perjudicial per al rendiment de determinats tipus de salts verticals.

Paraules clau

Salt vertical, Temps de carrera, Força màxima isomètrica, Cicle útil, Desentrenament.

Abstract

Comparison of the adaptations induced by concentric electromyostimulation and voluntary training

The purpose of the present study was to compare concentric electromyostimulation (EENM) versus voluntary training effects. 28 students were divided in three groups: EENM (GE; $n=10$), voluntary training group (GV, $n=8$) and control group (GC, $n=10$). Sixteen quadriceps training sessions were performed during four weeks. Each session consisted of 8 sets of 10 repetitions at 80% of the isometric maximum force (FMI) in a leg extension machine. The training rhythm was 1:1:1 (concentric, eccentric and rest phases, respectively). GE received EENM during the concentric phase. Before and after training period (T1 and T2, respectively) and after two detraining weeks (T3) sprint time in 20 m (T-20), three vertical jumps (SJ, CMJ and ABK) and FMI were measured. Between T1 and T2 an increased in FMI was observed both in GE and GV (39.2% y 30.1%, $p < 0.001$), while in GE a decreased was detected in CMJ (-6.2%, $p < 0.01$) and ABK (-7.5%, $p < 0.01$). EENM concentric training is as effective as voluntary training to improve isometric maximum force, but it could be harmful for performance in some vertical jumps.

Key words

Vertical jump, Running time, Maximal voluntary contraction, Duty cycle, Detraining.

Introducció

En les dues últimes dècades s'ha incrementat el nombre d'investigacions sobre la utilització de l'electroestimulació neuromuscular (EENM) com a mètode d'entrenament (Hainaut i Duchateau, 1992; Herrero i García, 2002; Requena *et al.*, 2005). Diferents estudis han constatat increments en la força màxima després d'un període d'entrenament amb EENM; aquests increments oscil·len entre el 7,1 % i el 58 % (Herrero *et al.*, 2006a).

Alguns treballs han comparat els efectes de l'entrenament amb EENM davant l'entrenament voluntari (Wolf *et al.*, 1986; Kubiak *et al.*, 1987; Venable *et al.*, 1991; Willoughby i Simpson, 1996). En dos d'aquests treballs es va observar que l'entrenament combinat d'EENM i pesos no suposava un benefici més gran que els pesos tots sols (Venable *et al.*, 1991; Wolf *et al.*, 1986). En un altre s'hi va reflectir que l'entrenament voluntari isomètric era més eficaç que l'EENM isomètrica per a la millora de la força màxima isomètrica (Kubiak *et al.*, 1987). En l'últim d'aquests treballs es va observar que la superposició d'EENM sobre el treball de pesos era més eficaç que qualsevol dels dos mètodes separatament (EENM o pesos), i les millores aïllades de cada mètode van ser iguals (Willoughby i Simpson, 1996). Sembla ser que en persones sanes l'entrenament voluntari és més efectiu que l'EENM per a la millora de la força muscular (Bax *et al.*, 2005), tanmateix, hi ha pocs estudis que hagin comparat les millores produïdes per cada mètode d'entrenament.

Respecte a la influència que té l'entrenament amb EENM sobre la força explosiva (salts verticals) i la velocitat de desplaçament, cap estudi no ha demostrat que aquest mètode d'entrenament per ell sol resulti beneficiós sobre aquestes qualitats (Herrero *et al.*, 2006b; Sánchez i Pablos, 2002; Venable *et al.*, 1991; Wolf *et al.*, 1986). Al contrari, en estudis on l'EENM es va combinar amb altres mètodes d'entrenament voluntari en els quals predominaven accions pliomètriques sí que es van obtenir millores en el salt vertical (Maffiuletti *et al.*, 2000 i 2002a; Malatesta *et al.*, 2003; Herrero *et al.*, 2006b), i quan l'EENM es va combinar amb un entrenament voluntari també van obtenir millores en tests de velocitat específics de les disciplines esportives que realitzaven els subjectes (Pichon *et al.*, 1995; Brocherie *et al.*, 2005; Herrero *et al.*, 2006). Per tant, perquè l'EENM millori aquestes qualitats ha de combinar-se amb un treball de transferència específic o, tal com ha estat sugge-

rit, aplicar-se de forma dinàmica sobre contraccions voluntàries per entrenar el patró de reclutament d'unitats motrius voluntari (Herrero *et al.*, 2006b). Tanmateix, cap dels estudis que han aplicat l'EENM de forma dinàmica durant un període d'entrenament no n'ha avaluat els efectes sobre la força explosiva (Portmann i Montpetit, 1991; Ruther *et al.*, 1995; Van Gheluwe i Duchateau, 1997; Stevenson i Dudley, 1995). Per aquest motiu, els objectius d'aquest treball van ser: a) comparar els efectes de l'entrenament amb EENM concèntrica davant l'entrenament voluntari sobre la força màxima, el salt vertical i el temps de carrera; b) avaluar si l'entrenament amb EENM dinàmica concèntrica resulta beneficiós en les accions que requereixen força explosiva.

Mètodes

Subjectes

Hi van participar de forma voluntària 28 estudiants d'educació física. Després de ser informats del procés experimental del qual anaven a formar part, i abans de sotmetre-s'hi, cada subjecte va donar el consentiment per escrit, bo i acceptant els riscos i beneficis de l'estudi. Cap dels subjectes no va realitzar cap tipus d'exercici estandarditzat pel seu compte tot al llarg de la fase experimental. L'estudi es va realitzar d'acord amb la Declaració d'Hèlsinki (modificada l'any 2000) i va ser aprovat pel Comitè d'Ètica de la Universitat Europea Miguel de Cervantes.

Disseny experimental

Els subjectes es van distribuir aleatòriament en 3 grups: grup d'entrenament amb EENM (GE, $n = 10$; edat: $21,4 \pm 1,4$ anys; altura: $1,76 \pm 0,05$ m; pes: $79,2 \pm 10,8$ kg), grup d'entrenament voluntari (GV, $n = 8$; edat: $21,1 \pm 1,6$ anys; altura: $1,75 \pm 0,07$ m; pes: $77,8 \pm 12,0$ kg) i grup control (GC, $n = 10$; edat: $20,6 \pm 2,0$ anys; altura: $1,77 \pm 0,05$ m; pes: $7 \pm 1,6 \pm 6,2$ kg). Els subjectes del GE i GV van entrenar durant 4 setmanes, amb 4 entrenaments per setmana (dilluns, dimarts, dijous i divendres). Tots els subjectes van dur a terme una sessió de familiarització amb els tests de valoració una setmana abans del començament dels entrenaments. Aquests tests van ser repetits en unes altres tres ocasions: el divendres anterior a la setmana en què començaven els entrenaments (T1), el dilluns se-

güent al final de les 4 setmanes d'entrenament (T2), i el divendres corresponent a la segona setmana de desentrenament (T3). Els tests es van realitzar sempre a la mateixa hora del dia i després d'haver realitzat un escalfament estandarditzat consistent en carrera contínua, diverses progressions, salts progressius en intensitat i exercicis d'estirament.

Protocols d'entrenament

Entrenament amb EENM

El GE es va entrenar en una màquina d'extensió de quàdriceps (Salter Fitness, Tarragona, Espanya). Els subjectes escalfaven durant 5 minuts amb EENM de baixa freqüència (5 Hz). Posteriorment, es feien 8 sèries de 10 repeticions amb un descans de 3 minuts entre sèries. El ritme d'execució de les repeticions va ser d'1 segon de fase concèntrica (des de 90° de flexió de genoll fins a 0° o extensió completa), 1 segon de fase excèntrica (des de 0° fins a 90°) i 1 segon de repòs (a 90°). Durant la fase concèntrica del moviment l'acció que realitzava el subjecte se suplementava amb EENM (Compex Sport-P, Medicompex SA, Ecublens, Suïssa). Es va aplicar un corrent amb una ona bifàsica, rectangular i simètrica, amb una amplada d'impuls de 400 ms i una freqüència de 120 Hz. Es van utilitzar 3 elèctrodes autoadhesius a cada cuixa: un elèctrode negatiu (10 × 5 cm) es col·locava a la part proximal de la cuixa, 10 cm per sota de l'espina ilíaca anterosuperior; i dos elèctrodes positius (5 × 5 cm) es col·locaven sobre els punts motors del vast intern i el vast extern. La intensitat de corrent era manipulada per l'investigador, el qual l'ajustava en cada contracció a la màxima tolerància del subjecte (intensitat mitjana tolerada: 60,3 ± 15,3 mA). Durant cada una de les repeticions els subjectes vencien una resistència igual al 80 % de la seva força màxima isomètrica en un test realitzat en la mateixa màquina de musculació.

Entrenament voluntari

El GV va realitzar el mateix entrenament que el GE, però sense la utilització de l'EENM. Per tant, en cada entrenament es van realitzar 8 sèries de 10 repeticions al ritme d'1 segon fase concèntrica, 1 segon fase excèntrica i 1 segon de repòs amb 3 minuts de descans entre sèries i vencent una resistència igual al 80 % de la força màxima isomètrica de cada subjecte. Com que no s'utilitzava l'electroestimulador, els ritmes d'execució eren marcats per un metrònom (Wittner, Dresden, Alemanya).

Protocols de valoració

Els tests van ser realitzats en l'ordre en què s'exposen:

- *Temps de carrera en 20 m (T-20)*. Els subjectes es col·locaven en bipedestació un metre darrere de la línia de sortida. Dos parells de cèl·lules fotoelèctriques (Globus Italia, Codogne, Italy) es col·locaven al principi i al final d'un tram de 20 m. Les fotocèl·lules es van col·locar a una altura d'1 m sobre el terra (Moir *et al.*, 2004). Es van dur a terme 3 intents màxims, amb 3 minuts de recuperació entre cada un, i se'n va analitzar el millor. La sortida estava estandarditzada, amb un peu més avançat que l'altre, tots dos mirant endavant, sense flexionar els genolls i amb els braços estesos amb els palmells de les mans enganxats al cos.
- *Bateria de salts verticals*. Els subjectes van realitzar el salt vertical des de la posició d'esquat (SJ), el salt amb contramoviment (CMJ) i el salt amb contramoviment i braços lliures (ABK). L'altura del salt es va calcular partint del temps de vol mesurat amb una plataforma de contacte connectada a un ordinador (SportJump-v 1.0 System, DSD Inc., Espanya). El SJ i el CMJ exigien que els subjectes mantinguessin les mans unides al maluc durant tot el moviment. La flexió dels genolls no es va estandarditzar. Es van realitzar 3 salts màxims amb 1 minut de recuperació i se'n va analitzar el millor.
- *Força màxima isomètrica d'extensió de quàdriceps (FMI)*. Aquest test es va realitzar en una màquina d'extensió de quàdriceps; es va fixar el rodet al suport del banc per mitjà d'unes cadenes que contenien una cèl·lula de càrrega (Globus Italia, Codogne, Italy). La cadena estava tensada i amb les empenyes del subjecte en contacte amb el rodet abans d'executar el test per tal d'evitar estrebades. Durant 6 segons s'havia d'exercir la màxima força possible a partir del senyal d'inici. L'angle de flexió del genoll durant el test va ser aproximadament de 110°. Aquest test es va realitzar 3 vegades amb 3 minuts de recuperació entre assaigs, i es va prendre com a valor a analitzar el millor intent.

Anàlisi estadística

Es va utilitzar el paquet SPSS 12.0 per a Windows. Les variables independents van ser grup d'entrenament (GE, GV i GC) i temps (T1, T2 i T3) i les variables

dependents van ser T20, SJ, CMJ, ABK i FMI. Per comparar les variables dependents dins de cada grup d'entrenament en cada una de les sessions de tests es va utilitzar una ANOVA de mesures repetides. Per comparar les modificacions produïdes en cada grup entre T1 i T2, entre T1 i T3, i entre T2 i T3 es va aplicar una ANOVA d'un factor. Quan l'estadístic F de totes dues ANOVA resultava estadísticament significatiu, les comparacions dos a dos es realitzaven mitjançant una anàlisi *posthoc* de Bonferroni. Els resultats es mostren com a mitjana \pm desviació estàndard. Es va utilitzar el criteri de $p < 0,05$ per establir diferències significatives.

Resultats

A la *taula 1* es mostren els valors de cada una de les variables dependents en cada grup en les tres sessions de valoració. S'observa un efecte temps en el GE en els tests CMJ ($p < 0,01$), ABK ($p < 0,001$) i FMI ($p < 0,001$), igual com en el GV a la FMI ($p < 0,001$). Si es realitza una anàlisi *posthoc* es reflecteix que al GE el CMJ disminueix entre T1 i T2 (-6,2 %, $p < 0,01$), l'ABK empitjora entre T1 i T2 (-7,5 %, $p < 0,01$) i la FMI millora entre T1 i T2 (39,2 %, $p < 0,001$); aquestes millores romanen un cop cessat l'entrenament entre T1 i T3 (49,3 %, $p < 0,001$). En aplicar el tractament *posthoc* al GV es constata que la FMI s'incrementa entre T1 i T2 (30,1 %, $p < 0,001$), i la millora es manté en la valoració a curt termini entre T1 i T3 (22,4 %, $p < 0,01$).

La *taula 2* resumeix el tractament estadístic aplicat per comparar les variacions absolutes obtingudes entre les diferents sessions de tests. A la *figura 1* s'observa que els dos grups d'entrenament, GE i GV, milloren la FMI de forma significativa respecte al GC ($p < 0,001$) després de les sessions d'entrenament. Tanmateix, no hi ha diferències entre els increments produïts en aquests dos grups, per la qual cosa tots dos tipus d'entrenament milloren la FMI de la mateixa forma. Un cop que finalitzen les sessions d'entrenament, la FMI continua augmentant en GE mentre que disminueix en GV (*figura 1*), i hi ha diferències significatives entre totes dues modificacions ($p < 0,01$).

Respecte a la resta de variables en les quals l'ANOVA d'un factor dóna una significació estadística (*taula 2*), el tractament *posthoc* revela els resultats següents: entre T1 i T2 el GE empitjora el CMJ i l'ABK en relació amb el GC ($p < 0,05$); entre T1 i T2 el GE empitjora l'ABK en relació amb el GV ($p < 0,01$); entre T1 i T3 la variació en l'ABK és diferent entre GE i GV ($p < 0,01$).

Variable	Test	GE	GV	GC
T-20 (s)	T1	3,07 \pm 0,19	3,03 \pm 0,11	3,03 \pm 0,14
	T2	3,06 \pm 0,15	3,07 \pm 0,11	3,05 \pm 0,14
	T3	3,06 \pm 0,17	3,03 \pm 0,10	3,03 \pm 0,12
SJ (cm)	T1	35,6 \pm 5,5	33,0 \pm 4,7	31,1 \pm 6,3
	T2	34,0 \pm 5,5	31,8 \pm 4,4	31,4 \pm 5,9
	T3	34,3 \pm 6,5	33,5 \pm 5,3	30,5 \pm 5,4
CMJ (cm)	T1	40,6 \pm 6,1*	39,2 \pm 5,1	34,7 \pm 5,8
	T2	38,1 \pm 6,1	39,1 \pm 4,5	34,6 \pm 5,4
	T3	38,6 \pm 7,3	39,6 \pm 4,5	33,4 \pm 5,0
ABK (cm)	T1	48,1 \pm 6,1**	45,3 \pm 6,8	42,5 \pm 7,2
	T2	44,5 \pm 5,9	46,2 \pm 6,3	42,1 \pm 6,5
	T3	45,2 \pm 7,0	47,5 \pm 4,3	41,4 \pm 6,0
FMI (kg)	T1	90,9 \pm 23,7**	96,5 \pm 19,3**	86,7 \pm 24,2
	T2	126,5 \pm 30,3	125,5 \pm 24,7	90,3 \pm 25,4
	T3	135,7 \pm 33,2	118,1 \pm 25,1	91,2 \pm 19,6

* i ** indiquen que l'estadístic F de l'ANOVA de mesures repetides té un nivell de significació $p < 0,01$ i $0,001$ respectivament. T-20 = temps de carrera en 20 m; SJ = salt des de posició d'esquat; CMJ = salt amb contramoviment; ABK = salt amb contramoviment i braços lliures; FMI = força màxima isomètrica; T1, T2 i T3 = test 1, 2 i 3 respectivament; GE = grup d'entrenament amb electroestimulació; GV = grup d'entrenament voluntari; GC = grup control.

Taula 1

Resultats dels tres grups en cada una de les variables dependents.

Variable	Δ T1-T2	Δ T1-T3	Δ T2-T3
T-20	0,137	0,931	0,545
SJ	0,850	0,354	0,085
CMJ	0,019	0,264	0,212
ABK	0,002	0,009	0,117
FMI	0,000	0,000	0,008

Δ = increment. Consulteu la resta d'abreviatures a la *taula 1*.

Taula 2

Nivells de significació de l'ANOVA d'un factor que compara les modificacions entre les diferents sessions de tests.

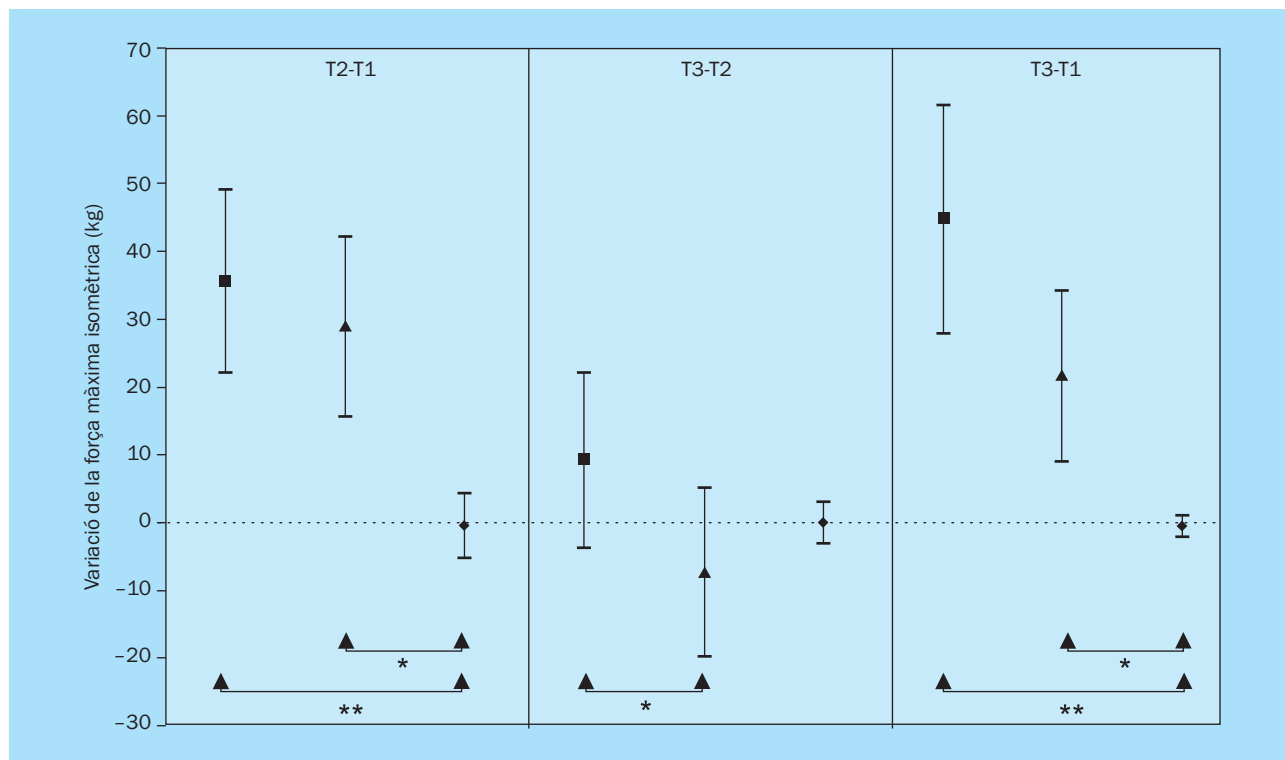


Figura 1

Resultats de l'anàlisi posthoc per a les variacions de la força màxima isomètrica entre les diferents sessions de tests (T1, T2 i T3). Quadrat = grup d'entrenament amb electroestimulació; triangle = grup d'entrenament voluntari; rombe = grup control; * i ** indiquen $p < 0,01$ i $p < 0,001$, respectivament

Discussió

Els protocols d'entrenament amb EENM concèntrica i voluntari no suposen cap benefici sobre el salt vertical i el temps de carrera; la força màxima isomètrica millora igual després de tots dos tipus d'entrenament. En el cas de l'entrenament amb EENM es pot veure perjudicat el rendiment en uns determinats salts verticals, però aquest tipus de treball pot continuar millorant la força màxima isomètrica dels extensors del genoll, fins i tot després d'haver finalitzat les sessions d'entrenament.

Aquest és el primer treball que avalua la influència d'un entrenament amb EENM concèntrica sobre el salt vertical i el temps de carrera. En un dels nostres treballs anteriors, en què es va aplicar el mateix corrent d'EENM, però de forma isomètrica, no es va reflectir cap modificació en el SJ i CMJ després de quatre setmanes d'entrenament, mentre que el temps de carrera en 20 m va disminuir significativament un $-2,3\%$ (per a més informació, Herrero *et al.*, 2006). Segons els resultats del nostre treball, s'observa que aplicar

l'EENM de forma concèntrica respecte a la seva aplicació de forma isomètrica no produeix cap benefici en el salt vertical, però si més no, no empitjora el temps de carrera.

Hi ha diverses raons per les quals s'ha argumentat que l'entrenament amb EENM no millora les accions explosives. Gregory i Bickel (2005) han descrit recentment que el patró de reclutament d'unitats motrius amb EENM és no selectiu, temporalment sincrònic i espacialment constant, és a dir, diferent del que es produeix durant accions voluntàries com les executades en els tests de valoració (Henneman *et al.*, 1965). A més a més, les accions com ara els salts verticals o la cursa de velocitat requereixen un entrenament pel que fa al control motor i a la coordinació (Bobbert i Van Soest, 1994), uns aspectes que no són entrenats quan l'EENM s'aplica de forma isomètrica. Per aquests dos motius, al nostre estudi l'EENM es va aplicar durant l'execució d'accions voluntàries, amb l'objectiu d'imitar el patró de reclutament i de treballar el control motor de les accions induïdes pel corrent. Si aquests dos supòsits s'han satisfet en aplicar

l'EENM de forma concèntrica, per què no s'ha millorat el salt vertical i el temps de carrera?

La resposta a aquesta pregunta es pot trobar en un concepte anomenat *cicle útil* (*duty cycle* en anglès). El cicle útil és la relació entre el temps de contracció i el temps total d'un cicle contracció- repòs, i s'expressa com un percentatge (Lake, 1992). En l'àmbit de l'entrenament amb EENM, s'ha proposat que el cicle útil òptim és 20 % (ex. 5 segons contracció i 20 segons de repòs), i cal disminuir-lo com més fatiga s'acumuli durant l'entrenament, per tal de permetre a la musculatura recuperar-se adequadament per a la contracció següent (Holcomb, 1997). S'ha observat que a més freqüència d'estimulació, els cicles útils menors mantenen la força de cada contracció durant més temps (Lieber i Kelly, 1993). En el GE el cicle útil va ser 33 % (1 segon d'EENM i 2 segons sense EENM). Tanmateix, atès que els subjectes també realitzaven una contracció excèntrica voluntària per tornar des de l'extensió completa de genoll fins als 90° de flexió, es podria considerar que el cicle útil va ser 66 % (igual que en GV). Aquest cicle útil en cada repetició de l'entrenament va produir una fatiga exagerada a la musculatura i va ocasionar una falta d'especificitat entre els ritmes d'entrenament (accions de força resistència amb una càrrega elevada i petits períodes de recuperació) i el ritme d'execució dels salts verticals (acció màxima i explosiva, amb una recuperació completa). Estudis futurs haurien d'analitzar quins són els cicles útils òptims per a un entrenament concèntric amb EENM.

Un cop descrit que el cicle útil òptim per a l'entrenament amb EENM és 20 % (Holcomb, 1997), hom podria preguntar per què no es va triar aquest cicle útil en el nostre estudi. En principi, quan es va decidir aplicar l'EENM de forma concèntrica superposada a un exercici habitual de musculació, es va pensar que era més còmode per al subjecte adaptar l'EENM als ritmes d'entrenament voluntari que no pas fer-ho a l'inrevés. A més a més, el ritme d'execució de l'exercici utilitzat en aquest treball ($90^\circ \cdot s^{-1}$), és un dels ritmes més utilitzats als entrenaments de força convencionals (Pereira i Gomes, 2003). Aplicar l'EENM de forma concèntrica, tot respectant el cicle útil òptim amb aquest mètode d'entrenament pot ser objectiu de futurs estudis.

Tant GE com GV van millorar la força màxima isomètrica dels extensors del genoll després de les sessions d'entrenament (39,2 % i 30,1 % respectivament). L'eficàcia de l'entrenament amb EENM per a la millora de la força màxima isomètrica es troba àmpliament docu-

mentada (Colson *et al.*, 2000; Maffiuletti *et al.*, 2000; Porcari *et al.*, 2005; Gondin *et al.*, 2005) i dinàmica (Colson *et al.*, 2000; Stevenson *et al.*, 2001; Brocherie *et al.*, 2005; Maffiuletti *et al.*, 2002b). El fet que les millores en GE i GV siguin similars ($p > 0,05$) indica que l'EENM millora la força en la mateixa mesura que l'entrenament voluntari de característiques similars, tal com ha estat descrit per altres autors (Hainaut i Duchateau, 1992; Bax *et al.*, 2005). Una cosa que no s'ha mesurat en aquest treball és si les millores en la força màxima van ser degudes a adaptacions produïdes a nivell neural o estructural. No obstant això, partint de la durada del programa d'entrenament (4 setmanes) és àmpliament acceptat i demostrat que les millores produïdes en la força màxima són degudes principalment a adaptacions produïdes a nivell neural (Gondin *et al.*, 2005). Així, Gondin *et al.* (2005) van observar que les millores obtingudes en la força màxima isomètrica després de 4 setmanes d'entrenament amb EENM (16 sessions), van ser acompanyades per una superior activitat electromiogràfica i per un nivell d'activació muscular més gran; no es van observar canvis en l'àrea de secció transversal.

Pràcticament tots els estudis que avaluen programes d'entrenament amb EENM realitzen una valoració al començament de les sessions d'entrenament i una altra al final. Pocs treballs realitzen una valoració del que s'esdevé un cop que es deixen de fer les sessions d'entrenament amb EENM, és a dir, són molt pocs els que valoren els efectes del desentrenament. En aquest treball s'observa que després de la cessació de l'entrenament existeix un comportament diferent en la FMI entre el GE i el GV, en comparar les modificacions de T2 a T3 ($p < 0,01$). A partir de T2 la FMI continua augmentant en GE (10,1 %) mentre que disminueix en GV (-7,7 %). Els guanys en la força màxima obtinguts amb l'EENM poden romandre constants després d'un període de desentrenament (Gondin *et al.*, 2006; Herrero *et al.*, 2006; Jubeau *et al.*, 2006) o després d'un període en què es manté una activitat física voluntària sistemàtica (Maffiuletti *et al.*, 2000 i 2002a; Malatesta *et al.*, 2003). En unes circumstàncies determinades, després d'un procés d'entrenament extenuant, es pot esdevenir un "efecte rebot" que produeixi un increment del rendiment quan l'estímul de l'entrenament (volum i intensitat) retorna al seu nivell normal, o fins i tot quan cessa completament l'entrenament (Fry i Kraemer, 1997; Maffiuletti *et al.*, 2000 i 2002a; Herrero *et al.*, 2006). Aquest fet posa de manifest la importància de dur a terme sempre que sigui possible una valoració del desentrenament.

En conclusió, l'entrenament amb EENM concèntrica és igual d'eficaç que l'entrenament voluntari per a la millora de la força màxima isomètrica dels extensors del genoll; en cap cas no es modifica el temps de carrera. A diferència de l'entrenament voluntari, l'EENM concèntrica pot resultar perjudicial per al rendiment de determinats tipus de salts verticals. Perquè l'EENM aplicada de forma concèntrica sigui un mètode eficaç per a la millora de la força explosiva, els temps de contracció i repòs no poden establir-se en funció dels ritmes d'entrenament voluntari. Són necessaris nous estudis on s'analitzin els temps de contracció i de repòs òptims per a l'entrenament concèntric amb EENM; cal respectar períodes de repòs entre contraccions més amplis que en l'entrenament voluntari.

Referències bibliogràfiques

- Bax, L.; Staes, F. i Verhagen, A. (2005). Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med* 35(3): 191-212.
- Bobbert, M. F. i Van Soest, A. J. (1994). Effects of muscle strengthening on vertical jump height: a simulation study. *Med Sci Sports Exerc*. 26(8):1012-20.
- Brocherie, F.; Babault, N.; Cometti, G.; Maffiuletti, N. i Chatard, J.C. (2005). Electrostimulation training effects on the physical performance of ice hockey players. *Med Sci Sports Exerc* 37(3): 455-460.
- Colson, S.; Martin, A.; Cometti, G. i Van Hoecke, J. (2000). Re-examination of training by electrostimulation in human elbow musculoskeletal system. *Int J Sports Med* 21(4): 281-288.
- Fry, A. C. i Kraemer, W. J. (1997). Resistance exercise overtraining and overreaching: neuroendocrine responses. *Sports Med* 23(2): 106-129.
- Gondin, J.; Guette, M.; Ballay, Y. i Martin, A. (2005). Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc* 37(8):1291-1299.
- Gondin, J.; Guette, M.; Ballay, Y. i Martin, A. (2006). Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *Eur J Appl Physiol* 97(2):165-73.
- Gregory, C. M. i Bickel, C. S. (2005). Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Phys Ther* 85(4): 358-364.
- Hainaut, K. i Duchateau, J. (1992). Neuromuscular Electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med* 14(2): 100-113.
- Henneman, E.; Somjen, G. i Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol* 28: 560-580.
- Herrero, J. A.; García, J. (2002). Análisis y valoración de los efectos del entrenamiento con estimulación eléctrica neuromuscular. *Rendimiento deportivo*. com n.º3, <http://www.rendimientodeportivo.com/N003/Artic013.htm> (consulta 20 septiembre 2006).
- Herrero, J. A.; Abadía, O.; Morante, J. C. i García, J. (2006a). Parámetros del entrenamiento con electroestimulación y efectos crónicos sobre la función muscular: Parte II. *Archivos de Medicina del Deporte*. Aceptada.
- Herrero, J. A.; Izquierdo, M.; Maffiuletti, N. A. i García, J. (2006). Electromyostimulation and Plyometric Training Effects on Jumping and Sprint Time. *Int J Sports Med* 27(7):533-9.
- Holcomb, W. R. (1997). A practical guide to electrical therapy. *J Sport Rehab* 6(3): 272-282.
- Kubiak, R. J.; Whitman, K. M. i Johnston, R. M. (1987). Changes in the quadriceps femoris muscle strength using isometric exercise versus electrical stimulation. *J Orthop Sports Phys Ther* 8: 573-541.
- Lake, D. A. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sport injuries. *Sports Med* 13(5): 320-336.
- Lieber, R. L.; Kelly, M. J. (1993). Torque history electrically stimulated human quadriceps implications for stimulation therapy. *J Orthop Res* 11:131-141.
- Maffiuletti, N. A.; Cometti, G.; Amiridis, I. G.; Martin, A.; Pousson, M. i Chatard, J. C. (2000). The effects of electrostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int J Sports Med* 21(6): 437-443.
- Maffiuletti, N. A.; Dugnani, S.; Folz, M.; Di Pierro, E. i Mauro, F. (2002a). Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height. *Med Sci Sports Exerc* 34(10): 1638-1644.
- Maffiuletti, N. A.; Pensini, M.; Martin, A. (2002b). Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training. *J Appl Physiol* 92: 1383-1392.
- Malatesta, D.; Cattaneo, F.; Dugnani, S.; Maffiuletti, N. A. (2003). Effects of electromyostimulation training and volleyball practice on jumping ability. *J Strength Cond Res* 17(3): 573-579.
- Moir, M.; Button, C.; Glaister, M. i Stone, M. H. (2004). Influence of familiarization on the reliability of vertical jump and acceleration sprinting performance in physically active men. *J Strength Cond Res* 18(2): 276-280.
- Pereira, M. I. Gomes, P. S. (2003). Movement velocity in resistance training. *Sports Med* 33(6): 427-438.
- Pichon, F.; Chatard, J. C.; Martin, A. i Cometti, G. (1995). Electrical stimulation and swimming performance. *Med Sci Sport Exerc* 27(12): 1671-1676.
- Porcari, J. P.; Miller, J.; Cornwell, K.; Foster, C.; Gibson, M.; McLean, K. i Kernozek, T. (2005). The effects of neuromuscular electrical stimulation training on abdominal strength, endurance, and selected anthropometric measures. *J Sports Sci Med* 4: 66-75.
- Portmann, M. i Montpetit, R. (1991). Effects de l'entraînement par électrostimulation isométrique et dynamique sur la force de contraction musculaire. *Sci Sports* 6(3): 193-203.
- Requena, B.; Padial, P. i González-Badillo, J. J. (2005). Percutaneous electrical stimulation in strength training: an update. *J Strength Cond Res* 19(2): 438-448.
- Ruther, C. L.; Catherine, L. G.; Harris, R. T. i Dudley, G.A. (1995). Hypertrophy, resistance training, and the nature of skeletal muscle activation. *J Strength Cond Res* 9(3):155-159.
- Sánchez, J. V. i Pablos, C. (2002). Los métodos de electroestimulación y de contraste como sistemas complementarios del entrenamiento de la fuerza en taekwondo. *Revista de Entrenamiento Deportivo* 16(2): 27-38.
- Stevenson, S. W. i Dudley, G. A. (2001). Dietary creatine supplementation and muscular adaptation to resistive overload. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1304-1310.
- Van Gheluwe, C. i Duchateau, J. (1997). Effects de la superposition de l'électrostimulation à l'activité volontaire au cours d'un renforcement musculaire en mode isocinétique. *Am Kinésithér* 24(6): 267-274.
- Venable, M. P.; Collins, M. A.; O'Bryant, H. S.; Denegar, C. R.; Sedivec, M. J. i Alon, G. (1991). Effect of supplemental electrical stimulation on the development of strength, vertical jump performance and power. *J Appl Sport Sci Res* 5(3):139-143.
- Willoughby, D. S. i Simpson, S. (1996). The effects of combined electromyostimulation and dynamic muscular contractions on the strength of college basketball players. *J Strength Cond Res* 10(1): 40-44.
- Wolf, S. L.; Ariel, G. B.; Saar, D.; Penny, M. A. i Railey, P. (1986). The effect of muscle stimulation during resistive training on performance parameters. *Am J Sports Med* 14: 18-23.