

Adaptacions neuromusculars durant l'entrenament de força en homes de diferents edats

Mikel Izquierdo

Doctor en Ciències de l'Activitat Física i l'Esport
Centro de Investigación y Medicina del Deporte de Navarra
Gobierno de Navarra

Xavier Aguado

Doctor en Ciències de l'Educació
Professor de Biomecànica
INEF de Castilla-León

Paraules clau

envelliment, adaptacions neuromusculars,
entrenament de força, músculs agonistes i antagonistes.

Abstract

It has been shown that systematic strength training not only in middle-aged but also in elderly people can lead to substantial increases in their strength performance. This might primarily result from considerable neural adaptations observed especially during the earlier weeks of training. Thereafter, strength development also in older people may take place due to an increasing contribution of muscle hypertrophy. Heavy resistance training combined with explosive exercises can lead to great gains in both maximal and explosive strength characteristics of the leg extensors not only in middle-aged but also in elderly subjects accompanied by considerable increases in the voluntary neural activation of the agonist muscles with significant reductions in the antagonist coactivation in the elderly.

Resum

L'entrenament progressiu de força màxima combinada amb exercicis de tipus explosiu induïx increment en la força màxima (isomètrica/dinàmica i s'acompanya també amb augments considerables en la força explosiva dels músculs entrenats, no solament en les persones de 40 anys, sinó també en les de 70. L'increment de la força màxima s'explica només en part per l'augment en l'àrea de la secció transversal (AST), ja que l'activació voluntària dels músculs agonistes augmenta en major grau en les persones de mitjana i avançada edat. L'entrenament també pot induir una reducció en la coactivació dels músculs antagonistes en les persones d'avançada edat fins el mateix nivell de partida registrat per als de mitjana edat.

Els treballs que es presenten també suggereixen que no solament en persones de mitjana edat, sinó també en les d'edat avançada, es poden obtenir increments significatius en la capacitat del sistema neuromuscular per produir força màxima i explosiva. Això es deu en part a les adaptacions de tipus estructural dels músculs entrenats però en major mesura a adaptacions funcionals específiques en el sistema nerviós.

Entrenament, producció de força i el sistema neuromuscular

En les últimes dècades alguns investigadors feren la hipòtesi que l'entrenament de força en persones grans podria prevenir i enlentir la pèrdua de força. Els resultats mostren que l'entrenament sistemàtic de la força màxima produeix increments significatius en la seva expressió no solament en les persones de mitjana edat sinó també en les d'edat avançada (Frontera *et al.*, 1988; Häkkinen i Pakarinen, 1994; Treuth *et al.*, 1994; Häkkinen i Häkkinen, 1995; Sipilä i Suominen, 1995; Häkkinen *et al.*, 1997c). La millora de la força en persones d'avançada edat després de fer un programa d'entrenament es deu principalment a l'increment de l'activació de les unitats motores (UMs) dels músculs entrenats, acompanyat gradualment per l'augment de la massa muscular (Moritani i deVries, 1980; Häkkinen, 1994).

En els següents apartats es fa una revisió dels principals treballs d'investigació que examinen l'efecte de l'entrenament sobre la producció de força i el sistema neuromuscular en homes de mitjana i avançada edat.

Efectes de l'entrenament sobre la producció de força

L'any 1945 Thomas L. Delorme va publicar un article al "Journal of Bone and Joint Surgery" sobre la millora de la potència muscular amb l'ús d'exercicis amb càrregues pesades (Delorme, 1945). Aquest va ser un dels primers treballs on s'expressaren els principis de l'entrenament de força que actualment es continuen fent servir. També es va substituir la idea de "poca resistència i moltes repeticions" per entrenaments més efectius amb "càrregues elevades i poques repeticions" i "l'entrenament progressiu de força". Des de llavors s'han dut a terme nombrosos treballs que han estudiat els efectes de l'entrenament sobre la força muscular. En persones grans s'ha vist l'augment significatiu en la seva producció després de només 2 o 3 mesos d'entrenament.

Diferents treballs d'investigació mostren que per aconseguir millores en la producció de força cal que l'entrenament tingui una intensitat i una durada suficients (Frontera *et al.*, 1988; Häkkinen, i Pakarinen, 1994; Treuth *et al.*, 1994; Häkkinen i Häkkinen, 1995; Sipilä i Suominen, 1995; Häkkinen *et al.*, 1997c).

Un problema important és que, per causa de la gran variabilitat provocada per les diverses metodologies emprades en l'entrenament, resulta difícil comparar els resultats obtinguts en les diferents experiències. Això es deu al fet que principalment s'utilitzen diferents càrregues de treball en el disseny de cada programa, s'escullen diferent nombre de sèries, de repeticions, de freqüència i de durada de l'entrenament. També influeixen sobretot en els grups musculars entrenats i el ti-

pus de metodologia de medicació (Vandervoort, 1992).

En la figura 1 (Häkkinen i Komi, 1985) es mostra com en funció del conegut principi de l'especificitat de l'entrenament, un programa que utilitzi càrregues elevades amb moviment d'execució lent, induirà millores en la força màxima (part alta de la figura 9). Mentre que, tant en joves (Komi, 1986) com en persones grans (Frontera *et al.*, 1988), romandran constants els canvis en els primers mil·lisegons de la corba força-temps isomètrica i en les parts inicials de la corba força-velocitat. D'altra banda, l'entrenament de la força explosiva (en realitzar exercicis amb càrregues lleugeres al més ràpid possible), ocasionarà una millora en les parts inicials de les corbes força-temps i força velocitat (Viitasalo, 1985c; Komi, 1986).

En les experiències desenvolupades amb persones d'edat avançada s'han utilitzat principalment activitats físiques aeròbiques. Tanmateix, amb l'objectiu de minimitzar els efectes que l'envelliment té sobre el sistema neuromuscular, es creu que l'entrenament de la força hauria de ser recomanable com una part del programa total d'activitat física que es dissenyi, de manera que les persones mantinguin la seva capacitat funcional en bones condicions.

Segons aquesta hipòtesi, els beneficis del manteniment o, fins i tot, de la millora de la força màxima i explosiva en les persones grans, hauria de servir per corregir problemes en la marxa, prevenir caigudes i millorar la mobilitat articular. Això permetria que les persones grans poguessin desenvolupar millor i mantenir durant més anys la seva independència funcional.

Augment de la força màxima

Diversos estudis han mostrat que la realització d'un entrenament sistemàtic de la força màxima s'acompanya d'increments significatius en la producció de força, no solament en persones joves, sinó també en les grans. Així, després de només uns mesos d'entrenament de força màxima dinàmica tant en persones de 70-75 anys (Frontera *et al.*, 1988; Hagberg *et al.*, 1988), com en perso-

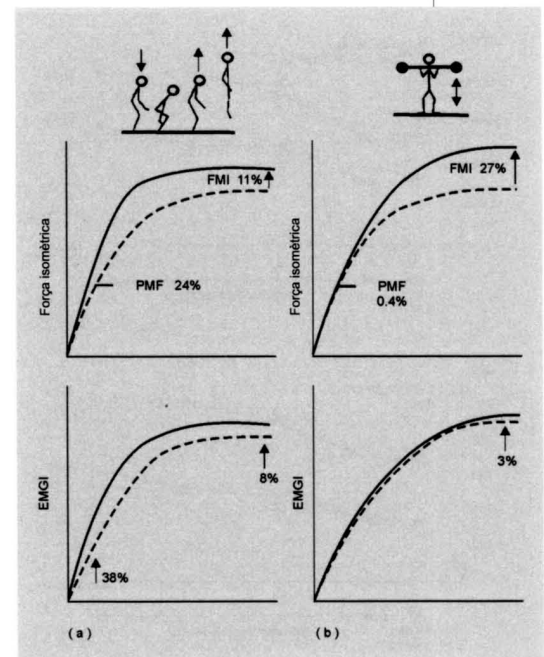


Figura 1.

nes de 85-96 anys (Fiatarone *et al.*, 1994) es varen observar increments mitjans en la força màxima del 100%, mesurada dinàmicament amb la 1RM. Tanmateix, altres estudis han mostrat que els efectes del mateix entrenament en la força isomètrica màxima es varen incrementar una mitjana del 30% (Moritani i deVries 1980; Frontera *et al.*, 1988; Häkkinen i Häkkinen, 1995; Häkkinen i Pakarinen, 1993). En la figura 2 es mostren els increments obtinguts en la força màxima isomètrica i dinàmica (1RM), després de sotmetre a persones de 40 i 70 (n=11) anys a un programa combinat de força màxima i explosiva durant 6 mesos d'entrenament (Izquierdo, 1997).

En general, els estudis que investiguen els efectes de l'entrenament de força dinàmica sobre diferents tipus d'accions musculars en persones grans mostren augments més grans en una repetició màxima (1RM) que en medicions isomètriques o isocinètiques (Frontera *et al.*, 1988). Aquests resultats s'atribueixen a l'especificitat de les adaptacions neurals (Sale, 1988) o al possible efecte de l'aprenentatge.

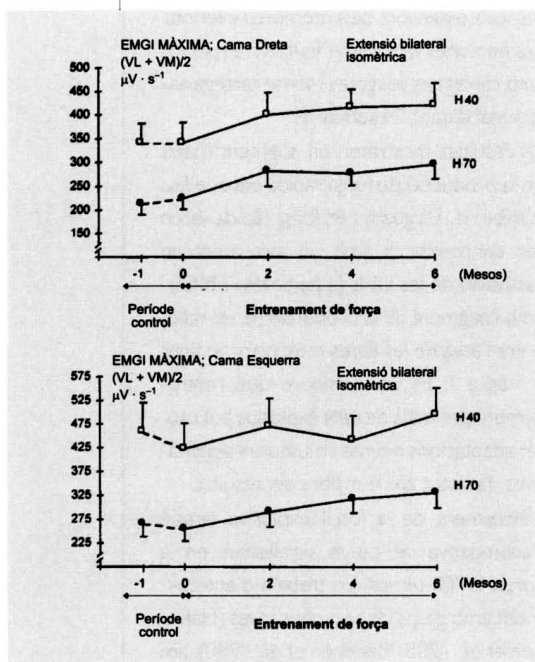


Figura 4.

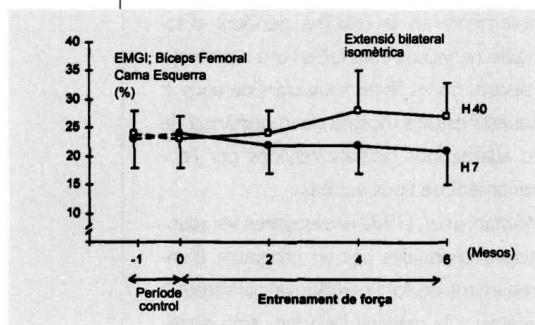


Figura 5.

d'entrenament de sis mesos, es va observar un augment en la màxima activació voluntària dels músculs agonistes durant l'acció isomètrica d'extensió dels membres inferiors (fig. 4). També es va incrementar en totes les persones la màxima EMGls del múscul bíceps femoral (BF) durant l'acció isomètrica màxima de flexió del genolls. Aquests resultats concorden amb el concepte que en persones no entrenades, independentment de l'edat, els increments en la força màxima durant les primeres setmanes d'entrenament s'atribueixen en gran

part a l'increment de l'activació de les UM dels músculs agonistes (Moritani i DeVries, 1980; Häkkinen i Komi, 1983; Komi, 1986; Sale, 1988; Häkkinen, 1994; Häkkinen i Häkkinen, 1995). Els increments induïts per l'entrenament en la magnitud de l'EMG (EMGI) podrien ser a causa de l'augment en el nombre de la UM's actives i a l'increment en la seva freqüència d'estimulació (Enoka, 1988; Sale 1991). Per la seva part, els increments en l'excitació neta de les motoneurons podrien ser a causa de l'augment en l'estímul d'excitació, de la reducció en l'estímul d'inhibició, o tots dos (Sale, 1991).

Reducció de la coactivació antagonista

S'ha pogut comprovar que els mecanismes d'adaptació neural induïts per l'entrenament de força de les persones joves, sense entrenament previ, tenen lloc, a més de per l'augment de l'activació dels músculs agonistes, per una disminució de la coactivació dels músculs antagonistes (Sale, 1986; Carolan i Cafarelli, 1992; Garfinkel i Cafarelli, 1992).

La coacció antagonista és normalment excessiva en persones principiants, però pot ser reduïda amb l'entrenament. En algun cas la coactivació antagonista s'associa amb la familiaritat amb el moviment (Solomonow *et al.*, 1988). En un estudi fet per Carolan i Cafarelli (1992) es va observar com la coactivació dels flexors del genoll, quan actuaven com a antagonistes en moviments d'extensió, va disminuir la seva activació en la contracció màxima isomètrica voluntària després de 8 setmanes d'entrenament. Curiosament, la major reducció observada per Carolan i Cafarelli en la coactivació va ocórrer en la primera setmana d'entrenament. La coactivació sembla ser un mecanisme del sistema nerviós central que entra en funcionament segons la incertesa de l'acció que s'hagi de realitzar (Enoka, 1994, 1997). Per exemple, les persones grans tenen dificultats per controlar la pendent de reducció de la força i fan servir habitualment com a solució la coactivació de la musculatura antagonista.

La reducció en l'activació antagonista és regulada per mecanismes que no es controlen voluntàriament i depenen del sistema nerviós central. Diferents estudis han suggerit que la coactivació és facilitada per l'activació de les cèl·lules Renshaw, les quals inhibeixen l'activitat de les interneurons la, mitjançant l'excitació de les interneurons Ib dels òrgans de Golgi. També podria ser a causa d'una acció directa del sistema nerviós central. L'atenuació de qualsevol d'aquestes vies produirà reducció en la coactivació (Henatsch i Langer, 1985; Solomonow, 1988).

Tanmateix, de la mateixa manera que aquest mecanisme d'adaptació neural ha estat poc examinat en persones joves (Carolan i Cafarelli, 1992) en persones grans es desconeix fins a quin punt la millora de força amb l'entrenament és a causa d'un augment en l'activació dels músculs agonistes o a canvis en els patrons d'activació agonista/antagonista. En un estudi realitzat per Häkkinen i col·laboradors (1997) es va observar una reducció significativa en la coactivació dels músculs antagonistes durant l'acció isomètrica màxima i la 1RM d'extensió dels membres inferiors en el subgrup de 70 anys en comparació amb el de 40 anys després d'un període de sis mesos d'entrenament. La coactivació antagonista en les persones de més edat va estar aproximadament en els mateixos nivells que la registrada per als de mitjana edat, els quals no demostraren canvis en la seva coactivació (Izquierdo, 1997) (fig. 5).

L'entrenament de la força màxima induïx no solament a augments en l'activació dels músculs agonistes, sinó també una reducció en la coactivació dels músculs antagonistes. Aquests factors, units a l'òptima activació dels músculs sinèrgistes són els que afavoriran la producció neta de força dels músculs agonistes (Rhuterford i Jones, 1986; Sale, 1988; Eloranta i Komi, 1981; Narice *et al.*, 1989; Carolan i Cafarelli, 1992; Keen *et al.*, 1994). En resum, l'entrenament progressiu de força màxima combinada amb exercicis de tipus explosiu induïx increments en la força màxima (isomètrica/dinàmica) i s'acompanyen també amb augments considerables en la força explosiva dels músculs en-

Adaptacions neurals a l'entrenament

La millora de la producció de força en l'home està determinada no solament per l'augment de l'AST i la distribució de les fibres dels grups musculars participants, sinó també per la magnitud de l'activació de la massa muscular (factors neurals).

S'ha vist que en sotmetre a un grup de persones a 12 setmanes d'entrenament intensiu es va produir un increment significatiu en la força màxima sense canvis en la massa muscular (deVries 1969; Komi *et al.* 1978). S'han obtingut resultats del mateix tipus quan només s'entrena una cama i en medicions posteriors s'han registrat també millores en la cama no entrenada sense evidències d'hipertrofia (Moritani i deVries 1980). Així mateix, després de 6 setmanes d'entrenament s'observaren increments majors en la producció de força, quan aquesta s'analitzava amb una metodologia de medicació familiar.

Aquests estudis suggereixen que els increments de força induïts per l'entrenament s'associen a un procés d'adaptació en el sistema nerviós, ja sigui per un augment en l'activació de la musculatura agonista o bé per canvis en els patrons d'activació de la musculatura antagonista (Häkkinen *et al.*, 1985, 1987; Komi, 1986). Les adaptacions del sistema nerviós a l'entrenament de força es produeixen tant en la transmissió des del sistema nerviós central, com en les respostes de tipus reflex a nivell de la medulla espinal. A més a més, s'origina una retroalimentació d'ambdós centres nerviosos des dels receptors sensorials perifèrics. En aquest esquema s'observa que l'entrenament de la força màxima i explosiva produirà adaptacions específiques del sistema nerviós, així com en el propi teixit muscular (Enoka, 1988; Häkkinen, 1989).

Es considera que durant les primeres etapes de l'entrenament, l'augment de l'activació nerviosa és un dels factors determinants del desenvolupament de la força. En canvi, una vegada passades les 3-5 primeres setmanes els factors hipertrofics preva-

len sobre els tipus neutral. (Davies *et al.*, 1985), Häkkinen *et al.*, 1985, 1987; Hous-ton *et al.*, 1983; Komi, 1986; Narici *et al.*, 1989).

Una de les principals adaptacions induïdes per l'entrenament és l'augment de l'activació dels músculs agonistes. Aspecte que serà tractat en el punt següent.

Augment de l'activació agonista

L'activitat electromiogràfica integrada (EMGI) registrada per elèctrodes de superfície en els grups musculars sotmesos a un programa d'entrenament ha estat utilitzada en diferents estudis per mesurar les adaptacions en el sistema neuromuscular. L'EMGI no revela amb detalls els mecanismes de l'adaptació neural, però suggereix que l'increment en l'excitació neta de les motoneurons pot ser a causa d'un augment en la seva activació i inhibició (Komi 1986; Sale 1986).

Els augments en la força màxima durant les primeres setmanes d'entrenament es deuen sobretot a l'augment de l'activació en els músculs agonistes entrenats, sempre i quan les persones no hagin estat sotmeses a un entrenament previ (Moritani i deVries, 1980; Häkkinen i Komi, 1983; Komi, 1986; Sale 1988; Häkkinen i Häkkinen, 1995; Häkkinen *et al.*, 1996).

El treball que han estudiat els efectes de l'entrenament sobre els factors neurals mostren que es produeixen canvis diferents en els patrons d'activació de les UMs en funció del disseny del programa (p.e. amb càrregues màximes i velocitats d'execució lentes o amb càrregues lleugeres i velocitats màximes). Per l'esmentat motiu, els canvis en l'EMGI induïts per l'entrenament de força són aparentment contradictoris. Des d'estudis on no es troba cap efecte (Cannon i Cafarelli; Thorstensson *et al.*, 1976b) fins a treballs que reporten increments d'un 38% en l'EMGI (Komi *et al.*, 1978).

Per exemple, en el treball desenvolupat per Häkkinen *et al.* (1985) es va examinar la influència de l'entrenament de tipus explosiu sobre el temps de producció i relaxació de força isomètrica i l'activitat elèctrica dels

músculs extensors dels membres inferiors. Les persones varen estar fent salts explosius amb càrregues lleugeres i sense càrrega addicional durant 24 setmanes.

Els resultats mostraren un augment major en la producció de força ràpida pel que fa a la màxima. Els guanyos en força ràpida varen ser concomitants amb un increment en l'activació de les UMs (a partir de l'EMGI) i amb l'augment de la proporció (en el ratio) entre l'àrea de les fibres musculars de tipus II i tipus I. Es va concloure que l'entrenament per mitjà de salts explosius pot causar adaptacions neurals i musculars significatives, facilitant així la millora del resultat.

L'increment de la força explosiva també s'acompanya de canvis significatius en la corba EMGI-temps. En treballs d'entrenament amb grups de persones joves (Häkkinen *et al.* 1985; Häkkinen *et al.* 1990), així com amb persones d'edat avançada (Häkkinen i Häkkinen, 1995) s'observaren increments en la màxima pendent d'activació nerviosa de les UMs i una hipertrofia selectiva de les fibres musculars de tipus II. Aquests estudis mostren la importància de les adaptacions neurals induïdes per l'entrenament de tipus explosiu.

Moritani *et al.* (1987) investigaren les adaptacions produïdes per un programa d'entrenament de força explosiva consistent a realitzar a la màxima velocitat, amb càrregues del 30% de la 1RM, 30 repeticions al dia, 3 dies per setmana durant 2 setmanes. Els resultats mostraren que els canvis induïts per l'entrenament es produïren, sobretot, a adaptacions de tipus neural. En aquest estudi es va veure un gran increment en l'activació muscular acompanyat d'un augment de la sincronització de l'activació de les UMs després de l'entrenament.

Per la seva part, en un altre estudi fet per Häkkinen i Häkkinen (1995), durant 12 setmanes d'entrenament, també es van obtenir increments significatius en la màxima EMGI entre les 4 a 8 primeres setmanes amb persones de mitjana i edat avançada.

En diferents experiències on s'han registrat increments tant en la força màxima com en la de tipus explosiu (Häkkinen *et al.*, 1997, Izquierdo 1997), després d'un període

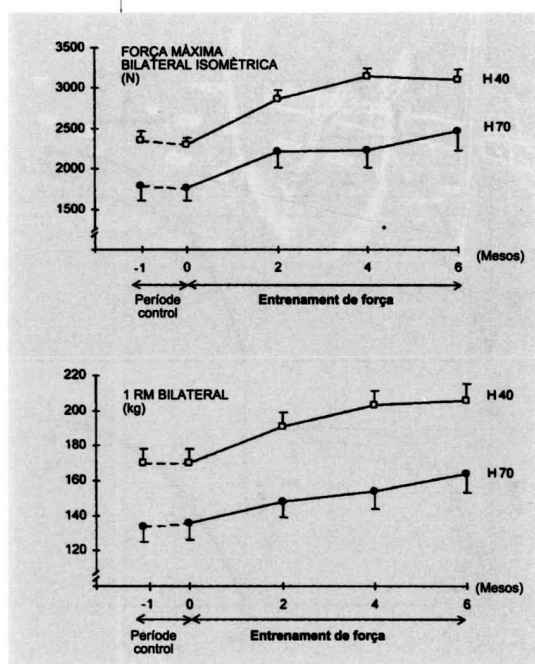


Figura 2.

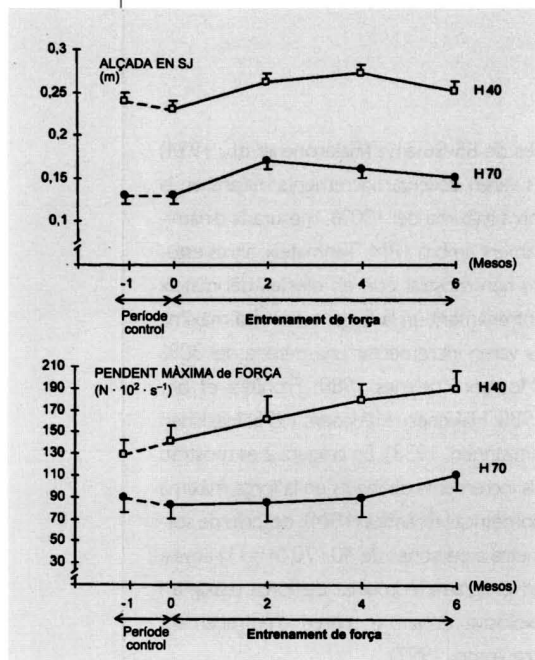


Figura 3.

La millora de la força que s'observa en persones d'edat avançada després de fer un programa d'entrenament es deu principalment a l'increment de l'activació de les UM dels músculs entrenats i d'un augment més gradual de la massa muscular

(Moritani i deVries 1980; Häkkinen 1994). Aquestes adaptacions neuromusculars a l'entrenament es tractaran en més profunditat en els següents punts d'aquest treball de revisió.

Augment de la força explosiva

Les investigacions sobre els efectes de l'entrenament de la força explosiva en persones grans són encara escasses i amb resultats contradictoris.

En una experiència feta per Rice *et al.* (1993), durant 24 setmanes d'entrenament de la força explosiva es va reduir el temps fins arribar a la màxima tensió muscular provocada per estimulació elèctrica i es va incrementar la pendent màxima de força (PMF) en el test isomètric d'extensió de genolls. Per la seva part, Häkkinen i Häkkinen (1977) després de fer un programa d'entrenament combinat de força màxima i força explosiva de 6 mesos de durada observaren en persones de mitjana edat i avançada edat increments considerables en la producció de força explosiva en accions isomètriques i dinàmiques (fig. 3). Tanmateix, és possible que amb el propòsit d'induir increments en la força explosiva, les persones grans siguin més sensibles a la durada, volum i tipus d'entrenament específic que els joves (fig. 3) (Häkkinen i Häkkinen, 1995; Newton *et al.*, 1996).

Aquests estudis suggereixen que és recomanable que les persones grans facin un entrenament de la força màxima i combinin amb exercicis de naturalesa explosiva, per minimitzar els efectes de l'envelliment sobre el sistema neuromuscular. Això podria formar part de tota l'activitat física programada per mantenir la capacitat funcional de les persones grans en un bon nivell durant el major temps possible (Häkkinen i Häkkinen, 1991).

L'increment de la força màxima i explosiva després d'un programa d'entrenament podrà estar limitat a determinats patrons de moviment, velocitats de contracció i diferents tipus de càrrega. També convida a pensar en l'error que suposa considerar totes les metodologies de quantificació de la força explosiva i màxima igualment sen-

sibles a les adaptacions associades amb els diferents sistemes d'entrenament de la força.

Àrea de la secció transversal muscular

Diferents estudis assenyalen que quan la intensitat i la durada de l'entrenament siguin adequades, el múscul esquelètic de persones d'edat avançada conserva la capacitat d'hipertrofiar-se (Frontera *et al.*, 1988; Treuth *et al.*, 1994; Häkkinen i Häkkinen, 1995; Sipilä i Suominen, 1995), degut al fet que s'ha observat un augment en l'àrea de les fibres de contracció ràpida i lenta.

Alguns estudis experimentals han mostrat en grups de persones d'edat avançada diferències significatives en l'àrea de la secció transversal muscular (AST) del grup muscular quàdriceps femoral (QF) mesurada abans i després de només 2-3 mesos d'un entrenament de força (Frontera *et al.*, 1988; Häkkinen i Häkkinen, 1995; Häkkinen *et al.*, 1995). Durant un entrenament de força màxima l'augment total en l'AST del QF va ser del 10%-12% en persones de mitjana i avançada edat (Häkkinen i Häkkinen, 1991; Frontera *et al.*, 1988).

Tanmateix, la magnitud de la hipertròfia provocada per l'entrenament no es correlaciona necessàriament amb els increments en la força màxima observats durant períodes de poques setmanes (Moritani i deVries, 1980; Frontera *et al.*, 1988; Häkkinen i Häkkinen, 1995). Aquests resultats suggereixen que a més de la hipertròfia muscular, l'adaptació del sistema nerviós serà un factor important per al desenvolupament de la força en persones no entrenades, independentment del sexe i l'edat.

En els següents apartats es mostraran els resultats d'algunes experiències que han estudiat les adaptacions neurals induïdes per l'entrenament. Es dividiran per al seu estudi en: 1) els mecanismes adaptatius dirigits a l'augment de l'activitat muscular dels músculs agonistes i 2) els que produeixen una reducció de la coactivació dels músculs antagonistes.



trenats, no solament en les persones de 40 anys, sinó també en les de 70.

L'increment de la força màxima s'explica només en part per l'augment en l'AST, ja que l'activació voluntària dels músculs agònists augmenta en major grau en les persones de mitjana edat i edat avançada. L'entrenament també pot induir una reducció en la coactivació dels músculs antagonistes en les persones d'edat avançada fins el mateix nivell de partida registrat per als de mitjana edat.

Els presents treballs també suggereixen que no solament en persones de mitjana edat, sinó també en les d'edat avançada es poden obtenir increments significatius en la capacitat del sistema neuromuscular per produir força màxima i explosiva. Això serà a causa, en part, de les adaptacions de tipus estructural dels músculs entrenats però en major mesura de les adaptacions funcionals específiques en el sistema nerviós.

L'entrenament de la força cada vegada té una major utilitat quan s'utilitza amb fins de rehabilitació i preventius per a minimitzar canvis lligats a l'edat en atrofia muscular i reducció de la capacitat funcional. Tanmateix, amb el fi d'optimitzar els seus efectes cal conèixer amb major profunditat les adaptacions específiques a causa dels programes combinats d'entrenament de força. No obstant, queden per definir en futurs treballs la influència de les modificacions en el volum, intensitat i durada de cada període d'entrenament sobre les variables estudiades.

Per acabar, es podia suggerir que, amb el propòsit de minimitzar la reducció associada a l'edat en activitats neuromusculars, un adequat entrenament de força en persones grans podria incloure no solament exercicis de força màxima amb càrregues relativament altes, sinó també diversos exercicis de naturalesa explosiva.

Agraïments

Aquest treball va ser realitzat en part gràcies a una beca concedida per l'Instituto Navarro de Deportes y Juventud. Centro de Investigación y Medicina del Deporte. Gobierno de Navarra, España.

Bibliografia

- CANNON, R. J. i CAFARELLI, E. (1987), "Neuromuscular adaptations to training". *J. Appl. Physiol.* 63, pp. 2396-2402.
- CAROLAN, B. i CAFARELLI, E. (1992), "Adaptations in coactivation after isometric training". *J. Appl. Physiol.* 73, pp. 911-917.
- DAVIES, C. T., DOOLEY, P., McDONAGH, M. J. N. i WHITE, M. (1985), "Adaptation to mechanical properties of muscle to high force training in man". *J. Physiol.* 365, pp. 277-284.
- DELORME, T. L. (1945), "Restoration of muscle power by heavy resistance exercises". *J. Bone Joint Surg. American.* 27, pp. 645-667.
- DE VRIES, H. A. (1968), "Efficiency of electrical activity as a measure of the functional state of muscle tissue". *Am. J. Phys. Med.* 47, pp. 10-22.
- ENOKA, R. M. (1988), "Muscle strength and its development: New perspectives". *Sports. Med.* 6, pp. 146-168.
- (1994), *Neuromechanical basis of kinesiology*. 2a. ed. Champaign (IL): Human Kinetics.
- (1997), "Neural adaptations with chronic physical activity". *J. Biomechanics*, 30 (5), pp. 447-455.
- ELORANTA, V. i KOMI, P. V. (1981), "Postural effects on the function of the quadriceps femoris muscle under concentric contraction". *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, 21, pp. 555-567.
- FIATARONE, M. A., O'NEILL, E. F., RYAN, N. D. et al. (1994), "Exercise Training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people". *The New England Journal of Medicine*. 330, pp. 1769-1775.
- FRONTERA, W. R., MEREDITH, C. N., O'REILLY, K. P., KNUTTGEN, H. G. i EVANS, W. J. (1988), "Strength conditioning in older men; skeletal muscle hypertrophy and improved function". *J. Appl. Physiol.* 71, pp. 644-650.
- GARFINKEL, S. i CAFARELLI, E. (1992), "Relative changes in maximal force, EMG and muscle cross-sectional area after isometric training". *Med. Sci. Sports.* 24, pp. 1220-1227.
- HÄKKINEN, K. (1989), "Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training". *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 29, pp. 9-26.
- (1990), "Scientific facts used as a base to determine strength". Dins: Seminario Internacional Test de Campo, C.O.I. 2-23.
- (1994), "Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining, and immobilization". *Crit. Rev. Phys. Rehabil. Med.* 6, pp. 161-198.
- HÄKKINEN, K. i HÄKKINEN, A. (1991), "Muscle cross-sectional area, force production and relaxation characteristics in women at different ages". *Eur. J. Appl. Physiol.* 62, pp. 410-414.
- (1995), "Neuromuscular adaptations during intensive strength training in middle-aged and elderly males and females". *Electromyograph. Clin. Neurophysiol.* 35, pp. 137-147.
- HÄKKINEN, K., KOMI, P. V. (1983), "Alterations of Mechanical Characteristics of human Skeletal Muscle During Strength Training". *Eur. J. Appl. Physiol.* 50, pp. 161-172.
- (1985), "Effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercise". *Scand. J. Sports Sci.* 7 (2), pp. 65-76.
- HÄKKINEN, K., KOMI, P. V. i KAUKANEN (1987b), "Scientific Evaluation of Specific loading of the knee extensor muscles with Variable Resistance, Isokinetic and Barbell Exercises". David fitness equipment ltd.
- HÄKKINEN, K., KOMI, P. V. i TESCH, P. A. (1981), "Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles". *Scand. J. Sports Sci.* 3 (2), pp. 50-58.
- HÄKKINEN, K., PAKARINEN, A., HYRÖLAINEN, H., CHENG, S., KIM, D. H. i KOMI, P. V. (1990), "Neuromuscular adaptations and Serum hormones in Females during Prolonged power training". *Int. J. Sports Med.* 11 (2), pp. 91-98.
- HÄKKINEN, K. i PAKARINEN, A. (1993), "Muscle strength and serum hormones in middle-aged and elderly men and women". *Acta Physiol. Scand.* 148, pp. 199-207.
- (1994), "Serum hormones and strength development during strength training in middle-aged and elderly men and women". *Acta Physiol. Scand.* 150, pp. 211-219.
- HÄKKINEN, K., PASTIENEN, U.-M., KARSIKAS, R. i LINNAMO, V. (1995), "Neuromuscular performance in voluntary bilateral and unilateral contractions and during electrical stimulation in men at different ages". *Eur. J. Appl. Physiol.* 70, pp. 518-527.
- HÄKKINEN, K., KRAEMER, W. J., KALLINEN, M., LINNAMO, V., PASTINEN, U.-M. i NEWTON, R. U. (1996), "Bilateral and Unilateral Neuromuscular Function and muscle cross-sectional area in middle-aged and elderly men and women". *J. Gerontol. Biol. Sci.* 51A, 1, B21-B29.

- HÄKKINEN, K., KALLINEN, M., IZQUIERDO, M., JOKELAINEIN, K., LASSILA, H., MÄLKIA, H., KRAEMER, W.J., NEWTON, R. U. i ALE, M. (1997c), *Neuromuscular adaptations during strength training in middle-aged and elderly men and women*. Acta physiol. Scand. Submitted for publication.
- HENATSCH, H. D. i LANGER, H. H. (1985), "Basic neurophysiology of motor skill in sport". *Int. J. Sports Med.* 6, pp. 2-14.
- HOUSTON, M. E., FROESE, E. A., VALERIOTE, St. P. i GREEN, H. J. (1983), "Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: A one leg model". *Eur. J. Appl. Physiol.* 51, pp. 25-35.
- IZQUIERDO, M. (1997), *Producción de fuerza, área de la sección transversal muscular y activación neural de los músculos extensores de los miembros inferiores durante acciones isométricas y dinámicas. Adaptaciones neuromusculares durante el entrenamiento de fuerza en hombres de 40 y 70 años*. Tesis Doctoral. Universidad de León.
- KEEN, D. A., YUE, G. H. i ENOKA, R. M. (1994), "Training-related enhancement in the control of motor output in elderly humans". *J. Appl. Physiol.* 77 (6), pp. 2648-2658.
- KOMI, P. V., VIITASALO, J. T., RAURAMAA, R. i VIRKKO, V. (1978), "Effect of isometric strength training on mechanical, electrical and metabolic aspects of muscle function". *Eur. J. Appl. Physiol.* 40, pp. 45-55.
- KOMI, P. V. (1986), "Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, Hypertrophic and mechanical factors". *Int. J. Sports Med. (Suppl)* 7, pp. 10-15.
- MORITANI, T. i DEVRIES, H. A. (1979), "Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain". *Am. J. Phys. Med.* 58, pp. 115-130.
- (1980), "Potential for gross muscle hypertrophy in older men". *J. Gerontology.* 35, pp. 672-682.
- MORITANI, T. i MURO, M. (1987), "Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction". *Eur. J. Appl. Physiol.* 56, pp. 265-266.
- NARICI, M. V., ROI, G. S., LANDONI, L., MINETTI, A. E. i CERRETELLI, P. (1989), "Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps". *Eur. J. Appl. Physiol.* 59, pp. 310-319.
- NEWTON, R. U., HÄKKINEN, K., HUMPHRIES, B. J., McCORMIK, M. R., VOLEK, J. i KRAEMER, W. J. (1996), "Adaptations in muscle power and force-time characteristics accompanying resistance training of young versus older men". En: *The proceedings of the First Australasian Biomechanics Conference* (ed. Lee et al.). University of Sidney, pp. 132-133.
- RHUTERFORD, O. M. i JONES, D. A. (1986), "The role of learning and coordination in strength training". *Eur. J. Appl. Physiol.* 55, pp. 100-105.
- RICE, C., CUNNINGHAM, D., PATERSON, D. H. i DICKINSON, J. R. (1993), "Strength training alters contractile properties of the triceps brachii in men aged 65-78 years". *Eur. J. Appl. Physiol.* 66, pp. 275-280.
- SALE, D. G. (1986), "Neural adaptation in strength and power training", en: Jones, N., McCartney, N., McComas, A. (eds.). *Human Muscle Power*, Champaign, IL. Human Kinetics Publishers.
- (1988), "Neural adaptation to resistance training". *Med. Sci. Sports. Exec.* 20, pp. S135-S145.
- (1991), Testing strength and power. En: MacDougall J. D. Wenger H. A. Green H. J. (eds). *Physiological testing of the high performance athlete*. Champaign. IL: Human Kinetics, pp. 21-103.
- SIPILÄ, S. i SUOMINEN, H. (1995), "Effects of strength and endurance training on thigh and leg muscle mass and composition in elderly women". *J. Appl. Physiol.* 78, pp. 334-340.
- SOLOMONOW, M., BARATTA, R., ZHOU, B. H. i D'AMBROSIA, R. (1988), "Electromyogram coactivation patterns of the elbow antagonist muscles during slow isokinetic movement". *Exp. Neurol.* 100, pp. 470-477 s.
- SPIEGEL, K., STRATTON, J., BURKE, J.R., GLENDINNING, E. S. i ENOKA, R. M. (1996), "Influence of age on the assessment of motor unit activation in a human hand muscle". *Exp. Physiol.* 81, pp. 805-809.
- THORTENSSON, A., GRIMBY, G. i KARLSSON, J. (1976b) "Force velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles". *J. Appl Physiol.* 40, pp. 12-6.
- TREUTH, M., RYAN, A., PRATLEY, R., RUBIN, M., MILLER, J. et al. (1994), "Effect of strength training on total and regional body composition in older men". *J. Appl. Physiol.* 77 (2), pp. 614-620.
- VANDERVOORT, A. A. (1992), "Effects of aging on human neuromuscular function: Implications for exercise". *Can. J. Sport Sci.* 17, pp. 178-184.
- VIITASALO, J. T. (1985c), "Effects of training on force-velocity characteristics". En Winter D.A. Norman, R.W. Wells, R.P. et al., editors. *Biomechanics IX-A*. Champaign. IL: Human Kinetics, pp. 96-101.