

L'entrenament creuat: una possibilitat del manteniment de la forma davant lesions unilaterals

DR. JOSÉ ENRIQUE
GALLACH LAZCORRETA
DR. LUIS-MILLÁN
GONZÁLEZ MORENO

Facultat de Ciències de
l'Activitat Física i l'Esport. València
Departament d'Educació
Física i Esportiva

CORRESPONDÈNCIA:
luis.m.gonzalez@uv.es

RESUM: Actualment, als esportistes se'ls exigeix un alt nivell de preparació. Estan subjectes tant a grans càrregues com a llargs períodes d'entrenament. Moltes vegades, ambdues situacions provoquen llargs períodes de recuperació i que la densitat de les càrregues d'entrenament estigui limitada pels límits fisiològics que l'organisme pot resistir. Una de les conseqüències més habituals són les lesions. Tanmateix, encara que clínicament no són serioses, poden provocar lentitud en els entrenaments. Aquest problema no és important en les primeres sessions quan les càrregues d'entrenament es van desenvolupant; tanmateix, si es produeixen durant una competició dificultaran la preparació final de l'atleta el que implicarà una important pèrdua en l'èxit de la competició. Aquestes situacions habituals però poc problemàtiques fan necessària la recerca de solucions factibles. El propòsit d'aquest article és revisar la pervivència de la literatura que tracta del fenomen de "l'educació creuada", analitzant la base teòrica i cercant aplicacions en el camp esportiu. El concepte "d'educació creuada" va ser descrit en primer lloc per Scripture, Smith and Brown (1894) i explica l'efecte crònic que el membre inactiu del cos desenvolupa com a resposta a un període d'entrenament realitzat pel membre contrari.

PALABRAS CLAVE: Entrenamiento cruzado. Entrenamiento de Fuerza. Lesiones. Sistema Nervioso.

SUMMARY. Nowadays sportsman are being demanded a high performance. They're subjected to great training loads as well as long training periods. In many occasion this situation provokes that both recovery periods and the density of training loads are closed to physiological limits that the organism can resist. As a consequence specific injuries can be common. However although they're not clinically serious, they can provoke slowness in training. This fact cannot be important at the beginning of the season when the generic training loads are being developed, however if this took place during the season of competition it would disturb the final preparation of the competitor. This would imply an important loss in the competition performance. These usual but problematic situations make necessary the search of feasible solutions. The aim of this article is to review the surviving literature, which dealt with the "cross education" phenomenon. Analysing the theoretical base and searching applications in the sporting field. The concept of "cross education", was first described by Scripture, Smith and Brown (1894). It explains the chronic effect that the inactive limb of the body develops as a response to a period of training executed by the contralateral limb.

KEY WORDS: Cross-education. Strength training. Injuries. Nervous system.

INTRODUCCIO

Actualment, l'alt rendiment exigeix cada vegada més dels esportistes, els quals es veuen sotmesos a gran càrregues d'entrenament així com a períodes de competició cada vegada més llargs. Aquesta situació provoca moltes vegades que tant els períodes de recuperació com la densitat de les càrregues estiguin fregant els límits fisiològics que l'organisme pot suportar. Conseqüentment, l'aparició de lesions puntuals és molt alta i, tot i que la seva importància clínica no és rellevant, pot provocar retards en els entrenaments. Aquests retards de pocs dies poden no ser importants al principi de la temporada quan es realitzen càrregues genèriques, tanmateix si es produeixen en època de competició poden alterar la posta a punt, suposant una merma significativa en el rendiment en competició.

Aquesta situació, que no per habitual deixa de ser problemàtica, fa necessària la recerca de possibles solucions. L'objectiu del present article és realitzar una revisió de la literatura existent sobre el fenomen de l'entrenament creuat, analitzant la seva base teòrica i cercant les seves possibles aplicacions en l'àmbit esportiu.

L'ENTRENAMENT CREUAT

El concepte de "cross-education"¹ va ser descrit inicialment per Scripture, Smith i Brown (1894) en éssers humans, i explica l'efecte crònic d'entrenament exhibit per un membre inactiu del cos, en resposta a un règim d'entrenament realitzat pel membre contralateral. Tanmateix, són diverses les definicions i els termes que s'han utilitzat al llarg d'aquests anys per tal de definir aquest fenomen. Com a exemple esmentarem els més actuals:

- ✓ "Cross-education" és l'efecte crònic que pren forma de millores en el rendiment muscular d'un membre inactiu, després de l'entrenament d'un membre remot (Hortobágyi et al., 1997).
- ✓ La millora de la força màxima en el membre col·lateral induïda per l'exercitació ipsilateral d'un membre és coneguda com a "cross-education" (Yasuda i Miyamura, 1983; Enoka, 1988; Sale, 1988; Shields et al., 1999).
- ✓ "Cross-training" implica increment de força en el mem-

bre contralateral (no entrenat) després de realitzar entrenament unilateral amb resistències (Housh et al., 1996).

- ✓ "Cross-training" és l'efecte que es produeix després d'un entrenament de força on s'ha exercitat un membre, donant com a resultat increments de força en el membre no entrenat (Weir et al., 1994).
- ✓ L'extensió dels efectes de l'entrenament vers el membre no entrenat es la anomenada "educació creuada" (Sergey et al. 1998).

L'entrenament d'un membre provoca un guany de força del membre oposat no entrenat (Cometti, 1998).

L'entrenament creuat és un fenomen que s'ha estudiat de forma bastant exhaustiva des de fa més d'una centúria per diversos autors (Scripture et al., 1984; Hellebrant et al., 1947; Gregg et al., 1957; Coleman, 1966; Devine et al., 1981), i que actualment encara segueix sent un tema d'investigació de màxima actualitat (Hortobágyi et al., 1999; Zhou, 2000; Bembeyn y Murphy, 2001; Shima et al., 2002).

Les condicions sota les quals s'ha provat la seva existència han estat molt diverses, utilitzant-se diferents tipus de contracció i mètodes d'entrenament:

- ✓ Contracció isomètrica (Shaver, 1975; Ikai i Fujinaga, 1970; Carolan i Cafarelli, 1992; Weir et al., 1994).
- ✓ Contracció dinàmica concèntrica i/o excèntrica (Moritani i DeVries, 1979; Houston et al., 1983; Cannon i Cafarelli, 1987; Brown et al., 1990; Moss et al., 1997; Weir et al., 1997; Sergey et al., 1998).
- ✓ Entrenament isocinètic concèntric i/o excèntric (Krotkiewski et al., 1979; Wickiewicz et al., 1984; Kanus et al., 1992; Owings i Grabiner, 1996; Housh et al., 1996; Hortobágyi et al., 1996b).
- ✓ Electroestimulació (Laughman et al., 1983; Cabric i Apell, 1987).
- ✓ Efectes cutanis (Matyas et al. 1986) i condicions clíniques (Mills i Quintana, 1985; Stromberg, 1986, 1988).

També en altres ocasions, el fenomen de l'entrenament creuat no va aparèixer o va ser posat en entredit:

- ✓ Isometria (Tesch i Karlsson, 1984; Jones i Rutherford, 1987; Garfinkel i Cafarelli, 1992; Narici et al., 1989; Weir et al., 1995).

¹ Els termes "cross-education" i "cross-training" es traduiran al castellà com entrenament creuat, seguint la traducció realitzada per Manuel Pombo a Cometti, 1998.

- ✓ Dinàmica (Young et al., 1983).
- ✓ Isocinètic (Housh et al., 1992).
- ✓ Electroestimulació (Davies et al., 1985).

Només una investigació (Lagassé, 1974) va obtenir decrements de força del membre no entrenat després d'un període d'entrenament de força del membre contralateral.

Resumint, el que tenen en comú tots aquests estudis és que han treballat l'entrenament de força de manera ipsilateral i han utilitzat com a control intern el membre contrari. En conseqüència, són investigacions de força que, tant en el pre-test com en el post-test, mesuren diferents variables en ambdós membres, i la seva millora a través del temps com a conseqüència d'un règim d'entrenament.

Tanmateix, el que diferencia unes de les altres és la variació dels paràmetres d'entrenament, així com les variables mesurades i les metodologies emprades per recollir les dades. La immensa majoria d'investigacions van utilitzar homes pel seu estudi, tot i que algunes també van treballar amb dones, trobant efectes similars d'entrenament creuat (Weir et al., 1995; Bemben i Murphy, 2001).

Un dels factors que han variat molt d'una investigació a una altra és l'elecció del membre que havia de ser entrenat. Algunes investigacions van optar per entrenar el membre no dominant (Housh et al., 1996; Moss et al., 1997; Weir et al., 1997), essent escollit aquest per la prova de "preferència de copejament"; també, a vegades, es va triar el membre dominant (Narici et al., 1989).

Moltes altres no van tenir en compte la lateralitat dels subjectes, escollint el membre esquerra (Sergey et al., 1998; Hortobágyi et al., 1996a) o el dret (Cannon i Cafarelli, 1987; Weir et al., 1994, 1995). En cap dels articles ressenyats, els autors reflexionen sobre la causa de l'elecció del membre a entrenar. Malgrat tot, sembla clar que el braç escollit va influir sobre possibles descompensacions després de l'entrenament. Així, en una recent investigació de Gallach i González (2002), després d'escollir el braç no dominant per realitzar els entrenaments, es va reduir la compensació de força entre ambdós membres d'un 5,7% a un 2,2%. Si s'hagués entrenat el braç dominant, molt probablement aquestes diferències percentual s'haurien vist augmentades amb els conseqüents problemes estètics i de salut.

Pel que fa a l'elecció de grup/s muscular/s entrenat/s, hi ha una gran varietat, tot i que una immensa majoria va realitzar l'estudi de l'extensió de la cama, essent un dels músculs

més analitzats el quadríceps (Jones i Rutherford, 1987; Owings i Grabiner, 1996; Housh et al., 1996; Sergey et al., 1998). Molts altres van investigar la flexió del colze (Moritani i DeVries, 1979; Brown et al., 1990) o fins i tot petits músculs de la mà (Cannon i Cafarelli, 1987), trobant molts d'ells entrenament creuat independentment del segment corporal analitzat i de la mida del múscul.

La durada mitja de les investigacions va ser molt similar, essent el període d'entrenament més utilitzat el comprès en l'interval entre 6 i 12 setmanes (veure taula 1), amb una freqüència de 3 a 4 sessions per setmana, deixant un interval d'un dia de descans entre sessions. La varietat d'intensitats, així com el volum de cada sessió va ser molt dispar, tot i que la immensa majoria tant en l'àmbit d'entrenament creuat com en la investigació bàsica de força ha estudiat altes intensitats, entre el 75-100% del màxim i poques repeticions (Moritani i DeVries, 1979); Rutherford et al., 1986; Enoka, 1988).

Poques investigacions s'han ocupat d'entrenaments amb intensitats per sota del 30% (Yasuda i Miyamura, 1983). Una de les que ha utilitzat càrregues menors és la realitzada per Shields et al. (1999), en la qual van emprar en un dels grups experimentals càrregues properes al zero per cent (0,005% del màxim voluntari en contracció isomètrica) i en l'altre grup càrregues del 30%, obtenint com a resultat en la mà no entrenada increments del treball desenvolupat similars en ambdós grups. Conseqüentment, els autors van arribar a la conclusió que és possible que la variable intensitat no sigui rellevant en el moment d'aconseguir majors efectes en el membre no entrenat.

Altres autors com Hortobágyi et al. (1999), opinen el contrari, suggerint a partir de les seves experiències amb diferents càrregues i volums d'entrenament, que ambdues variable si tenen una relació directa amb el percentatge de guany d'entrenament creuat.

La magnitud en percentatge de guany aconseguit a través de l'entrenament unilateral s'ha mogut en una forquilla bastant ampla des de valors del 6% (Moss et al. 1997) o 9,5% (Cannon i Cafarelli, 1987) fins a un 135% recollit en la investigació realitzada per Anson i col. (1993). A més a més, alguns autors, a partir dels seus resultats, afirmen que les contraccions excèntriques obtenen un major entrenament creuat que les realitzades de forma concèntrica 77% vs 30%. Tanmateix, altres autors han enregistrat diferències molt menys marcades 15% vs. 10% (Sergey et al., 1998).

Taula I Recorregut històric dels estudis sobre l'entrenament creuat

Autors	Any	Nombre de subjectes	Tipus de contracció muscular entrenada	Grup / s muscular / s	Setmanes d'entrenament	Dies entrenaments setmanals	Sèries per sessions	Repeticions per sessió	% de la càrrega respecte al màxim	Velocitat de la contracció	% de entrenam. creuat, guany de força del membre no entrenat
Moritani i DeVries	1979	7 H 8 M	Dinàm. Concèntrica	Flex. del colze	8	3	1	10	66	—	24
Houston et al.	1983	12 H	Dinàm. Concèntrica	Quadriiceps	10	4	3	24-30	—	—	12-37
Cabric i Appell	1987	36 H	Electroestimulació	Tríceps sural ídem	7 ídem	3 ídem	1 ídem	1 ídem	50 Hz 2000 Hz	—	39,7 32,2
Cannon i Cafarelli	1987	23 H	Dinàm. Concèntrica Electroestimulació	Adductor pollicis ídem	5 ídem	3 ídem	1 ídem	15 ídem	80 50 Hz	—	9,5 NO
Narici et al.	1989	4 H	Isotòn. Concèntrica	Ext. del genoll	15	4	6	60	—	2.09 rad·s ⁻¹	NO
Garfinkel i Cafarelli	1992	15 M	Isomètrica	Ext. de la cama	8	3	1	30	—	—	NO
Housh et al.	1992	13 H	Isotòn. Concèntrica	Flex. Ext. de la cama i l'avantbraç	8	3	6	60	—	2.09 rad·s ⁻¹	NO
Weir et al.	1994	6 H 7 M	Isomètrica	Quadriiceps	6	3	2	20	80	—	23,3
Weir et al.	1995	16 M	Isomètrica	Quadriiceps	6	3	2	20	80	—	NO
Hortobágyi et al.	1996 ^a	42 M	Isotòn. Concèntrica Isotòn. Excèntrica	Quadriiceps ídem	6 ídem	4 ídem	4 ídem	24-40 ídem	—	1.05 rad·s ⁻¹ ídem	6 6
Hortobágyi et al.	1996 ^a	21 H	Isotòn. Concèntrica Isotòn. Excèntrica	Quadriiceps ídem	12 ídem	3 ídem	4-6 ídem	32-72 ídem	—	1.05 rad·s ⁻¹ ídem	NO NO

Taula I Recorregut històric dels estudis sobre l'entrenament creuat (continuació)

Autors	Any	Nombre de subjectes	Tipus de contracció muscular entrenada	Grup / s muscular / s	Setmanes d'entrenament	Dies entrenaments setmanals	Sèries per sessions	Repeticions per sessió	% de la càrrega respecte al màxim	Velocitat de la contracció	% de entrenam. creat, guany de força del membre no entrenat
Housh et al.	1996	16 H	Dinàm. Concèntrica	Ext. de la cama	8	3	3-5	18-30	80	1.57 rad·s ⁻¹	15
Owings i Grabner	1996	12 H	Isotòn. Concèntrica Isotòn. Excèntrica	Ext. del genoll	—	—	—	—	—	30°·s ⁻¹	NO 10,7
Moss et al.	1997	31 H	Dinàm. Concèntrica	Flex. del colze ídem	9 ídem	3 ídem	4-5 ídem	2 7	90 35	—	6,9 NO
Weir et al.	1997	16 H	Dinàm. Concèntrica	Ext. de la cama	8	3	3-5	18-30	80	—	15,4
Hortobágyi et al.	1997	21 H	Isotòn. Concèntrica Isotòn. Excèntrica	Quadríceps ídem	12 ídem	3 ídem	6 ídem	48-72 ídem	—	1.05 rad·s ⁻¹ ídem	22 77
Serger et al.	1998	10 H	Isotòn. Concèntrica Isotòn. Excèntrica	Ext. del genoll ídem	10 ídem	3 ídem	4 ídem	40 ídem	—	90°·s ⁻¹ ídem	10 15
Hortobágyi et al.	1999	32 M	Isotòn. Excèntrica Electroestimulació .Electro.Remota	Quadríceps Quadríceps Bíceps i Quadríceps	6 ídem ídem	4 ídem ídem	4-6 ídem ídem	24-48 ídem ídem	—	1.047 rad·s ⁻¹ ídem ídem	19 27 28
Shields et al.	1999	24 H	Dinàm. Concèntrica	Flexors de la mà	6 ídem	5 ídem	2 ídem	22/126 minuts	30 0,005	—	28 39
Zhou	2000	30 H	Isomètrica Electroestimulació	Ext. del genoll	4 ídem	3 ídem	1 ídem	40 ídem	65 ídem	—	21,4 21,1
Bemben, i Murphy	2001	20 M	Isomètrica	Bíceps braquial	5	2-3	4	10	70	—	12
Shima et al.	2002	15 H	Dinàm. Concèntrica	Flexors plantars	6	4	3	10-12	70-75%	—	8,9

POSSIBLES EXPLICACIONS TEÒRIQUES DE L'ENTRENAMENT CREUAT

Davant aquesta diversitat de resultats i metodologies utilitzades i després de descartar possibles errades en la reproducció dels tests, són molts els mecanismes que s'han proposat com a responsables d'aquest fenomen.

Un primer element, en el qual algunes investigacions han cercat la solució, ha estat en la hipertrofia del membre no entrenat. Sembla clar, si analitzem la literatura existent, que l'augment de la secció transversal del múscul acompanyada d'incrementos de les proteïnes contràctils, influeix en l'increment de la força (Ikai i Fukunaga, 1968, 70; Close, 1972; Coyle et al., 1981; Kawakami et al., 1993) i que aquest augment té relació amb la magnitud de les càrregues.

Tanmateix, molts altres autors no han trobat una associació directa entre l'augment muscular i la millora de la força o, el que és el mateix, han observat millores de força sense el corresponent increment de la massa muscular (Costill et al., 1979). Alguns autors especialitzats en el tema de l'entrenament creuat han introduït la variable hipertrofia en els seus estudis (Carey Smith i Rutherford, 1995; Hortobágyi et al., 1996a; Serger et al., 1998). Una de les hipòtesis de treball va ser buscar després d'entrenament ipsilateral, millores en la secció transversal del múscul contralateral.

Malgrat tot, podríem afirmar que, segons les dades obtingudes en les investigacions precedents, no es va trobar hipertrofia significativa en els membres no entrenats, tant en el quadríceps (Krotkiewski et al., 1979; Lewis et al., 1984; Jones and Rutherford, 1987; Narici et al., 1989; Serger et al., 1998) com en el braç (Hortobágyi i Katch, 1990), quedant establert per aquests autors que els increments de força significatius no sempre van acompanyats del corresponent guany en àrea (cm²) de la secció transversal del múscul (Moss et al., 1997).

Tampoc es van poder establir diferències d'hipertrofia en el membre no entrenat quan es van comparar diferents tipus de contracció excèntrica vs. Concèntrica (Jones i Rutherford, 1987; Carey Smith i Rutherford, 1995).

Es possible, segons Housh et al. (1992), que períodes més llargs que els habitualment utilitzats en les investigacions puguin donar increments significatius pel que fa a la secció transversal dels músculs no entrenats. A més a més, suggereixen que els exigents tractament estadístics de les dades (correccions de Bonferroni) o el baix nombre de subjectes amb gran variabilitat inter-subjectes pugui estar ocultant increments significatius. Tanmateix, fins el moment, la man-

ca de significació vers aquest tema empeny als investigadors a mirar en altres direccions.

Per tant, sembla clar que si es descarta la hipertrofia com a mecanisme subjacent al fenomen d'entrenament creuat, són els aspectes que es refereixen a les adaptacions del sistema nerviós els primers responsables d'aquestes millores (Housh et al., 1992; Hortobágyi et al., 1997).

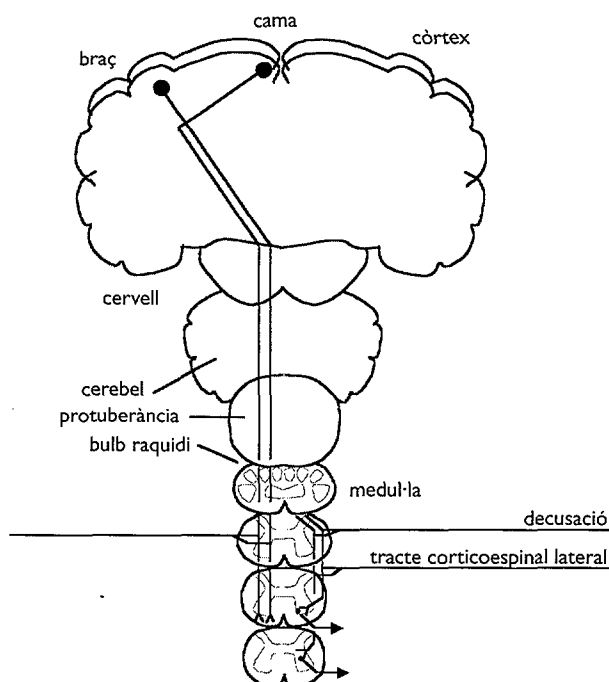
La majoria dels experts suggereixen que els resultats que han obtingut pel que fa a l'increment de força en el braç no entrenat són deguts a millores produïdes pel sistema nerviós. Malgrat això, la localització precisa, a nivell del sistema nerviós central, o potser perifèric, si que ha estat motiu de discussió i de gran diversitat d'opinions.

Diverses raons es poden argumentar a l'hora de justificar la importància del sistema nerviós i la localització del fenomen de l'entrenament creuat. Les bases neuroanòmiques ens donen una primera probabilitat que localitzaria en la decusació corticoespinal anteroespinal (Davies et al., 2001) el mecanisme que induïx a millores creuades d'un membre a un altre. El tracte corticoespinal és un feix de fibres que contenen al voltant d'un milió d'axons. Gairebé la meitat d'elles tenen el seu origen en el còrtex primari (àrea 4 de Brodmann).

Les fibres corticoespinals viatgen a través de la càpsula interna fins a la porció ventral del mesencèfal. En la confluència amb el bulb i la medulla espinal (com es pot veure en la figura 1) unes tres quartes parts de les fibres corticoespinals creuen la línia mitja en la decusació. Les fibres que no decusen baixen per les fibres ventral formant els tractes corticoespinals ventrals. Aquestes fibres, tot i que són una mínima quantitat, suposen una representació suficient dels impulsos motors centrals que es mantenen d'una forma ipsilateral i que podrien intervenir en l'activació del membre no exercitat.

En la mateixa línia, encara que sense especificar el mecanisme, Serger i cols. (1998), com altres autors (Moritani i DeVries, 1979; Enoka, 1988; Houston et al., 1983) opinen que l'entrenament creuat és degut a una adaptació del sistema nerviós central. L'increment d'EMG en el braç no entrenat, així com la falta d'hipertrofia en els post-test, induïxen a pensar en els mecanismes centrals com a principals responsables del fenomen (Sale, 1988). Tot això podria produir increments en la conducció nerviosa vers el membre no entrenat (Komi et al., 1978; Moritani i DeVries, 1979). A més a més, com indiquen alguns autors, les tasques de tipus unilaterial estan associades amb activació bilateral del còrtex motor (Kristeva et al., 1991).

Figura I Esquema de la via corticoespinal del sistema nerviós

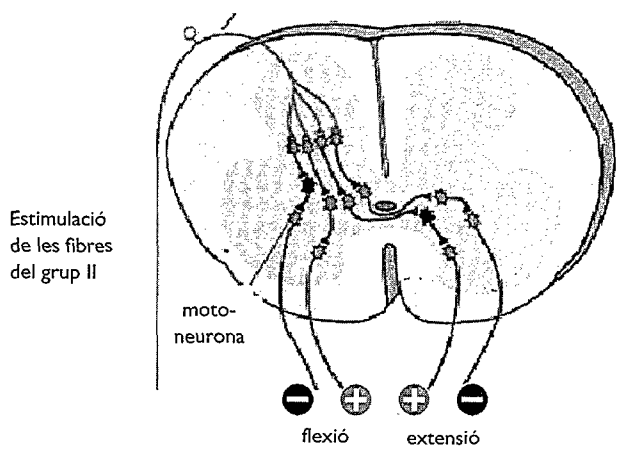


Yasuda i Miyamura (1983) suggereixen dues possibles solucions una vegada realitzat l'entrenament amb càrregues properes al zero per cent.

Podria ser que les millores durant l'entrenament fossin degudes a aprenentatges a nivell del sistema nerviós central o perifèric. És possible que la repetició d'un gest motor modifiqui certa classe d'inputs dels circuits cerebelosos durant períodes llargs. Així, l'activitat de les neurones cerebeloses pot canviar per l'experiència i jugar un important paper durant l'aprenentatge de tasques motores (Kandel et al., 1997).

Deixant a part les possibles explicacions que situen el fenomen a nivell supraespinal o del sistema nerviós central, Hortobágyi i cols. (1997, 1999) opinen que l'entrenament creuat és degut als reflexos espinals, podent-ne ser el responsable el reflex d'extensió creuat (veure figura 2), sobretot en situacions d'electroestimulació o d'allargament muscular -treballs excèntrics- (Lagassé, 1974). Aquestes hipòtesis prenen força si tenim en compte les investigacions realitzades per Mills i Quintana (1985) que van trobar millores després d'un entrenament unilateral del membre contrari en pacients amb accident cerebro-vascular. Tot això indica la im-

Figura II Reflex d'extensió creuada



portant influència dels mecanismes perifèrics i reflexos en els resultats trobats.

Per tant, vist l'exposat fins el moment, sembla ser que l'entrenament de força de forma ipsilateral pot produir una difusió dels impulsos motors des braç entrenat vers el membre contralateral no entrenat (Housh et al., 1996). Potser això sigui degut a la contracció de la musculatura del costat contralateral per mantenir el cos sense balanceig i conservar la postura mentre es realitzen els exercicis d'entrenament amb l'altre membre (Shaver, 1975; Komi et al., 1978).

Tanmateix, altres autors van comprovar que els mecanismes sensorials, en ser estimulats de forma cutània van produir un increment de l'excitabilitat de les motoneurons del seu múscul homòleg contralateral (Pierrot-Deseilligny et al., 1973; Robinson et al., 1979). A aquestes afirmacions es sumen aquelles en les quals l'entrenament produeix un cert grau de dolor, o bé per la duresa intrínseca de l'exercici, provocant alteracions en els receptors del dolor i augmentant els inputs aferents amb la subsegüent activació dels reflexos espinals (Howard i Enoka, 1991).

Per acabar, alguns autors suggereixen que els mecanismes que indueixen l'entrenament creuat poden ser diferents segons el tipus de contracció a què el múscul es vegi sotmès (Hortobágyi et al., 1997). Owings i Grabiner, en la seva investigació de l'any 1996, van sotmetre als subjectes a un protocol d'extensió del genoll en el qual només s'entrenava una cama.

Dividits en dos grups, un realitzava contraccions isocinètiques concèntriques i l'altre excèntriques. Abans i després de l'entrenament de fatiga, els subjectes realitzaven contraccions màximes amb la cama no entrenada. Per als subjectes que feien les contraccions concèntriques, la força màxima de la cama no exercitada no es va veure afectada per la fatiga induïda.

Per contra, els subjectes que van realitzar contraccions excèntriques van experimentar una millora d'un 11% de la seva força màxima en els extensors de la cama no entrenada, immediatament després de realitzar l'entrenament en fatiga de la cama contrària. Aquests descobriments suggereixen que els esforços en contraccions excèntriques estan associats amb facilitació dels circuits neuronals, a nivell espinal, que controlen els músculs homòlegs de la cama no entrenada. En les contraccions concèntriques no es van trobar resultats similars.

APLICACIONS PRÀCTIQUES A L'ÀMBIT ESPORTIU DEL FENOMEN DE L'ENTRENAMENT CREUAT

Revisant la literatura existent, es pot observar que són poques les investigacions que s'han realitzat amb finalitats clíniques de rehabilitació i cap sobre la rehabilitació esportiva. Malgrat això, el fenomen de l'entrenament creuat, segons el nostre punt de vista, està més que demostrat, i la seva possible aplicació en el nostre camp de treball com a entrenadors ha de contemplar-se en forma d'entrenaments alternatius en front la incapacitat temporal d'un membre, ja sigui per lesió o per altres motius.

Assíduament, els entrenadors acostumen a parar els entrenaments a conseqüència de lesions puntuals, produint-se desadaptacions no desitjades en pocs dies de descans, principalment a nivell del sistema nerviós, essent aquestes potser les més importants en moments previs a la competició, quan els esportistes necessiten més velocitat.

Per suposat i tal com queda reflectit en el marc teòric d'aquest article, no podem esperar millores en la hipertrofia del membre no treballat, donat que gairebé tots els estudis coincideixen en aquest punt. Tanmateix, el treball unilateral possibilitarà que el nostre sistema nerviós tant a nivell central

com perifèric s'activi i no perdi part de les millores aconseguides amb anterioritat, "refrescant" la nostra capacitat de conducció nerviosa i enfortint les sinapsis medul-lars.

Sembla clar que les millores pel que fa a la freqüència d'estímuls, així com de la coordinació intermuscular que es donen en entrenaments de força unilaterals, podrien millorar la capacitat d'aplicació de força del membre actiu. I no només la força, doncs també podem esperar millores en el temps d'execució del gest motor, fet confirmat per les dades recollides per Gallach i González l'any 2002.

Concretament, les millores que es van obtenir en el recorregut total del gest motor de la flexió de l'avantbraç sobre el braç després de l'entrenament unilateral, estaven compreses entre un 23,37% pel grup que va treballar en el nostre estudi amb càrregues altes i poques repeticions, el que ens indica un temps d'execució menor en el post-test respecte al pre-test.

Destacar que no només es va millorar el recorregut total, sinó que també es va millorar significativament en dos dels tres recorreguts dels gest motor. Tot això amb una gran importància pràctica a nivell de l'entrenament i la rehabilitació dels esportistes.

FUTURES INVESTIGACIONS I CONCLUSIONS

Per finalitzar aquest article, volem ressaltar la importància que podria derivar-se del fet d'investigar en més profunditat les aplicacions pràctiques en rehabilitació esportiva de l'entrenament creuat. Sota el nostre punt de vista s'haurien de dirigir futures investigacions sobre aquest tema per descobrir noves dimensions, cercant possibles efectes de l'entrenament creuat no només en rendiments de força i velocitat, sinó també en possibles transferències del gest motor d'un membre a un altre.

Per últim i com a conclusió, podem afirmar que els entrenaments realitzats ipsilateralment amb càrregues mitges i altes –independentment del tipus de contracció– milloren la força i la velocitat de contracció del membre contralateral, millorant el rendiment d'un gest motor tant si és esportiu com d'un altre caire.

Bibliografia

- Anson, M.R., Halpern, A.A., Clarkson, P.M.: Pulsed eccentric loading effects on cross-education. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25 (Supl.) (1993), 164
- Bemben, M. G., Murphy, R. E.: Age related neural adaptation following short term resistance training in women. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 41, (2001), 291-9,
- Brown, A.B., McCartney, N., Sale, D.: Positive adaptations to weight-lifting training in the elderly. *Journal of Applied Physiology*, 69 (1990), 1725-1733
- Cabric, M., Appell, H.J.: Effect of electrical stimulation of high and low frequency on maximum isometric force and some morphological characteristics in men. *International Journal of Sports Medicine*, 8 (1987), 256-260
- Cannon, R.J., Cafarelli, E.: Neuromuscular adaptations to training. *J. Appl. Physiol.* 63(1987), 2396-2402
- Carey Smith, R., Rutherford, O.M.: The role of metabolites in strength training. A comparison of eccentric and concentric contractions. *Eur.J. Appl. Physiol.* 71 (1995), 332-336
- Carolan, B., Cafarelli, E.: Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *J. Appl. Physiol.* 73 (1992), 911-917
- Close, R.I.: Dynamic properties of mammalian skeletal muscles. *Physiol. Rev.* 52: 129-197, 1972
- Coleman, E. A.: Effect of unilateral isometric and isotonic contractions on the strength of the contralateral limb. *Res. Q.* , 37 (1966), 302-312
- Cometti, G.: *Los métodos modernos de musculación*. Barcelona: Ed. Paidotribo, 1998.
- Costill, D.L., Coyle, E.F., Fink, W.F., Lesmes, G.R., Witzmann, F.A.: Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J. Appl. Physiol.* 46 (1979), 96-99
- Coyle, E.F., Feiring, D.C., Rotkins, T.C., Cote III, R.V., Roby, F.B., Lee, W., Wilmore, J.H.: Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.* 51 (1981), 1437-1442
- Davies, A., Blakeley, A.G.H., Kidd, C.: *Human Physiology*. Londres: Ed. Churchill Livingstone, 2001
- Davies, C.T.M., Dooley, P., McDonagh, M.J.N., White, M.J.: Adaptation of mechanical properties of muscle to high force training in man. *J. Physiol.* 365(1985), 277-284
- Devine, K.L., LeVeau, B.F., Yack, H.J.: Electromyographic activity recorded from and unexercised muscle during maximal isometric exercise of the contralateral agonist and antagonist. *Phys. Ther.* 61(1981), 898-903
- Enoka, R.M.: Muscle strength and its development. New perspectives. *Sports Medicine* 6 (1988), 146-168
- Gallach, J.E., González, L.M.: *Entrenamiento de fuerza ipsilateral del brazo no dominante y su influencia sobre el brazo contralateral*. Tesis doctoral. Departamento de educación física y deportiva. FCAFE. 15 de Marzo 2002. Valencia. (FCAFE, Biblioteca, Carretera de Cheste s/n. 46380. Cheste)
- Garfinkel, S., Cafarelli, E.: Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Med. Sci. Sports Exercise* 24 (1992), 1220-1227
- Gregg, R.A., Mastellone, A. F., Gersten, J.W.: Cross exercise: a review of the literature and study utilizing electromyographic techniques. *Am. J. Phys. Med.* 36 (1957), 269-280
- Hellebrant, F.A., Parrish, A. M., Hountz, S.J.: Cross-education: the influence of unilateral exercise on the contralateral limb. *Arch. Phys. Med.* 28 (1947), 76-85
- Hortobágyi, T., Barrier, J. Beard, D., Braspenincx, J., Koens, P., Devita, P., Dempsey, L., Lambert, J.: Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *J. Appl. Physiol.* 81(1996b), 1677-1682
- Hortobágyi, T., Hill, J.P., Houmard, J.A., Fraser, D.D., Lambert, N.J., Israel, R.: Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J. Appl. Physiol.* 80(1996a), 756-772
- Hortobágyi, T., Hill, J.P., Lambert, N.: Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 29 (1997), 107-112
- Hortobágyi, T., Kach: Role of concentric force in limiting improvement in muscular strength. *J. Appl. Physiol.* 68 (1990), 650-658
- Hortobágyi, T., Scott, K., Lambert, J., Hamilton, G., Tracy, J.: Cross-education is greater with stimulated than voluntary contractions. *Motor Control*. 3 (1999), 205-219
- Housh, D. J., Housh, T.J., Johnson, G.O., Chu, W.: Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *J. Appl. Physiol.* 73(1992), 65-70
- Housh, T.J., Housh, D.J., Weir, J.P., Weir, L.L.: Effects of unilateral concentric-only dynamic constant external resistance training. *Int. J. Sports Med.* 17(1996), 338-343
- Houston, M.E., Froese, E.A., Valeriote, St. P., Green, H.J., Ranney, D.A.: Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: A one leg model. *Eur. J. Appl. Physiol.* 51 (1983), 25-35

- Howard, J.D., Enoka, R.M.: Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *J. Appl. Physiol.* 70(1991), 306-316
- Ikai, M., Fukunaga, T.: A study on training effect on strength per unit cross-sectional area of muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. Angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol.* 28 (1970), 173-180
- Ikai, M., Fukunaga, T.: Calculation on muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurements. *Int. Z. Angew. Physiol.* 26 (1968), 26-32
- Jones, D.A., Rutherford, O. M.: Human muscle strength training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *J. Physiol (Lond.)* 391 (1987), 1-11
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M.: *Neurociencia y conducta*. Madrid. Prentice Hall, 1997
- Kannus, P., Alosa, D., Cook, L., Johnson, R.J., Pope, M., Beynon, B., Yasuda, K., Nichols, C., Kaplan, M.: Effect of one-legged exercise on the strength, power and endurance of the contralateral leg. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64 (1992), 117-126
- Kawakami, Y., Hirano, Y., Miyasita, M., Fukunaga, T.: Effect of leg extension training on concentric and eccentric strength of quadriceps femoris muscles. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 3 (1993), 22-27
- Komi, P.V., Vitassalo, J., Rauramaa, R., Vihko, V.: Effect of isometric strength training of mechanical, electrical and metabolic aspects of muscle function. *European Journal of Applied Physiology.* 40 (1978), 45-55
- Kristeva, R., Cheyne, D., Deeke, L.: Neuromagnetics fields accompanying unilateral and bilateral voluntary movements: Topography and analysis of cortical sources. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 81 (1991), 284-298
- Krotkiewski, M.A., Aniansson, A., Grimby, G., Bjorntorp, P., Sjostrom, L.: The effect of unilateral isokinetic strength training on local adipose and muscle tissue morphology, thickness, and enzymes. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 42 (1979), 271-281
- Lagassé, P.P.: Muscle strength: Ipsilateral and contralateral effects of superimposed stretch. *Arch. Phys. Rehabil.* 55 (1974), 305-310
- Laughman, R.K., Youdas, J.W., Garret, T.R., Chao, E.Y.S.: Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Phys. Ther.* 63 (1983), 494-499
- Matyas, T.A., Galea, M.P., Spicer, S.D.: Facilitation of maximum voluntary contraction in hemiplegia by concomitant cutaneous stimulation. *Am. J. Phys. Med.* 65 (1986), 125-134
- Mills, V.M., Quintana, L.: Electromiography results of exercise overflow in hemiplegics patients. *Journal of the American Physical Therapy Association*, 65 (1985), 1041-1045
- Moritani, T, DeVries H.A.: Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.* 58 (1979), 115-130
- Moss, B.M., Refsnes, P.E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., Jensen, J.: Effects of maximal effort strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75 (1997), 193-199
- Narici, M.V., Roi, G.S., Landoni, L., Minetti, A.E., Cerretelli, P.: Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59 (1989), 310-319
- Owings, T.M., Grabiner, M.D.: Disparate ipsi and contralateral effects of concentrically vs. eccentrically induced fatigue. *Med. Sci. Sports Exercise.* 28 (1996), 141
- Pierrot-Desseilligny, E., Bussel, B., Sideri, G., Cathala, H.P., Castaigne, P.: Effect of voluntary contraction on H reflex changes induced by cutaneous stimulation in normal man. *EEG Clin. Neurophysiol.* 34 (1973), 185-192
- Robinson, K.L., McIlwain, J.S., Hayes, K.C.: Effects of H-reflex conditioning upon the contralateral alpha motoneuron pool. *EEG Clin. Neurophysiol.* 46 (1979), 65-71
- Rutherford, O.M., Greig, C.A., Sargeant, A.J., Jones, D.A.: Strength training and power output: transference effects in the human quadriceps muscle. *J. Sports Sci.* 4 (1986), 101-107
- Sale, D.G.: Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 20 (suppl.) (1988), S135-S145
- Scripture, E.W., Smith, T.L., Brown, E.M.: On education of muscular control and power. *Studies Yale Psychol. Lab.* 2 (1894), 114-119
- Serger, J.Y., Arvidsson, B., Thorstensson, A.: Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 79 (1998), 49-57
- Shaver, L.G.: Cross transfer effects of conditioning and deconditioning on muscular strength. *Ergonomics*, 18 (1975), 9-16
- Shields, R.K., Leo, K.C., Messaros, A.J., Somers, V.K.: Effects of repetitive handgrip training on endurance, specificity, and cross-education. *Physical Therapy.* 79(1999), 467-475
- Shima, N., Ishida, K., Katayama, K., Morotome, Y., Sato, Y., Miyamura, M.: Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *Eur. J. Appl. Physiol.* 86 (2002), 287-294
- Stromberg, B.V.: Contralateral therapy in upper extremity rehabilitation. *American Journal of Physical Medicine*, 65 (1986), 135-143

- Stromberg, B.V.: Influence of cross-education training in postoperative hand therapy. *South. Med. J.* 81 (1988), 989-91
- Tesch, P.A., Karlsson, J.: Effects of exhaustive, isometric training on lactate accumulation in different muscle fiber types. *Int. J. Sports Med.* 5 (1984), 89-91
- Weir, J.P., Housh, D.J., Housh, T.J., Weir, L.L.: The effect of unilateral concentric weight training and detraining on joint angle specificity, cross-training, and the bilateral deficit. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 25 (1997), 264-70
- Weir, J.P., Housh, T.J., Weir, L.L.: Effects of unilateral isometric strength training on joint angle specificity and cross-training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70 (1995), 337-43
- Weir, J.P., Housh, T.J., Weir, L.L.: Electromyographic evaluation of joint angle specificity and cross-training after isometric training. *J. Appl. Physiol.* 77(1994), 197-201
- Wickiewicz, T.L., Roy, R.R., Powell, P.L., Perrine, J.J., Edgerton, V.R.: Muscle architecture and force-velocity relationships in humans. *J. Appl. Physiol.* 57 (1984), 435-443
- Yasuda, Y., Miyamura, M.: Cross-transfer effects of muscular training on blood flow in the ipsilateral and contralateral forearms. *Eur. J. Appl. Physiol.* 51 (1983), 321-329
- Young, A., Stokes, M., Round, J.M., Edwards, R.H.T.: The effect of high resistance training on strength and cross-sectional area of the human quadriceps. *Eur. J. Clin. Invest.* 13 (1983), 411-417
- Zhou, S.: Chronic neural adaptations to unilateral exercise: mechanisms of cross education. *Exerc. Sports Sci. Rev.* 28 (2000), 177-84

