

El entrenamiento cruzado: una posibilidad del mantenimiento de la forma ante lesiones unilaterales

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

Facultad de Ciencias de la
Actividad Física y el Deporte.
Valencia.
Departamento de Educación
Física y Deportiva.

CORRESPONDENCIA:
luis.m.gonzalez@uv.es

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 2003; 141: 9-19

RESUMEN: En la actualidad a los deportistas les exigen un alto nivel de preparación. Están sujetos tanto a grandes cargas como a largos períodos de entrenamiento. En muchas ocasiones ambas situaciones provocan largos períodos de recuperación y que la densidad de las cargas de entrenamiento esté limitada por los límites fisiológicos que el organismo puede resistir.

Una de las consecuencias más habituales son las lesiones. Sin embargo, aunque clínicamente no son serias pueden provocar lentitud en los entrenamientos. Este problema no es importante en las primeras sesiones cuando las cargas del entrenamiento se van desarrollando; sin embargo, si se producen durante una competición dificultarán la preparación final del atleta, lo que implicará una importante pérdida en el éxito de la competición. Estas situaciones usuales pero problemáticas hacen necesaria la búsqueda de soluciones factibles. El propósito de este artículo es revisar la pervivencia de la literatura que trata el fenómeno de la "educación cruzada", analizando la base teórica y buscando aplicaciones en el campo deportivo. El concepto de "educación cruzada" fue descrito en primer lugar por Scripture, Smith y Brown (1894) y explica el efecto crónico que el miembro inactivo del cuerpo desarrolla como respuesta a un período de entrenamiento ejecutado por el miembro contrario.

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 occasions 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.

INTRODUCCION

En la actualidad, el alto rendimiento exige cada vez más de los deportistas, los cuales se ven sometidos a grandes cargas de entrenamiento así como a periodos de competición cada vez más largos. Esta situación provoca en muchas ocasiones, que tanto los periodos de recuperación como la densidad de las cargas estén rozando los límites fisiológicos que el organismo puede soportar. En consecuencia la aparición de lesiones puntuales es muy elevada, y aunque su significación clínica no es importante, pueden provocar retrasos en los entrenamientos. Estos retrasos de pocos días pueden no ser relevantes al comienzo de la temporada cuando se está realizando cargas genéricas, sin embargo de producirse estos durante la época de competición, pueden alterar la puesta a punto, suponiendo una merma significativa del rendimiento en competición.

Esta situación, que no por habitual deja de ser problemática, hace necesario la búsqueda de posibles soluciones. El objetivo del presente artículo es realizar una revisión de la literatura existente acerca del fenómeno del entrenamiento cruzado, analizando su base teórica y buscando sus posibles aplicaciones en el ámbito deportivo.

EL ENTRENAMIENTO CRUZADO

El concepto de "cross-education"¹ fue inicialmente descrito por Scripture, Smith y Brown (1894) en seres humanos, y explica el efecto crónico de entrenamiento exhibido por un miembro inactivo del cuerpo, en respuesta a un régimen de entrenamiento realizado por el miembro contralateral. No obstante, son varias las definiciones y los términos que se han utilizado a lo largo de estos años para definir este fenómeno, a modo de ejemplo citaremos los más actuales:

- ✓ "Cross-education" es el efecto crónico que toma forma de mejoras en el rendimiento muscular de un miembro inactivo, tras el entrenamiento de un miembro remoto (Hortobágyi et al. 1997).
- ✓ La mejora de la fuerza máxima en el miembro contralateral inducida por la ejercitación ipsilateral de un miembro es llamada "cross-education" (Yasuda y Miyamura, 1983; Enoka, 1988; Sale, 1988; Shields et al. 1999).
- ✓ "Cross-training" implica incrementos de fuerza en el miembro contralateral (no entrenado) después de realizar

entrenamiento unilateral con resistencias (Housh et al. 1996).

- ✓ "Cross-training" es el efecto que se produce tras un entrenamiento de fuerza en el cual se ha ejercitado un miembro, dando como resultado incrementos de fuerza del miembro no entrenado. (Weir et al. 1994).
- ✓ La extensión de los efectos del entrenamiento hacia el miembro no entrenado es llamada "cross-education". (Sergey et al. 1998).

El entrenamiento de un miembro provoca una ganancia de fuerza del miembro opuesto no entrenado (Cometti, 1998).

El entrenamiento cruzado es un fenómeno que ha sido estudiado de una manera bastante exhaustiva desde hace más de una centuria por diversos autores, (Scripture et al. 1894; Hellebrant et al. 1947; Gregg et al. 1957; Coleman 1966; Devine et al. 1981) y que en la actualidad aun sigue siendo un tema de investigación de máxima actualidad (Hortobágyi et al. 1999; Zhou, 2000; Bembem y Murphy, 2001; Shima et al. 2002).

Las condiciones bajo las que se ha probado su existencia han sido muy diversas, utilizándose diferentes tipos de contracción y métodos de entrenamiento:

- ✓ Contracción isométrica (Shaver, 1975; Ikai y Fukunaga, 1970; Carolan y Cafarelli, 1992; Weir et al. 1994)
- ✓ Contracción dinámica concéntrica y/o excéntrica (Moritani y DeVries, 1979; Houston et al. 1983; Cannon y Cafarelli, 1987; Brown et al. 1990; Moss et al. 1997; Weir et al. 1997; Sergey et al. 1998).
- ✓ Entrenamiento isocinético concéntrico y/o excéntrico (Krotkiewski et al. 1979; Wickiewicz et al. 1984; Kanus et al. 1992; Owings y Grabiner, 1996; Housh et al. 1996; Hortobágyi et al. 1996b).
- ✓ Electroestimulación (Laughman et al. 1983; Cabric y Apell, 1987)
- ✓ Efectos cutáneos (Maryas et al. 1986) y condiciones clínicas (Mills y Quintana, 1985; Stromberg, 1986, 1988).

También en otras muchas ocasiones el fenómeno del entrenamiento cruzado no apareció o fue puesto en entredicho:

- ✓ Isometría (Tesch y Karlsson, 1984; Jones y Rutherford, 1987; Garfinkel y Cafarelli, 1992; Narici et al. 1989; Weir et al. 1995).
- ✓ Dinámica (Young et al. 1983).

¹ Los términos "cross-education" y "cross-training", serán traducidos en nuestro artículo al español como entrenamiento cruzado, siguiendo la traducción realizada por Manuel Pombo en Cometti, 1998.

- ✓ Isocinético (Housh et al. 1992).
- ✓ Electroestimulación (Davies et al. 1985).

Tan sólo una investigación (Lagassé, 1974) obtuvo incrementos de fuerza del miembro no entrenado, tras un periodo de entrenamiento de fuerza del miembro contralateral.

En definitiva, lo que tienen en común todos estos estudios es que han trabajado el entrenamiento de fuerza de manera ipsilateral y han utilizado como control interno el miembro contrario. Son en consecuencia investigaciones de fuerza que, tanto en el pretest como en el post-test, miden diferentes variables en ambos miembros, y su mejora a través del tiempo como consecuencia de un régimen de entrenamiento.

Sin embargo, lo que diferencia a unas de otras es la variación de los parámetros de entrenamiento, así como las variables medidas y las metodologías empleadas para recoger los datos.

La inmensa mayoría de investigaciones emplearon hombres para su estudio, aunque algunas también trabajaron con mujeres y encontraron efectos similares de entrenamiento cruzado (Weir et al. 1995; Bembem y Murphy, 2001).

Uno de los factores que ha variado mucho de una investigación a otra, es la elección del miembro que debía ser entrenado. Algunas investigaciones optaron por entrenar el miembro no dominante (Housh et al. 1996; Moss et al. 1997; Weir et al. 1997), siendo elegido este por la prueba de "preferencia de golpeo", también en ocasiones fue elegido el miembro dominante (Narici et al. 1989).

Muchas otras no tuvieron en cuenta la lateralidad de los sujetos, eligiendo el miembro izquierdo (Sergey et al. 1998; Hortobágyi et al. 1996a) o el derecho (Cannon y Cafarelli, 1987; Weir et al. 1994, 1995). En ninguno de los artículos reseñados, los autores reflexionan sobre la causa de la elección del miembro a entrenar. No obstante, parece claro que el brazo elegido va a tener influencia sobre posibles descompensaciones tras el entrenamiento. Así, en una reciente investigación de Gallach y González en 2002, tras elegir el brazo no dominante para realizar los entrenamientos, se redujo la descompensación de fuerza entre ambos miembros de un 5,7% a un 2,2%. De haber entrenado el brazo dominante, muy posiblemente estas diferencias porcentuales habrían sido agrandadas con los consiguientes problemas estéticos y de salud.

En cuanto a la elección de grupo/s muscular/es entrenado/s, hay gran variedad, aunque una inmensa mayoría realizó el estudio de la extensión de la pierna, siendo uno de los

músculos más analizados, el cuádriceps (Jones y Rutherford, 1987; Owings y Grabiner 1996; Housh et al. 1996; Sergey et al. 1998). Muchos otros investigaron la flexión del codo (Moritani y DeVries, 1979; Brown et al. 1990) o incluso pequeños músculos de la mano (Cannon y Cafarelli, 1987), encontrando muchos de ellos entrenamiento cruzado independientemente del segmento corporal analizado y del tamaño del músculo.

La duración media de las investigaciones fue muy similar, siendo el periodo de entrenamiento más utilizado el comprendido en el intervalo entre 6 y 12 semanas (ver tabla 1), con una frecuencia de 3 a 4 sesiones por semana, dejando un intervalo de un día de descanso entre sesiones. La variedad de intensidades, así como el volumen de cada sesión fue muy dispar; aunque la inmensa mayoría tanto en el ámbito de entrenamiento cruzado, como en investigación básica de fuerza, ha estudiado altas intensidades entre el 75-100% del máximo y pocas repeticiones (Moritani y DeVries, 1979; Rutherford et al. 1986; Enoka, 1988).

Pocas investigaciones se han ocupado de entrenamiento con intensidades por debajo del 30% (Yasuda y Miyamura, 1983), siendo una de las que ha utilizado cargas menores la realizada por Shields et al. (1999), en la cual emplearon en uno de los grupos experimentales cargas cercanas al cero por ciento (0,005% del máximo voluntario en contracción isométrica) y en el otro grupo cargas del 30%, dando como resultado en la mano no entrenada incrementos del trabajo desarrollado similares en ambos grupos. En consecuencia, los autores concluyen que es posible que la variable intensidad no sea relevante a la hora de conseguir mayores efectos en el miembro no entrenado.

Otros autores como Hortobágyi et al. (1999), opinan de manera contraria, sugiriendo a raíz de sus experiencias con diferentes cargas y volúmenes de entrenamiento, el que ambas variables sí tienen una relación directa con el porcentaje de ganancia de entrenamiento cruzado.

La magnitud en porcentaje de ganancias conseguidas a través del entrenamiento unilateral se ha movido en una horquilla bastante amplia desde valores del 6% (Moss et al. 1997) ó 9,5% (Cannon y Cafarelli, 1987) hasta un 135% recogido en la investigación llevada a cabo por Anson y colaboradores (1993). Además, algunos autores, a partir de sus resultados, afirman que las contracciones excéntricas obtienen un mayor entrenamiento cruzado que las realizadas de forma concéntrica 77% vs. 30%. Sin embargo, otros autores han registrado diferencias mucho menos marcadas 15% vs. 10% (Sergey et al. 1998).

Tabla I Recorrido histórico de los estudios acerca del entrenamiento cruzado.

Autores	Año	Numero de sujetos	Tipo de contracción muscular entrenada	Grupo / s muscular / es	Semanas de entrenamiento	Días a la semana	Series por sesión	Repeticiones por sesión	% de la carga respecto al máximo	Velocidad de la contracción	% de entrenam. cruzado, ganancia de fuerza del miembro no entrenado
Moritani y DeVries	1979	7 H 8 M	Dinám. Concéntrica	Flex. del codo	8	3	1	10	66	—	24
Houston et al.	1983	12 H	Dinám. Concéntrica	Cuadriiceps	10	4	3	24-30	—	—	12-37
Cabric y Appell	1987	36 H	Electroestimulación	Triceps sural ídem	7 ídem	3 ídem	1 ídem	1 ídem	50 Hz 2000 Hz	—	39,7 32,2
Camnon y Cafarelli	1987	23 H	Dinám. Concéntrica Electroestimulación	Adductor pollicis ídem	5 ídem	3 ídem	1 ídem	15 ídem	80 50 Hz	—	9,5 NO
Narici et al.	1989	4 H	Isotón. Concéntrica	Ext. de la rodilla	15	4	6	60	—	2,09 rad·s ⁻¹	NO
Garfinkel y Cafarelli	1992	15 M	Isométrico	Ext. de la pierna	8	3	1	30	—	—	NO
Housh et al.	1992	13 H	Isotón. Concéntrica	Flex. Ext. de la pierna y el antebrazo	8	3	6	60	—	2,09 rad·s ⁻¹	NO
Weir et al.	1994	6 H 7 M	Isométrica	Cuadriiceps	6	3	2	20	80	—	23,3
Weir et al.	1995	16 M	Isométrica	Cuadriiceps	6	3	2	20	80	—	NO
Hortobágyi et al.	1996 ^a	42 M	Isotón. Concéntrica Isotón. Excéntrica	Cuadriiceps ídem	6 ídem	4 ídem	4 ídem	24-40 ídem	—	1,05 rad·s ⁻¹ ídem	6 6
Hortobágyi et al.	1996 ^b	21 H	Isotón. Concéntrica Isotón. Excéntrica	Cuadriiceps ídem	12 ídem	3 ídem	4-6 ídem	32-72 ídem	—	1,05 rad·s ⁻¹ ídem	NO NO

Tabla I Recorrido histórico de los estudios acerca del entrenamiento cruzado. (continuación)

Autores	Año	Numero de sujetos	Tipo de contracción muscular entrenada	Grupo / s muscular / es	Semanas de entrenamiento	Días entrenamientos a la semana	Series por sesión	Repeticiones por sesión	% de la carga respecto al máximo	Velocidad de la contracción	% de entrenam. cruzado, ganancia de fuerza del miembro no entrenado
Housh et al.	1996	16 H	Dinám. Concéntrica	Ext. de la pierna	8	3	3-5	18-30	80	1.57 rad·s ⁻¹	15
Owings y Grabiner	1996	12 H	Isotón. Concéntrica Isotón. Excéntrica	Ext. de la rodilla	—	—	—	—	—	30°·s ⁻¹	NO 10,7
Moss et al.	1997	31 H	Dinám. Concéntrica	Flex. del codo ídem	9 ídem	3 ídem	4-5 ídem	2 7	90 35	—	6,9 NO
Weir et al.	1997	16 H	Dinám. Concéntrica	Ext. de la pierna	8	3	3-5	18-30	80	—	15,4
Hortobágyi et al.	1997	21 H	Isotón. Concéntrica Isotón. Excéntrica	Cuadriiceps ídem	12 ídem	3 ídem	6 ídem	48-72 ídem	—	1.05 rad·s ⁻¹ ídem	22 77
Serger et al.	1998	10 H	Isotón. Concéntrica Isotón. Excéntrica	Ext. de la rodilla ídem	10 ídem	3 ídem	4 ídem	40 ídem	—	90°·s ⁻¹ ídem	10 15
Hortobágyi et al.	1999	32 M	Isotón. Excéntrica Electroestimulación Electro.Remota	Cuadriiceps Cuadriiceps Bíceps y Cuadriiceps	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	Dinám. Concéntrica	Flexores de la mano	6 ídem	5 ídem	2 ídem	22/126 minutos	30 0,005	—	28 39
Zhou	2000	30 H	Isométrica Electroestimulación	Ext. de la rodilla	4 ídem	3 ídem	1 ídem	40 ídem	65 ídem	—	21,4 21,1
Bemben, y Murphy	2001	20 M	Isométrica	Bíceps braquial	5	2-3	4	10	70	—	12
Shima et al.	2002	15 H	Dinám. Concéntrica	Flexores plantares	6	4	3	10-12	70-75%	—	8,9

POSIBLES EXPLICACIONES TEORICAS DEL ENTRENAMIENTO CRUZADO

Ante esta diversidad de resultados y metodologías empleadas, y tras descartar posibles fallos en la reproducibilidad de los tests, son muchos los mecanismos que se han propuesto como responsables de este fenómeno.

Un primer elemento, en el que algunas investigaciones han buscado la solución, ha sido en la hipertrofia del miembro no entrenado. Parece claro, a tenor del análisis de la literatura existente, que el aumento de la sección transversal del músculo acompañada de incrementos de las proteínas contráctiles, tiene influencia sobre el aumento de la fuerza (Ikai y Fukunaga, 1968, 70; Close, 1972; Coyle et al. 1981; Kawakami et al. 1993) y que este aumento tiene relación con la magnitud de las cargas.

Sin embargo, otros muchos autores no han encontrado una asociación directa entre el aumento muscular y la mejora de fuerza, o, lo que es lo mismo, han observado mejoras de fuerza sin el correspondiente aumento de la masa muscular (Costill et al. 1979). Algunos autores especializados en el tema del entrenamiento cruzado han introducido la variable hipertrofia en sus estudios (Carey Smith y Rutherford, 1995; Hortobágyi et al. 1996a; Serger et al. 1998). Una de las hipótesis de trabajo, fue el buscar tras entrenamiento ipsilateral, mejoras en la sección transversal del músculo contralateral.

No obstante, podríamos afirmar que, a la vista de los datos arrojados en las investigaciones precedentes, no se encontró hipertrofia significativa en los miembros no entrenados, tanto en el cuádriceps (Krotkiewski et al. 1979; Lewis et al. 1984; Jones and Rutherford, 1987; Narici et al. 1989; Serger et al. 1998) como en el brazo (Hortobágyi y Katch, 1990), quedando bien establecido por estos autores, que los aumentos de fuerza significativos no siempre van acompañados de la correspondiente ganancia en área (cm²) de la sección transversal del músculo (Moss et al. 1997).

Tampoco se pudo establecer diferencias de hipertrofia en el miembro no entrenado cuando se compararon distintos tipos de contracción excéntrica vs. concéntrica (Jones y Rutherford, 1987; Carey Smith y Rutherford, 1995).

Es posible según Housh et al. (1992), que periodos más largos que los que habitualmente se utilizan en las investigaciones puedan dar incrementos significativos en cuanto a la sección transversal de los músculos no entrenados. Además, sugieren que los exigentes tratamientos estadísticos de los datos (correcciones de Bonferroni) o el pequeño número de sujetos con gran variabilidad inter-sujetos pueda estar enmascarando incrementos significativos. No obstante, hasta

el momento la falta de significación respecto a este tema empuja a los investigadores a mirar en otras direcciones.

Parece claro, en consecuencia, que si se descarta la hipertrofia como mecanismo subyacente al fenómeno de entrenamiento cruzado, son los aspectos que se refieren a las adaptaciones del sistema nervioso los responsables primeros de estas mejoras (Housh et al. 1992; Hortobágyi et al. 1997).

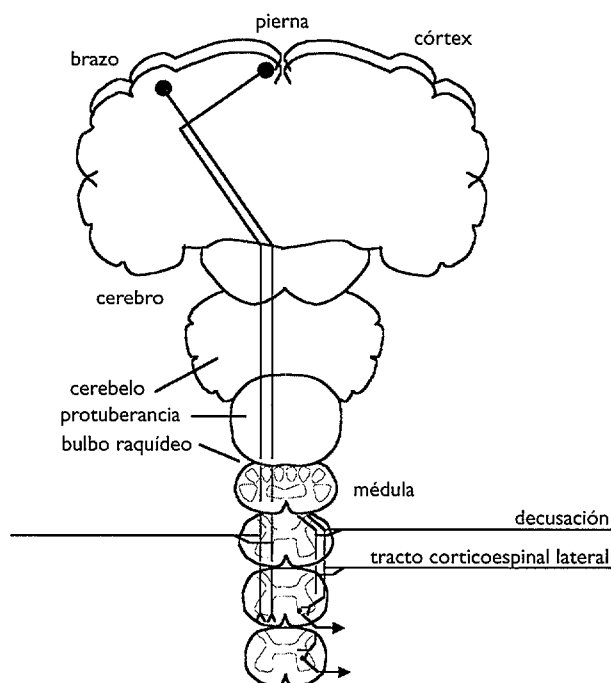
El mayor número de los expertos sugieren que los resultados que han obtenido de ganancias de fuerza del brazo no entrenado son debidos a mejoras producidas por el sistema nervioso. No obstante, la localización precisa, a nivel del sistema nervioso central o quizá a nivel periférico, sí que ha sido motivo de discusión y gran diversidad de opiniones.

Varias razones se pueden argumentar a la hora de justificar la importancia del sistema nervioso y la localización del fenómeno del entrenamiento cruzado. Las bases neuroanatómicas nos dan una primera posibilidad que localizaría en la decusación corticoespinal anterolateral (Davies et al. 2001) el mecanismo que induce mejoras cruzadas de un miembro a otro. El tracto corticoespinal es un masivo haz de fibras que contiene alrededor de un millón de axones. Cerca de la mitad de ellas tienen su origen en el cortex primario (area 4 de Brodmann).

Las fibras corticoespinales viajan a través de la cápsula interna hasta la porción ventral del mesencéfalo. En la confluencia del bulbo y la medula espinal (como se puede ver en la figura 1) unas tres cuartas partes de las fibras corticoespinales cruzan la línea media en la decusación. Las fibras que no decusan descienden por las fibras ventrales formando los tractos corticoespinales ventrales. Estas fibras aunque son una mínima cantidad, suponen una representación suficiente de los impulsos motores centrales que permanecen de una forma ipsilateral y que podrían mediar en la activación del miembro no ejercitado.

En la misma línea, aunque sin especificar que mecanismo, Serger y colaboradores (1998) al igual que otros autores (Moritani y DeVries, 1979; Enoka, 1988; Houston et al, 1983) opinan que el entrenamiento cruzado es debido a una adaptación del sistema nervioso central. El incremento de EMG en el brazo no entrenado, así como la falta de hipertrofia en los posttest, inducen a pensar en los mecanismos centrales como los principales responsables del fenómeno (Sale, 1988). Todo lo cual podría producir incrementos en la conducción nerviosa hacia el miembro no entrenado (Komi et al. 1978; Moritani y DeVries, 1979). Además, como señalan algunos autores, las tareas de tipo unilateral están asociadas con activación bilateral del cortex motor (Kristeva et al. 1991).

Figura I Esquema de la vía corticoespinal del sistema nervioso

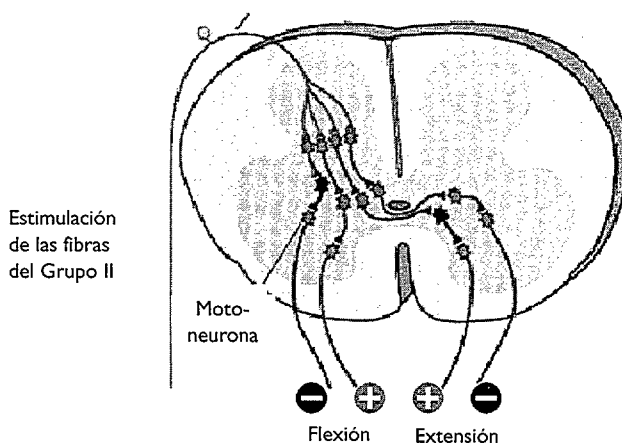


Yasuda y Miyamura (1983) sugieren dos posibles soluciones tras realizar entrenamiento con cargas cercanas al cero por ciento:

Podría ser que las mejoras durante el entrenamiento fueran debidas a aprendizajes a nivel del sistema nervioso central o periférico. Es posible que la repetición de un gesto motor modifique cierta clase de inputs de los circuitos cerebelosos durante periodos largos. Así, la actividad de las neuronas cerebelosas puede cambiar por la experiencia, y jugar un papel importante durante el aprendizaje de tareas motoras (Kandel et al. 1997).

Dejando aparte las posibles explicaciones que sitúan el fenómeno a nivel supraespinal o del sistema nervioso central, Hortobágyi y colaboradores (1997 y 1999) opinan que el entrenamiento cruzado es debido a los reflejos espinales, pudiendo ser el responsable el reflejo de extensión cruzado (ver figura 2), sobre todo en situaciones de electroestimulación o de alargamiento muscular –trabajos excéntricos– (Lagassé, 1974). Estas hipótesis toman fuerza si tenemos en cuenta las investigaciones llevadas a cabo por Mills y Quintana (1985), quienes encontraron mejoras tras un entrena-

Figura II Reflejo de extensión cruzado



miento unilateral del miembro contrario en pacientes con accidente cerebro vascular. Todo ello indica la importante influencia de los mecanismos periféricos y reflejos en los resultados hallados.

Por tanto, a tenor de lo anterior, parece ser que el entrenamiento de fuerza de forma ipsilateral puede producir una difusión de los impulsos motores desde el brazo entrenado hacia el miembro contralateral no entrenado (Housh et al. 1996). Quizá esto pudiera ser debido a la contracción de la musculatura del lado contralateral para mantener el cuerpo sin balanceo y conservar la postura, mientras se realizan los ejercicios de entrenamiento con el otro miembro (Shaver, 1975; Komi et al. 1978).

Sin embargo, otros autores comprobaron que los mecanismos sensoriales, al ser estimulados de forma cutánea, produjeron un incremento de la excitabilidad de las motoneuronas de su músculo homólogo contralateral (Pierrot-Deseilligny et al. 1973; Robinson et al. 1979). A estas afirmaciones se suman aquellas en las cuales el entrenamiento produce cierto grado de dolor, ya sea, por la dureza intrínseca del ejercicio o, en el caso de la electroestimulación por el estímulo eléctrico producido, causando alteraciones en los receptores del dolor y aumentando los inputs aferentes con la subsiguiente activación de los reflejos espinales (Howard y Enoka, 1991).

Por último, algunos autores sugieren que los mecanismos que inducen el entrenamiento cruzado pueden ser distintos dependiendo del tipo de contracción a que se someta el músculo. (Hortobágyi et al. 1997). Owings y Grabiner en

1996 sometieron en su investigación a los sujetos a un protocolo de extensión de la rodilla en el cual sólo entrenaba una pierna.

Divididos en dos grupos, uno realizaba contracciones isocinéticas concéntricas y otro excéntricas. Antes y después del entrenamiento de fatiga, los sujetos realizaban contracciones máximas con la pierna no entrenada. Para los sujetos que realizaron las contracciones concéntricas la fuerza máxima de la pierna no ejercitada no se vio afectada por la fatiga inducida.

En contraste, los sujetos que realizaron contracciones excéntricas experimentaron una mejora de un 11% de su fuerza máxima en los extensores de la pierna no entrenada, inmediatamente después de realizar el entrenamiento en fatiga de la pierna contraria. Estos descubrimientos sugieren que los esfuerzos en contracciones excéntricas están asociados con facilitación de los circuitos neuronales, por supuesto a nivel espinal, que controlan los músculos homólogos de la pierna no entrenada. No encontrándose resultados similares en las contracciones concéntricas.

APLICACIONES PRACTICAS AL AMBITO DEPORTIVO DEL FENÓMENO DEL ENTRENAMIENTO CRUZADO

Se puede observar tras la revisión de la literatura existente el hecho de que son pocas las investigaciones que se han realizado con fines clínicos de rehabilitación, y ninguna acerca de la rehabilitación deportiva. A pesar de esto, el fenómeno del entrenamiento cruzado bajo nuestro punto de vista está más que demostrado y su posible aplicación en nuestro campo de trabajo como entrenadores debe ser contemplado, en forma de entrenamientos alternativos ante la incapacidad temporal de un miembro, ya sea debida a una lesión o por otros motivos.

Con asiduidad los entrenadores suelen parar los entrenamientos como consecuencia de lesiones puntuales, produciéndose desadaptaciones indeseadas en pocos días de descanso, principalmente a nivel del sistema nervioso, siendo estas quizás las más importantes en momentos previos a la competición, cuando los deportistas necesitan de su mayor velocidad.

Por supuesto y como queda plasmado en el marco teórico del presente artículo, no podemos esperar mejoras en la hipertrofia del miembro no trabajado, ya que son casi unanimidad los estudios que coinciden en este punto. Sin embar-

go, el trabajo unilateral va a posibilitar que nuestro sistema nervioso tanto a nivel central como periférico se active y no pierda parte de las mejoras conseguidas con anterioridad, "refrescando" nuestra capacidad de conducción nerviosa y fortaleciendo las sinapsis medulares.

Parece claro que las mejoras en cuanto a la frecuencia de estímulos, así como de la coordinación intermuscular que ocurren con entrenamientos de fuerza unilaterales, podrían mejorar la capacidad de ejercer fuerza del miembro inactivo. Y no solo la fuerza, ya que también podríamos esperar mejoras en el tiempo de ejecución del gesto motor, hecho confirmado por los datos recogidos por Gallach y González en 2002.

En concreto las mejoras que obtuvimos en el recorrido total del gesto motor de la flexión del antebrazo sobre el brazo tras entrenamiento unilateral, estuvieron comprendidas entre un 23,37% para el grupo que trabajo en nuestro estudio con cargas altas y pocas repeticiones y un 24, 11% para el grupo que trabajo con cargas medias y alto número de repeticiones, lo cual nos indica un tiempo de ejecución menor en el post-test respecto al pre-test.

Reseñar que no sólo se mejoró en el recorrido total, sino que también se mejoró significativamente en dos de los tres recorridos del gesto motor. Todo ello con una gran importancia práctica a nivel del entrenamiento y la rehabilitación de deportistas.

FUTURAS INVESTIGACIONES Y CONCLUSIONES

Como cierre del presente artículo, queremos resaltar la importancia que podría derivarse del hecho de investigar en mayor profundidad las aplicaciones prácticas en rehabilitación deportiva del entrenamiento cruzado. Bajo nuestro punto de vista habría que dirigir futuras investigaciones sobre el tema a descubrir nuevas dimensiones sobre este hecho, buscando posibles efectos del entrenamiento cruzado no solo en rendimientos de fuerza y velocidad, sino también en posibles transferencias del gesto motor de un miembro a otro.

Por último y a modo de conclusión, podemos afirmar que los entrenamientos realizados ipsilateralmente con cargas medias y altas –independientemente del tipo de contracción– mejoran la fuerza y la velocidad de contracción del miembro contralateral, mejorando el rendimiento de un gesto motor ya sea este deportivo o de otra índole.

Bibliografía

- 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 recorder 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., Braspenninx, 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

