

Transferencia cruzada en el control motor en tareas visuomotoras. Revisión sistemática

Javier Ruiz-Seijoso¹, Yaiza Taboada-Iglesias²

¹Facultad de Fisioterapia. Universidade de Vigo, Pontevedra. ²Facultad de Fisioterapia. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Universidade de Vigo, Pontevedra, España. GIES-10(DE-3), Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur (IIS Galicia Sur), SERGAS-UVIGO).

doi: 10.18176/archmeddeporte.00063

Recibido: 09/11/2020

Aceptado: 11/06/2021

Resumen

Introducción: El término *cross-education* describe la mejora de rendimiento, tanto en control motor como en fuerza, de un miembro tras el entrenamiento del contrario. A pesar de su actual interés, no existe consenso en muchos conceptos de la transferencia de una habilidad visuomotoras.

Objetivo: El objetivo del presente estudio fue revisar la literatura actual sobre el fenómeno *cross-education* en habilidades visuomotoras para determinar la magnitud de transferencia y sus relaciones con el contexto de la intervención.

Resultados: Se realizó una búsqueda bibliográfica durante diciembre de 2019 en las bases de datos Pubmed, CINAHL, MEDLINE, Web of Science, SPORTdiscus y Scopus. Se emplearon los descriptores "Motor ability" y "Motor skill", además de las palabras clave "Motor control", "skill", "Task", "cross over effect", "cross exercise", "contralateral learning", "inter limb transfer", "cross transfer", "cross education". Tras la aplicación de los criterios de inclusión y de exclusión, se obtuvo un total de 19 artículos para realizar el análisis. De estos artículos, 12 son ECA, 4 ensayos clínicos cruzados, 2 son ensayos no aleatorizados y solo 1 carece de grupo control. La mayoría de artículos constan de una intervención a corto plazo. Tan solo 5 estudios son de una duración de entre 4 y 6 semanas.

Conclusión: el fenómeno *cross-education* ocurre en habilidades de tipo visuomotor. Sin embargo, la magnitud de transferencia y su relación con la cantidad de aprendizaje del miembro entrenado parecen muy variables dependiendo del contexto de la intervención. Asimismo, el escaso consenso y las diferencias metodológicas de los estudios dificultan extraer conclusiones contundentes acerca de los efectos del contexto sobre la transferencia.

Palabras clave:

Cross-transfer. Cross-education. Inter-limb-transfer. Crossover effect. Control Motor. Habilidad. Visuomotor.

Cross transfer in motor control in visuomotor tasks. Systematic review

Summary

Introduction: The term "cross-education" describes the performance improvement, both in motor control and strength, of a limb after training the opposite. Despite its current interest, there is no consensus on many concepts of the transfer of a visuomotor skill. The aim of the present research was to review the current literature on the phenomenon of cross-education in visuomotor skills in order to determine the magnitude of transference and its relationships with the context of the intervention.

Results: A literature search was conducted during December 2019 in the databases Pubmed, CINAHL, MEDLINE, Web of Science, SPORTdiscus and Scopus. The descriptors "Motor ability" and "Motor skill" were used, in addition to the keywords "Motor control", "skill", "Task", "cross over effect", "cross exercise", "contralateral learning", "inter limb transfer", "cross transfer", "cross education". After applying the inclusion and exclusion criteria, a total of 19 articles were obtained for analysis. Of these articles, 12 are RCTs, 4 crossover clinical trial, 2 are non-randomized trials and only 1 lacks a control group. Most of the articles consist of a short-term intervention. Only 5 studies are of a duration of between 4 and 6 weeks.

Conclusion: the cross-education phenomenon occurs in visuomotor skills. However, the magnitude of transference and its relation to the amount of learning of the trained member seems to be very variable depending on the context of the intervention. Likewise, the scarce consensus and the methodological differences in the studies make it difficult to draw firm conclusions about the effects of the context on the transference.

Key words:

Cross-transfer. Cross-education. Interlimb-transfer. Crossover effect. Motor control. Ability. Visuomotor.

Correspondencia: Yaiza Taboada-Iglesias
E-mail: yaitaboada@uvigo.es

Introducción

El término *cross-education*, referido en esta revisión como transferencia y transferencia cruzada, fue acuñado en 1894 por Edward Wheeler Scripture¹. Éste término definiría la mejora de rendimiento (en fuerza y control motor) de un miembro tras el entrenamiento del contrario, aunque actualmente se tienden a considerar como dos entidades separadas^{2,3}.

Existen dos modelos teóricos principales que justifican el fenómeno: "activación cruzada" y "acceso bilateral"². La activación cruzada sostiene que las adaptaciones en ambos hemisferios cerebrales se deben a la activación cortical bilateral generada en el entrenamiento unilateral (facilitación cruzada), relacionando la transferencia de una tarea con la carga neuronal que genera². Por otro lado, el "acceso bilateral" sostiene que los engramas motores, elaborados durante el entrenamiento unilateral, no son específicos del lado entrenado y son accesibles por ambos miembros².

Actualmente aún se están estudiando aspectos del *cross-education*. Originalmente se ha pensado que la transferencia no ocurre de manera simétrica, determinando que solo habría transferencia desde el hemisferio dominante^{4,5}, asociando esta asimetría a la especialización hemisférica⁶. Otro foco de atención sin consenso es la influencia de los cambios degenerativos neuronales. Si bien unos estudios determinan que la transferencia es mínima en edades avanzadas^{7,8}, otros, en base a la reducción de lateralidad hemisférica del concepto HAROLD (*Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults*)⁹, muestran transferencia similar a la de los jóvenes^{10,11}. Además, si bien son muchas las revisiones que analizan la cantidad de transferencia de fuerza y su relación con el porcentaje de aprendizaje del miembro entrenado, no existen revisiones recientes que plasmen la magnitud de esta relación en el control motor.

En los últimos años, el fenómeno de transferencia cruzada ha obtenido una atención creciente, incrementado el número de ensayos al respecto¹². Esto se debe a su potencial clínico, pudiendo aplicarse en la rehabilitación de múltiples patologías que cursen con imposibilidad o dificultad para mover un miembro ya sea de origen musculoesquelético como neurológico.

En base al potencial de esta herramienta y al escaso consenso, el objetivo del presente estudio fue el de revisar la literatura actual relacionada con el *cross-transfer* en habilidades de tipo visuomotor para determinar la magnitud de transferencia y sus relaciones con el contexto de la tarea y del paciente.

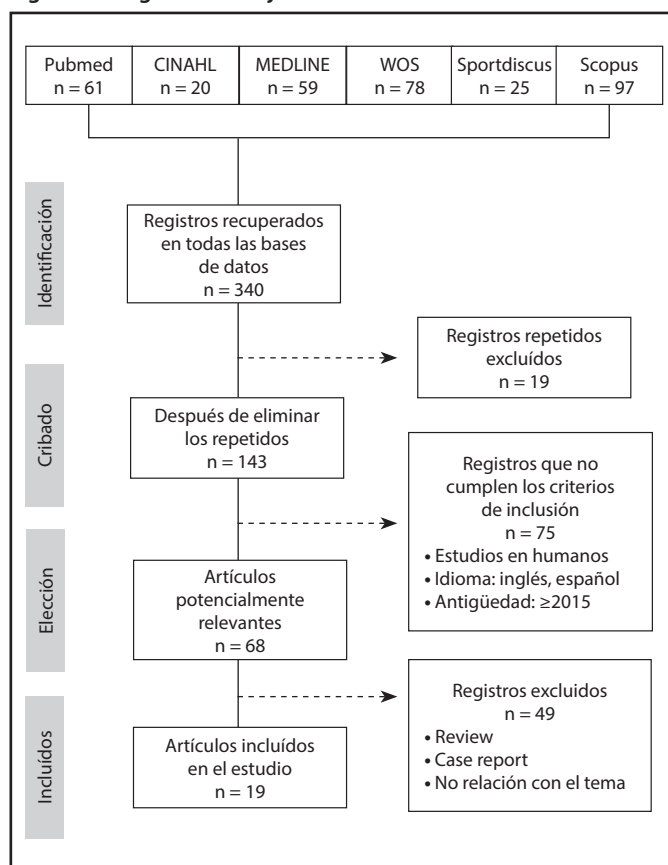
Material y método

Estrategia de búsqueda

Se realizó la búsqueda bibliográfica en las bases de datos Pubmed, CINAHL, MEDLINE, Web of Science, SPORTdiscus y Scopus, con fecha de entre 20 de mayo y 4 de junio de 2021, incluyendo todos aquellos trabajos publicados desde 2015 hasta la actualidad. Las ecuaciones y términos de búsqueda son los indicados a continuación:

- Medline, Cinahl, Pubmed, Sportdiscus: (TESAURO* OR "Motor skill" OR "Motor control" OR "skill" OR "Task") AND ("cross over effect" OR "cross

Figura 1. Diagrama de flujo de selección de los estudios.



exercise" OR "contralateral learning" OR "inter limb transfer" OR "cross transfer" OR "cross education").

- Pubmed: "Motor Skills"(Mesh).
- Medline, Cinahl: MH "Motor Skills".
- Sportdiscus: DE "MOTOR ability".
- Scopus y Web Of Science: TITLE-ABS-KEY (("Motor skill" OR "Motor control" OR "skill" OR "Task") AND ("cross over effect" OR "cross exercise" OR "contralateral learning" OR "inter limb transfer" OR "cross transfer" OR "cross education"))).

Para establecer los resultados válidos para revisión, se aplicaron una serie de criterios siguiendo el proceso de selección de la Figura 1.

Resultados

En la Tabla 1 se exponen las características de los artículos en cuanto a muestra, diseño y duración de los estudios, así como el análisis de calidad metodológica.

La media de las muestras es de 35 individuos. La mayoría de estudios incluyen pacientes jóvenes (22-26 años).

Todas las intervenciones se basan en el seguimiento de trayectorias, puntos o posiciones salvo 8^{14,18,19,21,27-30}. Tan solo 5 de los estudios son a largo plazo (entre 4-10 semanas)^{3,19,27,29,30}. En solo 4 artículos se analiza

Tabla 1. Resumen metodología de los artículos analizados.

	Diseño	Jadad	Muestra	Duración	Periodo de lavado
Leung <i>et al.</i> ¹³	ECA	1/5	N=44 (24♂ y 20♀) E=26,1± 6,8 años	2 días	2 semanas
Dickins <i>et al.</i> ¹⁴	ECC	1/5	N=40 (20♂ y 20♀) E = GE1: 24,25 años GE2: 70,00 años	2 días	
Graziado <i>et al.</i> ¹⁵	ECNA	0/5	N=24 E = GE1: 28 ± 2 años GE2: 67± 9 años	1 día	
Pan <i>et al.</i> ¹⁶	ECA	1/5	N=40 (17♂ y 23♀) E= GE1: 71,9±9,6 años GE2: 70,4 ±6,8 años	1 día	
Sainburg <i>et al.</i> ¹⁷	ECNA	1/5	N=11 (3♂ y 8♀) E=20-25 años	2 días	
Steinberg <i>et al.</i> ¹⁸	ECA	3/5	N=80 (39♂ y 41♀) E=24,87 ±4,14 años	4 días	
Christiansen <i>et al.</i> ¹⁹	ECA	2/5	N=24 (24♂) E=24±4 años	6 semanas 3 sesiones/semana	
Bo <i>et al.</i> ²⁰	ENC	0/5	N=27 (10♂ y 17♀) E=18-34 años	2 días	10 días
Kidgell <i>et al.</i> ²¹	ECC	2/5	N=14 (8♂ y 6♀) E=22,6± 6,6 años	3 días	1 semana entre tareas diferentes
Krishnan <i>et al.</i> ²²	ECA	1/5	N= 20 E=22,8 ± 5,8 años	1 día	
Krishnan <i>et al.</i> ²³	ECA	1/5	N= 44 (18♂ y 26♀) E= GE1: 67,2 ± 4,1 años GE2: 24,8 ± 6,9 años	2 días	
Yen <i>et al.</i> ²⁴	ECA	1/5	N= 20 (7♂ y 13♀) E= GE1: 24 ± 4,4 años GE2: 22,2 ± 0,4 años	1 día	
Leung <i>et al.</i> ³	ECA	1/5	N= 43 (21♂ y 22♀) E=26,4 ± 6,9 años	4 semanas 3 sesiones/semana	2 semanas
Neva <i>et al.</i> ²⁵	ECC	1/5	N=17 E=24 ± 3 años	4 días	2 semanas
Krishnan ²⁶	ECA	1/5	N=45 (25♂ y 20♀) E=22,3 ± 5,7 años	1-2 días (según GE)	
Witkowski <i>et al.</i> ²⁷	ECA	1/5	N=32 (16♂ y 16♀) E=14-20 años	10 semanas	
Wang <i>et al.</i> ²⁸	ECA	1/5	N=24 (16♂ y 8♀) GE1: 27,3 ± 4,4 años GE2: 20,7 ± 3,8 años	1 día	
Beg <i>et al.</i> ²⁹	ECA	3/5	N=50 (20♂ y 30♀) E=23,4 ± 2,5 años	4 semanas 2 sesiones/semana	
Brocken <i>et al.</i> ³⁰	ECC	2/5	N=68 (68♀) E=9,5-12,5 años	7 semanas 14 sesiones	

♂: masculino; ♀: femenino; E: edad; ECA: ensayo clínico aleatorizado; ECC: ensayo clínico cruzado; ECNA: ensayo clínico no aleatorizado; ENC: ensayo no controlado; N: muestra

Tabla 2. Intervención y principales resultados.

	Intervención	Variables analizadas	Principales resultados
Leung <i>et al.</i> ¹³	4 GE: EC vs EFM vs EFsM vs Control EC: acompañar la posición del codo con la mostrada en pantalla.	1-RM y MCV ECE, ICLI	Transferencia de ECE e ICLI ($p < 0,001$) Diferencias de ICLI entre GE: EFM, EC > EFsM, control
Dickins <i>et al.</i> ¹⁴	2 GE: ancianos vs jóvenes 2 tipos de EC: Abducción balística del pulgar Secuencias de oposición del pulgar a dedos	ECE Velocidad máxima secuencias correctas	Jóvenes mayor rendimiento general Transferencia en las 2 tareas ($p < 0,001$) Aumento de ECE solo en la tarea sencilla ($p = 0,001$) sin diferencias entre grupos ($p > 0,1$). No relación entre ECE y transferencia ($p > 0,1$).
Graziado <i>et al.</i> ¹⁵	2 GE: ancianos vs jóvenes EC: seguimiento de puntos mediante la actividad electromiográfica del abductor corto del pulgar, 3º interóseo dorsal.	Distancia euclidiana cursor-centro: - 120 ms tras inicio (distancia) - Durante 1s al llegar al objetivo (puntuación)	Jóvenes mayor rendimiento general Transferencia significativa ($p < 0,001$) Diferencias entre edades en la variable distancia, (significativo solo en ancianos: $p < 0,001$) Transferencia de puntuación relación significativa con aprendizaje ($p = 0,016$).
Pan <i>et al.</i> ¹⁶	2 GE: sanos y con NP EC: Seguimiento de puntos en pantalla mediante bolígrafo digital.	Error inicial de dirección	Transferencia significativa ($p < 0,001$), mayor en DI que ID ($p = 0,003$). Menor transferencia en sanos ($p = 0,01$). Sanos transferencia no simétrica; pero con NP, sí Grupo DI mayores <i>after-effects</i> ($p = 0,045$).
Sainburg <i>et al.</i> ¹⁷	2 GE: DI vs ID EC: Seguimiento de puntos mediante el índice.	$V_{máx}$ Aceleración pico Duración de aceleración	Transferencia de $V_{máx}$ no asimétrica ($p = 0,855$) Transferencia asimétrica de Aceleración pico (menor en ID, $p = 0,0059$) y de Duración de aceleración (mayor en ID, $p = 0,0059$) Sin diferencias tras práctica contralateral
Steinberg <i>et al.</i> ¹⁸	2 GE: espejo vs control 2 subgrupos por GE: novatos vs expertos 2 tipos de EC mediante balón de baloncesto: Drible estacionario Drible en <i>Slalom</i>	Secuencias correctas Error al driblar	Transferencia significativa ($p < 0,001$) con diferencias según GE y experiencia ($p < 0,05$) Solo expertos diferencias según GE: ($p < 0,01$), mejor con espejo Diferencias en grupos control, mayor transferencia en novatos ($p < 0,05$) No diferencias entre grupos con espejo ($p > 0,05$) Transferencia de error de drible sin diferencias ($p > 0,05$) Transferencia en <i>slalom</i> : expertos mayor con espejo ($p < 0,05$); novatos no transferencia con espejo ($p > 0,05$)
Christiansen <i>et al.</i> ¹⁹	2 GE: dificultad progresiva vs fija EC: juego "BreakOut" controlado por abducción y aducción del 5º dedo de la mano.	ECE Puntuación en "BreakOut"	Transferencia solo en GE progresivo ($p < 0,001$) Aumento de ECE inicial sin diferencias ($p < 0,05$) Aumento de ECE final solo en GE progresivo No relación entre ECE y transferencia ($p > 0,05$).
Bo <i>et al.</i> ²⁰	1 GE: con y sin discapacidad motora EC: Seguimiento de puntos mediante <i>joystick</i> sujetado con la mano.	ED TM Raíz del error cuadrático medio	Transferencia no relación con ADC score ($p > 0,05$) Transferencia de ED ($p < 0,05$) en <i>feedback</i> normal y de TM ($p < 0,05$) en <i>feedback</i> mejorado Transferencia indiferente de <i>feedback</i> ($p > 0,05$) Relación entre aprendizaje y transferencia: ED ($p = 0,02$) en <i>feedback</i> normal, TM ($p = 0,04$) en <i>feedback</i> aumentado.
Kidgell <i>et al.</i> ²¹	3 GE divididos en 3 EC: "O'Connor dexterity" "Purdue pegboard" "Mirror Purdue pegboard"	Tiempo en realizar la tarea	Mayor transferencia en <i>Mirror Purdue</i> ($p < 0,05$). Relación entre aprendizaje y transferencia en <i>Mirror Purdue</i> ($p = 0,03$)
Krishnan <i>et al.</i> ²²	2 GE: DI vs ID EC: Ajustar patrón de marcha al propuesto en tiempo real por pantalla.	Error de seguimiento	Transferencia significativa ($p = 0,003$) No diferencias significativas entre lados ($p = 0,247$) Relación entre aprendizaje y transferencia: 84% ($p < 0,001$)
Krishnan <i>et al.</i> ²³	2 GE: ancianos vs jóvenes EC: Ajustar patrón de marcha al propuesto en tiempo real por pantalla.	Error de seguimiento	Jóvenes mayor rendimiento Transferencia menor en ancianos ($p < 0,05$) pero sin diferencias en test sin <i>feedback</i> visual ($p > 0,1$) Relación entre aprendizaje y transferencia ($p < 0,001$): 79% jóvenes; 56% ancianos

(continúa)

Tabla 2. Intervención y principales resultados (continuación).

	Intervención	Variables analizadas	Principales resultados
Yen et al. ²⁴	2 GE: DI vs ID EC: seguimiento de puntos mediante el uso de fuerza isométrica del tobillo	TM Precisión	Transferencia significativa (p<0,01) No diferencias entre lados (p>0,05)
Leung et al. ³	4 GE: EC vs EFM vs EFsM vs Control EC: acompañar la posición del codo con la mostrada en pantalla.	1-RM y MCV ECE, ICLI TM	Mayor transferencia de habilidad en el grupo de EC (GRUPO*TIEMPO: p=0,005) pero relación entre aprendizaje y transferencia no significativa (p>0,05). Transferencia específica similar entre GE (p>0,05). Mejoras de ECE e ICLI mayores en EC y EFM No relación ICLI o ECE y transferencia (p>0,05).
Neva et al. ²⁵	2 GE: Calentamiento aeróbico previo* vs Control EC: Seguimiento de puntos mediante joystick sujetado con la mano.	Desplazamiento lateral máximo Ángulo en velocidad máxima Tiempo de reacción y TM	Diferencias entre grupos durante la intervención que al final dejaban de ser significativas (p>0,05). Transferencia significativa (p<0,05) Diferencias entre grupos en tiempo de reacción (p=0,045) que desaparecen en retención (p>0,05).
Krishnan ²⁶	2 GE: práctica intensiva vs distribuida EC: Ajustar patrón de marcha al propuesto en tiempo real por pantalla.	Error de seguimiento	Mayor transferencia en práctica distribuida (p=0,044) Relación significativa (p<0,001) entre aprendizaje y transferencia (76%).
Witkowski et al. ²⁷	2 GE: EC vs Control Intervención en 3 fases: Global, oculo-manual y pedal, específica esgrima	Dinamometría manual Precisión estocada en 3 test diferentes	No cambios significativos en dinamometría (p>0,05) Mejora significativa en 3/3 (p<0,001) Transferencia significativa en 2/3 (p<0,001 y p<0,01)
Wang et al. ²⁸	2 GE: Zurdos vs Diestros 2 subgrupos: ID vs DI EC: "pegboard task"	Tiempo en realizar la tarea	Mejora y transferencia significativa (p<0,05) salvo mano derecha de diestros, no mejora ni transferencia (p>0,1) No relación entre aprendizaje y transferencia (p>0,1)
Beg et al. ²⁹	2 GE: EC vs Control EC: "pegboard task"	Tiempo en realizar la tarea JTT test	Mejora y transferencia significativa en la tarea (p<0,05) y en JTT (p<0,05) salvo en apartado de escritura y alimentación simulada
Brocken et al. ³⁰	2 GE: GE A: EC, Control GE B: Control, EC EC: entrenamiento con <i>stick hockey</i> (adaptado) con manos contrarias	Tiempo en realizar la prueba	Mejora y transferencia significativa (p<0,016) GE B más rápido en Pre-test, (p<0,001); pero GE A, mayor mejora general (p = 0,043). Tiempos más largos en pre-test relacionados con mayor mejora p= 0,04

DI: transferencia cruzada desde el lado dominante; DM: dificultades motoras; EC: entrenamiento de coordinación; ECE: excitabilidad corticoespinal; ED: error direccional; EFM: entrenamiento de fuerza con metrónomo; EfsM: entrenamiento de fuerza sin metrónomo GE: Grupo experimental; ICLI: inhibición de corta latencia intracortical; ID: transferencia cruzada desde el lado no dominante; min: minutos; MCV, Máxima contracción voluntaria; N: muestra; RM: repetición máxima; TM: tiempo de movimiento. V_{max}: Velocidad máxima.

estrictamente miembros inferiores (MMII)^{22-24,26}. Solo 5 de los estudios presentan periodo de lavado (1-2 semanas)^{3,20,21,25}.

En cuanto a la heterogeneidad de objetivos, nos encontramos con que 3 artículos comparan la transferencia entre individuos jóvenes y ancianos^{14,15,23}, 5 analizan la transferencia según dominancia del miembro entrenado, 2 estudios analizan la muestra con patología^{16,20}, varios estudios comparan intervenciones de diferente dificultad o novedad^{14,18,19,21}, 2 comparan la transferencia entre entrenamiento visuomotor (EV) y de fuerza (EF)^{3,13} y finalmente, solo 1 estudio analizaron la influencia del calentamiento aeróbico previo²⁵ o de las diferentes distribuciones de la práctica²⁶.

Sin embargo, todos los artículos salvo el de Leung et al.¹³ analizaron el rendimiento. En 4 estudios realizaron medidas electrofisiológicas^{3,13,14,19}. Si bien todos ellos analizaron la excitación cortico-espinal (ECE), solo 2 analizan la Inhibición de Corta Latencia Intracortical (ICLI)^{3,13}.

Discusión

Influencia del contexto en la transferencia cruzada

Dificultad y novedad de la tarea y transferencia

Los artículos que analizaron la influencia de la dificultad, obtuvieron una mejora de la transferencia cuando la tarea era desafiante para el individuo^{19,21}. Estos resultados se ciñen a la propuesta teórica, donde el tipo, novedad y complejidad de la tarea condicionan la transferencia². Además, mayores demandas de coordinación y activación neuromuscular, involucran mayor oxigenación³¹ y activación cortical, favoreciendo, mayores adaptaciones que las tareas sencillas³².

Tan solo Steinberg et al.¹⁸ analizaron la influencia de la novedad de la tarea en la transferencia, observando mayores efectos cuando el individuo era novato. La mayor mejora general del grupo novato con

el *feedback* directo, podría deberse a que el grupo experto ya estaría en la etapa más avanzada del aprendizaje. En esta fase, el mapa sensorio-motor de la tarea está interiorizado y no resulta necesario el *feedback* sensorial ni atender a la ejecución³³, disminuyendo la carga neuronal y empeorando la transferencia². Por otro lado, el beneficio del grupo experto al usar el espejo podría explicarse al considerar las tareas bajo el *feedback* normal como simples y al verlo en un reflejo como complejas. Esta consideración se describe en el artículo de Kidgell²¹, donde la tarea considerada más compleja era la realizada mediante el reflejo del espejo. Esta mayor complejidad obligaría a dirigir la atención hacia el reflejo y a la ejecución de la tarea, antes considerada sencilla².

Diferencias de transferencia según la edad

Todos los artículos que incluyeron a población anciana encontraron transferencia significativa^{14-16, 23} a pesar de presentar un rendimiento menor que el grupo más joven durante la fase de aprendizaje^{14,15,23}. Sin embargo, no hubo consenso en cuanto a las diferencias entre grupos de edad.

En el aprendizaje de un nuevo patrón de marcha, los ancianos tuvieron una menor transferencia que los jóvenes²³. Esto sigue la línea de estudios que muestran transferencia disminuida en ancianos^{7,8} debido a los mecanismos de degeneración neuronal asociados al envejecimiento, como el descenso de ECE³⁴ y aumento de inhibición intracortical³⁵, importantes en la consolidación de memoria motora³⁶. Sin embargo, Dickins *et al.*¹⁴ y Graziado *et al.*¹⁵, con intervenciones en miembros superiores (MMSS), describen que la transferencia fue igual¹⁴ o incluso mayor en los ancianos¹⁵, lo que apoya el modelo HAROLD, los déficits antes mencionados se compensarían mediante un reclutamiento hemisférico más bilateral⁹.

La mayor transferencia en ancianos, para la variable que mide anticipación, descrita por Graziado *et al.*¹⁵ podría deberse a varios factores. Si bien los ancianos sanos preservan una adaptabilidad predictiva eficaz, no permanece claro cómo afecta la edad a ella³⁷. Sin embargo, hallazgos sugieren que el declinamiento cognitivo que ocurre con la edad es causante del deterioro del control predictivo³⁸. De este modo, los ancianos cognitivamente sanos podrían mejorar y transferir esta capacidad de manera similar a otros grupos de edad. Por otro lado, los jóvenes podrían no haber mejorado debido a que la parte de la tarea que evaluaba la anticipación no supuso un reto suficiente, disminuyendo su transferencia y generando una diferencia entre grupos. Finalmente, la falta de consenso de la transferencia en esta población se podría explicar en parte por diferencias metodológicas, que modificarían el aprendizaje de la población anciana, y por las características individuales, escasamente recogidas. De este modo, variables personales, como el estilo de vida, podrían ser factores protectores contra la declinación cognitiva y de la memoria.

Asimetría de la transferencia

Los hallazgos de los estudios sobre esta variable son relativamente heterogéneos. Si bien los 2 estudios que lo analizan en MMII encontraron que la transferencia se daba independientemente del lado entrenado^{22,24}, en MMSS, la transferencia sí se veía condicionada por ello^{16,17,28}.

En MMSS, se pudo observar que la transferencia desde el miembro dominante fue mayor, y se adaptó mejor a tests distintos en el estudio de Pan *et al.*¹⁶. Ésto tendría relación con lo propuesto por el modelo de proficiencia (el lado dominante sería más eficaz al adaptarse a nuevas tareas, transfiriendo más información y de mayor calidad) y el de especialización hemisférica (la capacidad de cada hemisferio de producir modelos internos de distintas habilidades)³². En concreto, el lado dominante se beneficiaría de habilidades espaciales³⁹, del mismo modo que ocurre en el artículo de Pan *et al.*¹⁶, donde se analizaba una medida de control espacial. Por otro lado, Sainburg *et al.*¹⁷ describieron transferencia simétrica pero con adaptaciones diferentes según la función determinada de cada hemisferio. Esto coincide con otro estudio donde la transferencia de la precisión al chutar era simétrica pero las estrategias motrices para llegar a esa adaptación diferían entre lados⁴⁰.

Por último, en el estudio de Wang *et al.*²⁸, se obtuvo un resultado asimétrico en los diestros, su mano derecha no mejoró ni obtuvo transferencia significativa, apoyando el modelo de proficiencia. Sin embargo, los zurdos mejoraron y obtuvieron transferencia en ambas manos. Ésto podría deberse por un mayor uso de los zurdos del brazo no dominante en sus rutinas, favoreciendo una mayor conectividad interhemisférica y destreza con la mano no dominante que los diestros⁴¹.

En los estudios de MMII se obtuvieron transferencias simétricas de control espacial en el trabajo de la marcha²², y en el control isométrico de tobillo²⁴. Parece que la mayor simetría en MMII se podría explicar por una menor lateralización de MMII que de MMSS, debido a las diferentes tareas y estrategias motoras entre ellos⁴². A pesar de coincidir con ciertos estudios que confirman la simetría en MMII^{6,43}, la evidencia sobre ello es escasa y sin consenso, habiendo también hallazgos de asimetría en ciertas variables^{40,42}.

Por otro lado, en los artículos de Witkowski *et al.*²⁷ y Brocken *et al.*³⁰ se describen intervenciones en actividades deportivas con equipamiento diseñado para su uso con el miembro no dominante (estoque de esgrima) y con las manos cambiadas (*stick* de hockey), respectivamente. Ambos estudios obtuvieron transferencia significativa hacia su lado dominante, mostrando la capacidad de transferir habilidades visuomotoras desde el lado no dominante de manera efectiva en deportes asimétricos.

Finalmente, considerando que variables contextuales, como la complejidad y novedad de una tarea, influyen la dirección de transferencia²⁸, la heterogeneidad de protocolos de intervención dificulta la predicción del patrón de simetría en la transferencia. Esto último se puede ver en el estudio de Stöckel *et al.*⁶ donde, durante una misma tarea, cambiando las instrucciones de la tarea, la transferencia desde cada miembro variaba según se consideraba más espacial o dinámica.

Diferencias de transferencia en participantes con patología

Los dos artículos que analizaron esta variable, diferían en cuanto a la patología por lo que no son comparables. Sin embargo, ambos hallaron una transferencia significativa equiparable a la del grupo sano^{16,20}.

Por un lado, en el estudio de Pan *et al.*¹⁶, la transferencia fue simétrica en personas con neuropatía periférica. Ya que en esta patología ocurre una degeneración del área somatosensorial⁴⁴, los resultados antes explicados podrían deberse a mecanismos neuronales compen-

satorios de forma semejante a lo propuesto con el modelo HAROLD y el declinamiento cognitivo¹⁶.

Por otro lado, en el estudio de Bo *et al.*²⁰, la transferencia fue similar entre personas de distintas capacidades motoras, sugiriendo que la transferencia estaría más relacionada con el establecimiento de engramas motores que con las capacidades motrices. Finalmente, la diferencia en la habilidad transferida según *feedbacks* podría explicarse por lo observado en un estudio coetáneo. En dicho estudio, al aumentar el *feedback* visual el tiempo de movimiento durante la tarea aumentaba⁴⁵. Bajo esta premisa, los resultados de Bo *et al.*²⁰ podrían deberse al aprendizaje sobre la nueva condición, mejorando el tiempo de movimiento tras la adaptación.

Calentamiento previo y distribución de la práctica

En la literatura actual, se ha objetivado que espaciar la intervención favorece el aprendizaje de habilidades en MMSS en adultos⁴⁶. A pesar de la escasez de ensayos de este tema en MMII, parece surtir el mismo efecto en dicha zona⁴⁷. Siguiendo la línea de estos estudios, la transferencia de un nuevo patrón de la marcha mejoró con la práctica distribuida²⁶.

Por otro lado, las mejoras temporales de rendimiento tras el calentamiento de Neva *et al.*²⁵ difieren de lo encontrado en otro artículo donde el rendimiento descendió tras ejercicio de alta intensidad⁴⁸. Esto podría explicarse por una menor intensidad del calentamiento, reduciendo la fatiga a la hora de realizar la prueba. Por otro lado, los cambios precarios de tiempos de reacción podrían deberse a aumentos agudos de atención tras el ejercicio⁴⁹, ya que aumentos en los niveles atencionales facilitan tiempos de reacción más rápidos⁵⁰.

Magnitud de la transferencia cruzada de rendimiento

En todos los artículos se encontraron mejoras de rendimiento significativas tanto en el miembro entrenado como en el contralateral en alguna de las variables estudiadas^{3,14-30}. Sin embargo, no todos los artículos indican el porcentaje de mejora contralateral. Además, los porcentajes descritos variaron bastante entre los diferentes estudios. Éste fenómeno podría explicarse por las diferentes variables analizadas, intervenciones y protocolos que utilizaron los diversos estudios, promoviendo una mayor o menor transferencia y proporcionando datos poco homogéneos.

Magnitud de transferencia a largo plazo

Los 5 únicos estudios que analizaron el fenómeno de transferencia cruzada a largo plazo encontraron transferencia significativa al final de la intervención^{3,19,27,29,30}. Sin embargo, solo 2 de ellos explicitan los porcentajes de transferencia^{3,19}.

En el estudio de Leung *et al.*³ el aprendizaje y la transferencia fueron mayores en el grupo que entrenaba de manera específica la tarea. Si bien, el porcentaje de transferencia específico fue similar entre grupos de EF (14,4±3,8% a 11,9±4,5% en fuerza) y de EV (12,4±2,3% en control motor), las medidas electrofisiológicas dependieron del tipo de intervención. De este modo, a pesar de que resulta inadecuado decir que el EF y EV comparten las mismas respuestas corticoespinales, poseen cierta similitud. Al comparar las magnitudes descritas por Leung *et al.*³ con

protocolos de intervención similares, resultan ligeramente superiores a las descritas para transferencia de fuerza en MMSS (9,4%)¹². Sin embargo, Christiansen *et al.*¹⁹ describen porcentajes de mejora en su grupo de entrenamiento progresivo mucho más altos (76±14%). Esto podría deberse a las diferencias metodológicas entre ambos estudios. Por un lado, Leung *et al.*³ tiene una tarea muy distinta a la de Christiansen *et al.*¹⁹ con un ajuste de dificultad no progresivo y compara los resultados con el grupo control, como sugiere Carrol *et al.*⁵¹ para reducir la influencia de la familiarización con la prueba. Por otra parte, el estudio de Christiansen *et al.*¹⁹ no presentó periodo de lavado, el protocolo fue 2 semanas más largo, la muestra fue más pequeña, no hubo grupo control y las variables que medían el rendimiento diferían mucho entre estudios.

Relación entre cantidad de aprendizaje y cantidad de transferencia

La mayoría de los estudios que analizaron esta variable, descrita como porcentaje de mejora contralateral respecto a la cantidad de mejora ipsilateral, obtuvieron significancia. Sin embargo, resulta complicado establecer un consenso de esta relación ya que la magnitud de la misma es bastante variable según el contexto, como se observó en el resto de apartados.

Esta relación fue significativa en los 3 estudios de MMII. Los porcentajes comprendieron un 84%²²-76%²⁶ y fue menor en individuos de edad avanzada, 56%²³. Sin embargo, los tres estudios fueron realizados por el mismo investigador, con intervenciones y protocolos muy similares. Además, dos de los estudios analizan la transferencia comparando la medida base del miembro entrenado con la medida final del contrario, cruzando datos entre miembros y sesgando el resultado. Por otro lado, en los estudios de MMSS, de Bo *et al.*²⁰ y Graziado *et al.*¹⁵ se encontró dicha relación solo en las variables con transferencia significativa y sin diferencias entre grupos (resultados homogéneos). Finalmente, Kidgell *et al.*²¹ solo encontraron correlación de aprendizaje en la tarea de mayor dificultad mientras que Leung *et al.*³ y Wang *et al.*²⁸ no encontraron relación para el EV. Del mismo modo que ocurre en el artículo de Kidgell *et al.*²¹ con las tareas más fáciles, la intervención de Leung *et al.*³ pudo no ser lo bastante difícil como para procurar mejoras suficientes para detectar significancia en la relación. Del mismo modo, la corta duración del estudio de Wang *et al.*²⁸, 4 intentos de práctica, pudo no permitir detectar la relación por una cantidad insuficiente de mejora.

Medidas electrofisiológicas

Los 2 artículos que comparan la transferencia de EV y EF encontraron adaptaciones corticales diferentes entre grupos. En el estudio de Leung *et al.*¹³, solo hubo diferencias entre grupos para los cambios en ICLI, siendo iguales en la ECE. Sin embargo, en un estudio posterior, reportaron cambios de ECE e ICLI mayores en EV y EF con metrónomo respecto al resto de grupos³. Esto podría explicarse por lo encontrado en el artículo de Christiansen *et al.*¹⁹, donde inicialmente ambos grupos, tenían aumentos iguales de ECE. Sin embargo, estos cambios sólo perduraban en el grupo donde se progresaba en la dificultad. De este modo, en el artículo de menor duración, tanto EV como EF podrían haber generado los mismos cambios excitatorios debido a que si la tarea de fuerza resulta novedosa para el individuo, existirá

adaptación sustancial de control motor independientemente de la complejidad de la tarea³².

Por otro lado, en el estudio de Dickins *et al.*¹⁴, los cambios de ECE en la tarea simple, pero no en la compleja, podrían deberse a que la adaptación neural no se detectó por darse fuera de la corteza motora primaria (M1). Esto se explica en base a las múltiples áreas corticales que se activan en el control de distintos parámetros de la prensa manual⁵² y a que no se puede asumir que las interacciones entre M1 sean el origen de la facilitación cruzada sólo porque la interacción de ambas cortezas se exprese a través de M1².

Finalmente, no se encontró una relación significativa entre cambios de ECE^{3,14,19} o ICLI³ la mejora de rendimiento en la tarea. Esto es consistente con lo expresado por Ruddy *et al.*², quienes afirman que la facilitación cruzada no se da únicamente en los músculos homólogos involucrados en la tarea si no que también en músculos que no lo están. Además, dicha activación perdura en el tiempo denominándose "potenciación post-activación". De este modo, resulta erróneo asumir que los cambios de excitabilidad representan únicamente cambios adaptativos significativos.

Conclusiones

Los estudios recogidos en esta revisión evidencian la presencia de transferencia de control motor en tareas visuomotoras a corto y largo plazo. La magnitud y dirección de este efecto parece ser muy variable, dependiendo de múltiples factores contextuales, como el estado del sistema nervioso, lateralización hemisférica o tipo de tarea. Asimismo, la cantidad de aprendizaje parece estar relacionada con la cantidad de transferencia (aunque de manera variable), pero los cambios de ECE o ICLI no. Por otro lado, las diferencias entre MMSS y MMII resultan poco concluyentes por los escasos estudios revisados. Finalmente, La baja calidad de los estudios y la heterogeneidad metodológica general, dificulta sacar conclusiones contundentes de estos hallazgos.

Resulta necesario realizar más estudios con una calidad metodológica superior y con protocolos de medición más estandarizados, con un registro más detallado de variables individuales y sobre la tarea que pudiesen influir en la transferencia. Además, futuros ensayos debieran estudiar qué factores modifican la relación entre cantidad de aprendizaje y de transferencia para optimizar el uso de esta herramienta.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Fuentes de financiación

La presente investigación no ha recibido ninguna beca específica de agencias de los sectores público, comercial, o sin ánimo de lucro.

Bibliografía

1. Scripture E, Smith T, Brown E. On the education of muscular control and power. *Studies from Yale Psychological Laboratory*. 1894;114-9.
2. Ruddy K, Carson, R. Neural pathways mediating cross education of motor function. *Front Hum Neurosci*. 2013;7:397.

3. Leung M, Rantalainen T, Teo WP, Kidgell D. The ipsilateral corticospinal responses to cross-education are dependent upon the motor-training intervention. *Exp Brain Res*. 2018;236:1331-46.
4. Wang J, Sainburg RL. Interlimb transfer of novel inertial dynamics is asymmetrical. *J Neurophysiol*. 2004;92:349-60.
5. Criscimagna-Hemminger S, Donchin O, Gazzaniga M, Shadmehr R. Learned dynamics of reaching movements generalize from dominant to nondominant arm. *J Neurophysiol*. 2003;89:168-76.
6. Stöckel T, Wang J. Transfer of short-term motor learning across the lower limbs as a function of task conception and practice order. *Brain and Cognition*. 2011;77:271-9.
7. Hinder M, Carroll T, Summers J. Inter-limb transfer of ballistic motor skill following non-dominant limb training in young and older adults. *Exp Brain Res*. 2013;227:19-29.
8. Hinder M, Schmidt M, Garry M, Carroll T, Summers J. Absence of cross-limb transfer of performance gains following ballistic motor practice in older adults. *J Appl Physiol*. 2011;110:166-75.
9. Cabeza R. Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychol Aging*. 2002;17:85-100.
10. Ehsani F, Nodehi-Moghadam A, Ghandali H, Ahmadzade Z. The comparison of cross-education effect in young and elderly females from unilateral training of the elbow flexors. *Med J Islam Repub Iran*. 2014;28:138.
11. Wang J, Przybyla A, Wuebbenhorst K, Haaland K, Sainburg R. Aging reduces asymmetries in interlimb transfer of visuomotor adaptation. *Exp Brain Res*. 2011;210:283-90.
12. Manca A, Dragone, D, Dvir Z, Deriu F. Cross-education of muscular strength following unilateral resistance training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol*. 2017;117:2335-54.
13. Leung M, Rantalainen T, Teo W-P, Kidgell D. Motor cortex excitability is not differentially modulated following skill and strength training. *Neurosci*. 2015;305:99-108.
14. Dickins D, Sale M, Kamke M. Intermanual transfer and bilateral cortical plasticity is maintained in older adults after skilled motor training with simple and complex tasks. *Front in Aging Neurosci*. 2015;7:73.
15. Graziadio S, Nazarpour K, Gretenkord S, Jackson A, Eyre J. Greater intermanual transfer in the elderly suggests age-related bilateral motor cortex activation is compensatory. *J Mot Behav*. 2015;47:47-55.
16. Pan Z, Van Gemmert, A. Peripheral neuropathy reduces asymmetries in inter-limb transfer in a visuo-motor task. *Laterality*. 2016;21:255-66.
17. Sainburg R, Schaefer S, Yadav V. Lateralized motor control processes determine asymmetry of interlimb transfer. *Neuroscience*. 2016;334:26-38.
18. Steinberg F, Pixa N, Doppelmayr M. Mirror visual feedback training improves intermanual transfer in a sport-specific task: a comparison between different skill levels. *Neural Plast*. 2016:1-11.
19. Christiansen L, Larsen M, Grey M, Nielsen J, Lundbye-Jensen J. Long-term progressive motor skill training enhances corticospinal excitability for the ipsilateral hemisphere and motor performance of the untrained hand. *Eur Journal of Neurosci*. 2016;45:1490-500.
20. Bo J, Lee C. Inter-limb transfer of kinematic adaptation in individuals with motor difficulties. *Neurosci Lett*. 2017;654:63-9.
21. Kidgell D, Frazer A, Pearce A. The effect of task complexity influencing bilateral transfer. *Int J Exerc Sci*. 2017;10:1174-83.
22. Krishnan C, Ranganathan R, Tatarbe M. Interlimb transfer of motor skill learning during walking: no evidence for asymmetric transfer. *Gait Posture*. 2017;56:24-30.
23. Krishnan C, Washabaugh E, Reid C, Althoen M, Ranganathan R. Learning new gait patterns: age-related differences in skill acquisition and interlimb transfer. *Exp Gerontol*. 2018;111:45-52.
24. Yen S-C, Olsavsky L, Cloonan C, Llanos A, Dwyer K, Nabian M, *et al.* An examination of lower limb asymmetry in ankle isometric force control. *Hum Mov Sci*. 2018;57:40-9.
25. Neva J, Ma J, Orsholits D, Boisgontier M, Boyd L. The effects of acute exercise on visuo-motor adaptation, learning, and inter-limb transfer. *Exp Brain Res*. 2019;237:1109-27.
26. Krishnan C. Learning and interlimb transfer of new gait patterns are facilitated by distributed practice across days. *Gait Posture*. 2019;70:84-9.
27. Witkowski M, Bojkowski L, Karpowicz K, Konieczny M, Bronikowski M, Tomczak M. Effectiveness and durability of transfer training in fencing. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020;17.
28. Wang YF, Zhao J, Negyesi J, Nagatomi R. Differences in the magnitude of motor skill acquisition and interlimb transfer between left- and right-handed subjects after short-term unilateral motor skill practice. *Tohoku J. Exp. Med*. 2020;251:31-7.
29. Beg RA, Shaphe MA, Qasheesh M, Ahmad F, Anwer S, Alghadir AH. Intermanual transfer effects on performance gain following dominant hand training in community-dwelling healthy adults: a preliminary study. *J Multidiscip Healthc*. 2021;14:1007-16.

30. Brocken JEA, van der Kamp J, Lenior M, Savelsbergh GJP. Using modified equipment in field hockey leads to positive transfer of learning effect. *Front Psychol.* 2021;12:653004.
31. Holper L, Biallas M, Wolf M. Task complexity relates to activation of cortical motor areas during uni- and bimanual performance: a functional NIRS study. *Neuroimage.* 2009;46:1105-13.
32. Farthing J. Cross-education of strength depends on limb dominance: implications for theory and application. *Exerc Sport Sci Rev.* 2009;37:179-87.
33. Halsband U, Lange R. Motor learning in man: a review of functional and clinical studies. *J Physiol Paris.* 2006;99:414-24.
34. Sale M, Semmler J. Age-related differences in corticospinal control during functional isometric contractions in left and right hands. *J Appl Physiol.* 2005;99:1483-93.
35. McGinley M, Hoffman R, Russ D, Thomas J, Clark B. Older adults exhibit more intracortical inhibition and less intracortical facilitation than young adults. *Exp Gerontol.* 2010;45:671-8.
36. Robertson E, Takacs A. Exercising control over memory consolidation. *Trends Cogn Sci.* 2017;21:310-2.
37. Bohm S, Mademli L, Mersmann F, Arampatzis A. Predictive and reactive locomotor adaptability in healthy elderly: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2015;45:1759-77.
38. Levy-Tzedek S. Changes in predictive task switching with age and with cognitive load. *Front Aging Neurosci.* 2017;9:375.
39. Sainburg R. Evidence for a dynamic-dominance hypothesis of handedness. *Exp Brain Res.* 2002;142:241-58.
40. King A, Wang Z. Asymmetrical stabilization and mobilization exploited during static single leg stance and goal directed kicking. *Hum Mov Sci.* 2017;54:182-90.
41. Serrien D, Sovijärvi-Spapé, M. Manual dexterity: functional lateralisation patterns and motor efficiency. *Brain and cognition.* 2016;108:42-6.
42. Morris T, Newby N, Wining M, Craelius W. Inter-limb transfer of learned ankle movements. *Exp Brain Res.* 2009;192:33-42.
43. Van Hedel H, Biedermann M, Erni T, Dietz V. Obstacle avoidance during human walking: transfer of motor skill from one leg to the other. *J Physiol.* 2002;543:709-17.
44. Selvarajah D, Wilkinson L, Fang F, Sankar A, Davies J, Boland E, et al. Structural and functional abnormalities of the primary somatosensory cortex in diabetic peripheral neuropathy: a multimodal MRI study. *Diabetes.* 2019;68:796-806.
45. Ambron E, Schettino L, Coyle M, Jax S, Coslett H. When perception trips action! The increase in the perceived size of both hand and target matters in reaching and grasping movements. *Acta Psychol.* 2017;180:160-8.
46. Smith C, Scarf D. Spacing repetitions over long timescales: a review and a reconsolidation explanation. *Front Psychol.* 2017;8:962.
47. Shea C, Lai Q, Black C, Park J-H. Spacing practice sessions across days benefits the learning of motor skills. *Hum Mov Sci.* 2000;19:737-60.
48. Thomas R, Flindtgaard M, Skriver K, Geertsen S, Christiansen L, Korsgaard L, et al. Acute exercise and motor memory consolidation: does exercise type play a role? *Scand J Med Sci Sports.* 2016;27:1523-32.
49. De Greeff J, Bosker R, Oosterlaan J, Visscher C, Hartman E. Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2018;21:501-7.
50. Posner M. Orienting of Attention: Then and Now. *Q J Exp Psychol.* 2016;69:1864-75.
51. Carroll T, Herbert R, Munn J, Lee M, Gandevia S. Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *J Appl Physiol.* 2006;101:1514-22.
52. Holmström L, de Manzano Ö, Vollmer B, Forsman L, Valero-Cuevas F, Ullén F, et al. Dissociation of brain areas associated with force production and stabilization during manipulation of unstable objects. *Exp Brain Res.* 2011;215:359-67.