



Licenciatura en Kinesiología y Fisiatría

Trabajo final de grado

**“Eficacia del entrenamiento cruzado en adultos mayores con fractura
de cadera en Argentina: una revisión narrativa”**

Tolosa, Mariana Lilen

Director: José Luis Pappatico

2025

Agradecimientos

A mi familia, quienes son mis pilares fundamentales en mi vida. A ellos, les debo todo lo que hoy soy. A mis padres, Víctor y Elsa, mis hermanos, Melina y Víctor, eternamente gracias, por enseñarme con el ejemplo lo esencial de la vida, por los valores que me acompañaran por siempre, por nunca soltarme la mano y estar a cada paso del camino. Cada logro mío lleva escrito sus nombres.

A mi sobrina, Victoria, quien me acompaña en incontables tardes de estudio entre juegos y risas, dándome la motivación y un propósito para seguir día a día.

A mi abuela, a mi familia materna y paterna, quienes siempre me brindaron sus palabras de aliento.

A las amigas de toda la vida: Florencia, Lucia, Eve, Malena, Melina, y los que hice en el camino, Candela, Diego, Gastón, Brisa: por el apoyo incondicional, por confiar en mi las veces que yo no lo hacía y estar al pie del cañón, siempre.

A mis amigas que me dio la Universidad, Johana, Paula, Ainara, Melany, por cada mate y charla compartida, por la compañía y ayuda en todos estos años.

A los excelentes docentes de los que tuve el honor de aprender.

A la Universidad pública de calidad.

A cada persona que estuvo y me acompaña durante esta etapa, los llevo siempre en el corazón.

Resumen

La presente investigación examinó la evidencia teórica y clínica disponible sobre el entrenamiento cruzado y se la relacionó como alternativa preventiva para reducir las consecuencias de la inactividad muscular en etapas tempranas del tratamiento de fracturas de cadera en adultos mayores. Se desarrolló un estudio de tipo descriptivo, con enfoque cualitativo, basado en una revisión narrativa de literatura publicada entre 2000 y 2025 en bases de datos internacionales y fuentes nacionales. Los hallazgos señalaron, primero, que la inactividad prolongada produce deterioro acelerado de la fuerza y la autonomía funcional. En segundo lugar, se constató que el entrenamiento unilateral del miembro no afectado provoca respuestas adaptativas del sistema nervioso central que favorecen la conservación de la función neuromuscular contralateral. Se explora su aplicabilidad en el ámbito hospitalario argentino, donde podría incorporarse como opción terapéutica complementaria al proceso de rehabilitación de fracturas de cadera. Finalmente, se elaboró una propuesta teórica de protocolo de intervención basada en entrenamiento cruzado, destinada a orientar futuras implementaciones clínicas en esta población.

Palabras clave: entrenamiento cruzado, fractura de cadera, adultos mayores, demoras quirúrgicas, inmovilización, rehabilitación.

Índice

Agradecimientos-----	2
Resumen-----	3
Introducción-----	5
Planteamiento del problema-----	5
Justificación-----	6
Hipótesis-----	6
Objetivos	
Objetivos generales-----	7
Objetivos específicos-----	7
Marco metodológico	
Tipo de estudio-----	7
Proceso metodológico-----	7
Marco teórico-----	8
Anatomía coxofemoral-----	8
Biomecánica de la marcha-----	10
Fractura de cadera-----	12
Inmovilización prolongada-----	13
Intervención quirúrgica-----	14
Entrenamiento cruzado-----	15
Bases neurofisiológicas-----	16
Aplicaciones clínicas-----	17
Implicancias del entrenamiento de fuerza-----	20
Demoras quirúrgicas como oportunidad terapéutica-----	23
Propuesta de protocolo de intervención-----	27
Identificación de pacientes candidatos-----	27
Evaluación inicial-----	28
Observaciones y precauciones-----	29
Protocolo de tratamiento-----	30
Conclusión-----	34
Bibliografía-----	36

Introducción

El aumento sostenido de la población adulta mayor plantea nuevos desafíos en el abordaje de patologías osteoarticulares. Entre ellas, las fracturas de cadera representan un evento de gran impacto funcional y social, cuya recuperación se ve condicionada por factores como la edad, la condición física previa y el tiempo de inmovilización.

El entrenamiento cruzado o educación cruzada surge como una alternativa terapéutica que, a partir del trabajo unilateral del miembro sano, busca generar adaptaciones beneficiosas en el miembro afectado inmovilizado. Si bien su eficacia ha sido documentada en diversos casos clínicos, su aplicación en pacientes con fractura de cadera aún no ha sido investigada, siendo objetivo de estudio explorar su viabilidad en situaciones en donde las demoras quirúrgicas son frecuentes.

Planteamiento del problema

Las fracturas de cadera en adultos mayores constituyen una de las principales causas de discapacidad, pérdida de autonomía e institucionalización en la población geriátrica, especialmente en países de ingresos medios como Argentina. Además, tienen una alta prevalencia y se asocia con un significativo deterioro funcional y elevado riesgo de mortalidad dentro del primer año post-fractura (Garabano et al., 2020; Galván et al., 2022). La incidencia va en aumento como resultado del envejecimiento poblacional y la creciente esperanza de vida (International Osteoporosis Foundation, 2021).

En el sistema de salud argentino uno de los mayores desafíos en el abordaje de esta patología es el retraso en la intervención quirúrgica, ocasionado muchas veces por dificultades logísticas, demoras en la provisión de prótesis o materiales quirúrgicos y saturación hospitalaria (Fundación Trauma, 2023; Nemes et al., 2020). Durante los períodos de espera, que pueden prolongarse por días o incluso semanas, los pacientes permanecen en reposo, lo que incrementa el riesgo de deterioro funcional agudo.

La inmovilización prolongada, tanto prequirúrgica como en el postoperatorio inmediato, tiene consecuencias considerables como pérdida acelerada de masa muscular, disminución de la capacidad funcional, dolor persistente, posturas antalgicas, y pérdida de confianza para volver a caminar (Wall et al., 2024; Sánchez et al., 2019). Con lo mencionado anteriormente, resulta necesario considerar intervenciones seguras que puedan aplicarse incluso en fases

tempranas cuando la extremidad afectada no puede movilizarse, ya que los tratamientos actuales no contemplan alternativas activas durante este período crítico.

Justificación

Dada la escasez de abordajes activos para fracturas de cadera y la subestimación de las consecuencias del reposo absoluto durante las demoras quirúrgicas en el sistema de salud argentino, el entrenamiento cruzado se presenta como una herramienta que consiste en estimular el miembro sano para inducir efectos positivos a nivel neuromuscular en el miembro contralateral inmovilizado, mediante mecanismos de activación interhemisférica y plasticidad cortical (Carroll et al., 2006; Lee & Carroll, 2007). Aunque la evidencia en adultos mayores con fractura de cadera es escasa, las investigaciones disponibles indican que podría ser útil para evitar las consecuencias del desuso muscular y predisponer al paciente para una mejor rehabilitación posterior (Fimland et al., 2009; Lecce et al., 2025). Sin embargo, en Argentina esta estrategia no se aplica de forma sistemática en los protocolos de rehabilitación, y aún se desconocen los beneficios concretos que podría aportar durante las fases iniciales de internación o espera quirúrgica (CISFraCAM, 2021). En un contexto donde los recursos sanitarios son limitados y el inicio de la rehabilitación suele retrasarse, explorar el uso del entrenamiento cruzado representa una posibilidad con impacto clínico favorable (Fundación Trauma, 2023).

El presente estudio se propone entonces analizar y sistematizar la evidencia existente sobre la efectividad del entrenamiento cruzado en contextos similares, a fin de explorar su viabilidad en nuestro país y proponer un protocolo de tratamiento rehabilitador específico para dicha población y tipo de fractura para abrir el camino a futuras implementaciones clínicas que optimicen la recuperación.

Hipótesis

La aplicación del entrenamiento cruzado en adultos mayores con fractura de cadera podría constituir una herramienta útil para atenuar los efectos del desuso neuromuscular durante los períodos de inmovilización, según la evidencia teórica y experimental disponible.

Objetivos

General

Analizar la evidencia científica disponible sobre el entrenamiento cruzado y su posible aplicación en la rehabilitación de adultos mayores con fractura de cadera.

Específicos

- Identificar los principales efectos fisiológicos y funcionales de la inmovilización prolongada en adultos mayores.
- Describir las particularidades del sistema sanitario argentino que condicionan las demoras quirúrgicas y su impacto en la recuperación funcional.
- Analizar los fundamentos neurofisiológicos del entrenamiento cruzado y su aplicación en limitaciones funcionales unilaterales.
- Sintetizar los aportes teóricos y fisiológicos que sustentan la implementación de un protocolo que integre el entrenamiento cruzado en fracturas de cadera en adultos mayores en el sistema de salud Argentino.

Tipo de estudio y enfoque metodológico

La investigación se enmarcó dentro de un diseño no experimental de corte descriptivo, con un enfoque cualitativo, concretado mediante una revisión narrativa de la literatura. El alcance descriptivo fue seleccionado debido a que el objetivo principal consistió en especificar las propiedades, características y fenómenos una población determinada para posteriormente sintetizar y relacionar dicha información. El enfoque cualitativo se justificó en la etapa de análisis, ya que el proceso se centró en la interpretación profunda y sistemática de los hallazgos para construir una nueva perspectiva teórica.

Proceso metodológico

El proceso metodológico consistió en la búsqueda, selección y análisis de fuentes secundarias con el objetivo de identificar y sistematizar conocimientos actuales sobre los temas pertinentes. La recolección de la información se llevó a cabo utilizando bases de datos científicas tales como PubMed, Scielo, Google Scholar, ScienceDirect, entre otras plataformas académicas relevantes, empleando palabras clave como *cross-education*, *entrenamiento cruzado*, *fractura de cadera*, *inmovilización*, *adultos mayores* y *demora quirúrgica*, y no científicas, como fuentes periodísticas nacionales. Se priorizaron artículos publicados en los

últimos 15 años, con énfasis en estudios relevantes para Argentina, aunque también se incluyeron investigaciones internacionales por su aporte teórico y fisiológico.

Criterios de inclusión:

- Artículos científicos revisados por pares, revisiones sistemáticas o narrativas, guías clínicas y documentos oficiales de organismos reconocidos.
- Publicaciones entre los años 2000 y 2025.
- Escritos en español e inglés.
- Que describan el proceso de rehabilitación de fracturas de cadera en Argentina.
- Estudios que analicen el entrenamiento cruzado o el ejercicio físico unilateral.

Se excluyeron publicaciones duplicadas, publicaciones que no sean entre los años 2000 y 2025, estudios en idiomas no comprendidos, artículos con bajo nivel de evidencia o sin relevancia directa con el objeto de estudio.

El análisis de la información fue de tipo interpretativo y crítico, orientado a la identificación de patrones, fundamentos teóricos y hallazgos relevantes. No se realizó una comparación cuantitativa entre los estudios, sino una síntesis argumentativa que permita comprender los mecanismos fisiológicos del entrenamiento cruzado y su posible utilidad clínica. Esta interpretación busca fundamentar una propuesta teórica que responda al problema planteado.

Marco teórico

Anatomía coxofemoral

La articulación coxofemoral, también conocida como articulación de la cadera, es una diartrosis de tipo enartrosis que une el miembro inferior al tronco y permite realizar movimientos de flexión, extensión, aducción, abducción y rotación interna y externa, al tiempo que proporciona estabilidad y soporte durante la bipedestación y la marcha (Rouvière & Delmas, 2005).

A nivel óseo, está conformada por dos estructuras principales: la cavidad acetabular del hueso coxal y la cabeza del fémur. La primera, ubicada en la cara lateral de la pelvis, representa la porción cóncava de la articulación y está formada por la fusión de los tres huesos

que integran el coxal: ilion, isquion y pubis, los cuales convergen en el centro del acetáculo en un cartílago de crecimiento denominado trirradiado durante la infancia (Testut & Latarjet, 1984). La segunda, la cabeza femoral, de forma esférica, constituye la porción convexa de la articulación y se articula con el acetáculo encajando casi completamente en su cavidad, lo que favorece la congruencia articular y contribuye a su estabilidad mecánica (Rouvière & Delmas, 2005).

La superficie articular del acetáculo está revestida por cartílago hialino en su parte semilunar, mientras que su parte central, llamada fosa acetabular, carece de cartílago. Esta configuración se complementa con el rodete acetabular (labrum), un anillo fibrocartilaginoso que profundiza la cavidad y aumenta la superficie de contacto con la cabeza femoral (Kapandji, 2011).

Por otro lado, el cuello femoral, que conecta la cabeza del fémur con la diáfisis, presenta una orientación oblicua que permite la adecuada transmisión de cargas desde el tronco hacia los miembros inferiores. Esta zona es especialmente vulnerable a fracturas, sobre todo en adultos mayores con pérdida de densidad ósea (Latarjet & Ruiz Liard, 2001).

El grupo de músculos profundos de la cadera, que comprende el piriforme, los obturadores interno y externo, los gemelos superior e inferior y el cuadrado femoral, se localiza en una estrecha relación anatómica con la cápsula articular, disposición les permite contribuir activamente a la tensión y adaptabilidad de la cápsula favoreciendo la congruencia articular, a la vez que desempeñan un papel crucial en la estabilización del eje lumbopélvico y en el control de los movimientos rotacionales. Adicionalmente, estos músculos actúan de forma refleja para contrarrestar las fuerzas de cizalla y proporcionar estabilidad a la articulación, lo cual resulta esencial en posturas unipodales o durante cambios rápidos de dirección (Rouvière & Delmas, 2005).

En un plano más superficial de la región glútea se localizan los músculos de mayor volumen y potencia, que cumplen un rol fundamental en la dinámica de la cadera y la locomoción. Estos músculos generan la fuerza necesaria para la extensión, la abducción y los movimientos de rotación, al tiempo que contribuyen al equilibrio y a la transferencia de cargas durante la marcha (Rouvière & Delmas, 2005). El glúteo mayor constituye el principal extensor y rotador externo de la cadera, mientras que el glúteo medio y el glúteo menor actúan como abductores y estabilizadores de la pelvis en el plano frontal, especialmente relevantes durante

el apoyo unipodal. El tensor de la fascia lata, músculo monoarticular que se origina en la espina ilíaca anterosuperior y se inserta en el tracto iliotibial hasta el tubérculo de Gerdy, participa en la flexión, abducción y rotación interna de la cadera, además de contribuir indirectamente a la estabilidad lateral de la rodilla en extensión. A nivel profundo, el psoas-ilíaco se reconoce como el principal flexor de cadera y estabilizador de la articulación, mientras que el grupo de los aductores (mayor, largo y corto) cumple un papel en la aducción y en la estabilización de la pelvis en el plano medio, además de colaborar en movimientos complementarios de rotación. Finalmente, los músculos isquiosurales actúan como extensores de cadera en cadena cinética cerrada y como flexores de rodilla, contribuyendo a la propulsión durante la marcha (Rouvière & Delmas, 2005). Dichos músculos, por su disposición, actúan como motores primarios, pero también cumplen funciones secundarias de estabilización, como sucede en presencia de debilidad o disfunción de la musculatura profunda (Rouvière & Delmas, 2005).

Biomecánica de marcha

La marcha humana se divide en dos fases principales: fase de apoyo y fase de oscilación. La fase de apoyo representa aproximadamente el 60 % del ciclo de la marcha y comienza con el contacto inicial del talón hasta el despegue de los dedos del mismo pie. Su función es proporcionar estabilidad, absorción de impactos y propulsión hacia adelante. Dentro de esta fase se distinguen subfases como el contacto inicial, apoyo medio y despegue (Kapandji, 2011).

La fase de oscilación, que ocupa cerca del 40 % del ciclo, inicia con el despegue del pie del suelo y concluye con el siguiente contacto del talón. Su función principal es permitir que el miembro avance y se prepare para el nuevo apoyo, requiriendo flexión adecuada de rodilla y cadera para asegurar el despegue del pie y la eficiencia en el desplazamiento (Kapandji, 2011).

El análisis biomecánico muestra que cada fase exige la función coordinada de grupos musculares específicos: durante el apoyo destacan el cuádriceps y glúteo medio en la estabilización, mientras que en la oscilación cobran relevancia los flexores de cadera, isquiosurales y flexores dorsales de tobillo favoreciendo un patrón armónico y eficiente de locomoción (Kapandji, 2011).

La estabilidad de la pelvis en el plano frontal durante la marcha y la bipedestación depende, en gran parte, del glúteo medio contralateral, que evita el descenso del lado opuesto al apoyo, fenómeno conocido como signo de Trendelenburg (Kapandji, 2011).

Comprender estos procesos es esencial para interpretar las alteraciones funcionales que aparecen tras periodos de inmovilización prolongada. La pérdida de fuerza de los principales músculos estabilizadores como el glúteo medio y cuádriceps, compromete la capacidad de sostén y equilibrio del paciente durante la marcha o la bipedestación.

Además de la musculatura específica, el sistema fascial también constituye un componente esencial en el movimiento. La fascia es una red continua de tejido conectivo que envuelve, sostiene y conecta músculos, huesos, órganos y otras estructuras internas del cuerpo, formando una malla tridimensional que se extiende desde la cabeza hasta los pies. Puede clasificarse en superficial, profunda y visceral, y su integridad influye tanto en el soporte estructural como en la función motora y sensorial (Bordoni & Zanier, 2013). Su alta densidad de terminaciones nerviosas le otorga un rol fundamental en la propiocepción y el control motor. Esta red mantiene un diálogo constante con el sistema nervioso central, modulando la postura y la coordinación de los movimientos (Wilke et al., 2019). La fascia forma parte de un modelo de tensegridad biológica, distribuyendo las fuerzas de tracción y compresión de manera armónica (Duarte et al., 2022). En los miembros inferiores proximales, la fascia lata destaca por su función en la transmisión de fuerzas y estabilización lateral de muslo y pelvis. A través de la acción del músculo glúteo mayor y tensor de la fascia lata, contribuye a la estabilidad dinámica de la pelvis y rodilla durante la marcha (Rouvière & Delmas, 2005; Wilke et al., 2019).

Analizando lo anterior, el concepto de cadenas musculares amplía la comprensión de la función miofascial, al proponer que músculos y fascias se organizan en trayectorias continuas a lo largo del cuerpo. Este modelo, desarrollado por Busquet (2010), plantea que dichas cadenas no deben entenderse como simples asociaciones de músculos yuxtapuestos, sino como verdaderos conjuntos funcionales que actúan de manera sincrónica en la dinámica postural y el movimiento. Cada cadena está conformada por una sucesión de estructuras miofasciales interconectadas, capaces de transmitir tensiones y adaptaciones entre diferentes segmentos corporales, lo que asegura la unidad del sistema locomotor. En este marco, la articulación coxofemoral ocupa un lugar central, ya que participa simultáneamente en la cadena estática posterior y en las cadenas dinámicas relacionadas con la locomoción. Busquet (2010) explica que la disposición fascial y muscular alrededor de la cadera es determinante en la estabilidad del tronco y en la transmisión de fuerzas entre los miembros inferiores y el raquis. Entonces, la cadera no actúa de manera aislada, sino como un eslabón estratégico en la continuidad del aparato locomotor.

La compleja biomecánica expuesta, que garantiza la estabilidad y la movilidad del individuo, se ve drásticamente alterada ante una fractura de cadera, comprometiendo no solo la funcionalidad general, sino también la integración sensoriomotora y la percepción corporal del propio cuerpo.

Fracturas de cadera

Se definen como aquellas interrupciones en la continuidad ósea del extremo proximal del fémur, incluyendo fracturas intertrocantéricas y del cuello femoral (AAOS, 2021). En función de su localización anatómica, se clasifican principalmente en intracapsulares (cuello femoral) y extracapsulares (intertrocantéricas y subtrocantéricas), con distinta implicancia terapéutica y pronóstica (Garabano et al., 2020).

Estas fracturas suelen originarse por caídas desde la propia altura, en presencia de una fragilidad ósea que se ve agravada por enfermedades crónicas, inactividad física, déficits nutricionales, deterioro sensorial y consumo de fármacos (Garabano et al., 2020). En este sentido, el envejecimiento y los hábitos como el sedentarismo implican una reducción progresiva de la densidad mineral ósea y alteraciones en la marcha y el equilibrio, lo que incrementa la probabilidad de caídas (Ministerio de Salud de la Nación Argentina, 2021).

En Argentina, la mayoría de las fracturas de cadera se presentan en mujeres, con una relación aproximada de 2,7:1 respecto a los varones, y se concentran principalmente en personas mayores de 70 años con comorbilidades como hipertensión arterial, diabetes, osteoporosis y anemia (CISFraCAM, 2021; Garabano et al., 2020). Antes del evento, alrededor del 60% de los pacientes se desplazaba de manera autónoma dentro del hogar (Garabano et al., 2020), mientras que la distribución anatómica reportada muestra un predominio de las fracturas intertrocantéricas (53%) sobre las del cuello femoral (47%), con una tasa de complicaciones postoperatorias del 13% y una mortalidad de hasta el 4,85% en los primeros meses posteriores a la cirugía, lo que refuerza la necesidad de estrategias de prevención oportunas en esta población (CISFraCAM, 2021).

El impacto funcional de las fracturas de cadera es profundo, ya que una proporción considerable de los pacientes no recupera su nivel previo de autonomía, lo que incrementa el riesgo de institucionalización y dependencia a largo plazo (Dyer et al., 2016). A estas secuelas se suma un fuerte impacto psicológico, que incluye el miedo a nuevas caídas, ansiedad y una marcada pérdida de la confianza en las propias capacidades (CISFraCAM, 2021).

La pérdida de continuidad entre los segmentos corporales genera una disminución del control postural, desorganización de los patrones motores aprendidos y una distorsión del esquema corporal, entendida como la representación interna que el sistema nervioso mantiene del cuerpo en movimiento. En pacientes que sufren tan importante lesión, el desuso, el dolor y la inmovilización prolongada pueden provocar una disociación perceptiva del miembro afectado, dificultando la planificación motora y la recuperación de la marcha (Carroll et al., 2006; Bordoni & Zanier, 2013). De este modo, la fractura de cadera no solo produce un déficit físico evidente, sino también una alteración en la conciencia corporal.

Inmovilización prolongada y sus efectos en el adulto mayor

La inmovilización prolongada, entendida como la restricción parcial o total del movimiento de un individuo debido a reposo, hospitalización o cirugía, genera efectos perjudiciales en múltiples sistemas del organismo. Su impacto es marcado en adultos mayores, quienes presentan una reserva funcional reducida y una mayor vulnerabilidad a los cambios inducidos por la inactividad (Galván et al. 2022). Un factor determinante en este proceso es la sarcopenia, entendida como la pérdida progresiva de masa muscular, fuerza y capacidad física. Esta condición, altamente prevalente en adultos mayores, no solo predispone a las fracturas, sino que acelera el deterioro funcional tras períodos de reposo o inactividad, al reducir el umbral de tolerancia frente al desuso muscular (Galván et al., 2022).

La falta de carga mecánica sobre el músculo provoca una rápida pérdida de masa muscular (atrofia), disminución de la fuerza y alteraciones en la activación motora voluntaria. Dirks et al. (2016) demostraron que solo una semana de reposo en adultos sanos puede inducir una pérdida de 1,4 kg de masa magra, una disminución del área muscular del cuádriceps de un 3,2 %, y una reducción de la fuerza de entre 6 y 7 %. Por otro lado, Wall et al. (2024), demostraron que en adultos mayores sanos sometidos a inmovilización unilateral durante 14 días, la atrofia del cuádriceps alcanzó un 17% acompañada de reducción de la fuerza, comprometiendo uno de los músculos esenciales para la bipedestación.

Asimismo, la inmovilización favorece el desarrollo de hipovolemia relativa, hipotensión ortostática, alteración del patrón respiratorio diafrágmático con hipoventilación basal y riesgo de trombosis venosa profunda, lo que aumenta las tasas de complicaciones hospitalarias (Wall et al. 2013). La disminución del bombeo muscular de los miembros inferiores y la estasis venosa

secundaria al reposo favorecen la formación de trombos, especialmente en adultos mayores con comorbilidades cardiovasculares (Brotzman & Wilk, 2017).

La inmovilización también afecta la excitabilidad cortical y la conexión entre sistema nervioso central y musculatura periférica. Existe una disminución en la frecuencia de activación de unidades motoras, deterioro del control motor y pérdida de sinergias neuromusculares eficientes, afectando la ejecución del movimiento incluso tras recuperar la movilidad (Lecce et al., 2025). De esta forma, la coexistencia de fractura de cadera e inmovilización prolongada constituye un círculo vicioso que profundiza la debilidad, la dependencia y la pérdida de autonomía del paciente.

Intervención quirúrgica

La fractura de cadera en adultos mayores es una urgencia quirúrgica que, idealmente, debería resolverse dentro de las primeras 48 horas del ingreso hospitalario. En Argentina, los protocolos clínicos vigentes recomiendan la elección del procedimiento quirúrgico en función de la edad biológica del paciente, el tipo de fractura y el estado funcional previo. Las fracturas intracapsulares desplazadas suelen tratarse mediante artroplastia parcial o total, mientras que las extracapsulares o no desplazadas pueden requerir osteosíntesis con clavos intramedulares o placas (Garabano et al., 2020; CISFraCAM, 2021).

En la práctica clínica habitual, el abordaje temprano no siempre es llevado a cabo. El CISFraCAM (2021) destaca que la demora quirúrgica en Argentina muchas veces no responde a factores médicos, sino a cuestiones estructurales como la escasez de materiales, la falta de quirófanos disponibles o los tiempos administrativos prolongados para la autorización de prótesis. Este retraso, frecuente en hospitales públicos, puede extender el período de inmovilización incluso más allá de las 72 horas, lo que incrementa el riesgo de complicaciones sistémicas y funcionales (Garabano et al., 2020; Sanguino, 2017).

El retraso quirúrgico en adultos mayores con fractura de cadera se asocia de manera directa con un aumento en la morbilidad, el deterioro general y la mortalidad a corto y mediano plazo. En particular, se ha observado que intervenciones realizadas luego de las primeras 48 horas post-fractura incrementan el riesgo de complicaciones como infecciones respiratorias, tromboembolismo, úlceras por presión y descompensación de comorbilidades preexistentes (Calvo et al., 2020; CISFraCAM, 2021). La espera quirúrgica se traduce entonces en un período de inmovilización absoluta o relativa, durante el cual el paciente permanece en cama

para evitar desplazamientos de la fractura o mayor dolor. El reposo forzado genera efectos adversos en la población geriátrica, que ya presentan una reducción basal de masa muscular y reserva funcional (Revista Argentina de Reumatología, 2022).

Frente a este panorama, el consenso argentino CISFraCAM (2021) remarca la necesidad de diseñar intervenciones eficaces que contemplen estrategias preventivas durante el período de espera quirúrgica, lo que refuerza la pertinencia de investigar enfoques alternativos como el entrenamiento cruzado.

Entrenamiento cruzado

En un principio, comprender el funcionamiento del sistema neuromuscular permite explicar por qué el movimiento activo actúa como un estímulo protector y, por el contrario, por qué el desuso acelera el deterioro (Powers & Howley, 2020). El sistema neuromuscular está formado por estructuras especializadas que interactúan para generar movimiento voluntario, mantener el tono postural y responder a estímulos externos. Su unidad funcional básica es la unidad motora, compuesta por una motoneurona alfa y las fibras musculares que inerva. La adecuada función y coordinación de estas unidades permiten regular tanto la fuerza como la precisión del movimiento. La contracción muscular depende de la transmisión del impulso nervioso desde la corteza motora hasta la placa neuromuscular, donde la liberación de acetilcolina desencadena la despolarización de la fibra muscular y el acoplamiento excitación-contracción, proceso modulado de forma continua por el sistema nervioso central (Powers & Howley, 2020).

En la población adulta, cuando se interrumpen las actividades de la vida diaria debido a inmovilización o reposo prolongado, se desencadena una disminución de la excitabilidad neuromuscular, menor reclutamiento de unidades motoras y atrofia de fibras tipo II (Powers & Howley, 2020). Esta situación es crítica en adultos mayores, cuya reserva fisiológica suele ser menor debido a la edad y a estilos de vida sedentarios. En Argentina, el 52,8% de los adultos mayores no cumple con las recomendaciones mínimas de actividad física (Ministerio de Salud de la Nación, 2021), lo que constituye un factor de riesgo silencioso para la pérdida acelerada de masa y fuerza muscular. Ante un evento disruptivo como una fractura de cadera, esta baja reserva inicial, combinada con la inmovilización, incrementa el riesgo de dependencia y limita la recuperación funcional. La ausencia prolongada de estímulos motores y sensoriales procedentes del miembro inmovilizado induce una disminución de la excitabilidad cortical y una

reducción de la eficacia sináptica en las redes neuronales implicadas en su control. Este fenómeno sináptico conduce a una menor conectividad entre las áreas motoras y somatosensoriales, lo que genera una reorganización cortical regresiva de los patrones de movimiento previamente consolidados, dificultando su recuperación posterior (Carroll et al., 2006; Lee & Carroll, 2007). Por ello, resulta fundamental intervenir antes de que el deterioro se consolide, empleando la plasticidad inherente del sistema nervioso para mantener la organización motora y sensorial, incluso en ausencia de carga sobre el segmento lesionado (Carroll et al., 2006; Lee & Carroll, 2007).

Ante este desafío, se introduce el entrenamiento cruzado (EC), también conocido como cross-education o educación cruzada, describe el proceso por el cual el entrenamiento unilateral de un miembro genera incrementos de fuerza y mejoras funcionales en el miembro contralateral no entrenado (Carroll et al., 2006; Hendy et al., 2012). Su mecanismo fundamental radica en adaptaciones neurales más que en cambios estructurales musculares, lo que explica por qué sus efectos se observan incluso en ausencia de actividad directa o carga mecánica sobre el miembro afectado.

El estudio de este fenómeno no es reciente; fue descrito por primera vez en 1894 por Edward Wheeler Scripture, junto con G. Smith y T. Brown (Scripture et al., 1894). Los investigadores observaron que el entrenamiento repetido de un solo brazo producía un incremento de fuerza en el brazo opuesto, aun sin haber sido ejercitado directamente. Dicho hallazgo fue publicado en el Yale Psychological Laboratory bajo el título *On the Education of Muscular Control and Power*, sentando las bases para el estudio del efecto cruzado del entrenamiento unilateral. A lo largo del siglo XX, distintas investigaciones continuaron investigando este proceso en diversos grupos musculares y contextos experimentales.

Bases neurofisiológicas

Según la literatura existente, el EC tiene sus bases en procesos neuroplásticos que actúan tanto a nivel cortical como espinal. Se ha demostrado que las ganancias de fuerza contralateral no se deben a cambios morfológicos en el músculo, sino a adaptaciones del sistema nervioso central. En particular, dos modelos explicativos predominan en la literatura: el modelo de activación cruzada y el modelo de acceso bilateral (Ruddy & Carson, 2013; Carson, 2005). El modelo de activación cruzada postula que el entrenamiento unilateral involucra simultáneamente ambas cortezas motoras, lo que favorece la comunicación interhemisférica y

reduce su inhibición, permitiendo una mayor excitabilidad en la corteza del hemisferio no entrenado (Ruddy & Carson, 2013; Carson, 2005). Por otro lado, el modelo de acceso bilateral sostiene que ambos hemisferios acceden a un mismo engrama motor, permitiendo transferencias sin necesidad de activación bilateral simultánea (Frazer et al., 2018). Las adaptaciones corticales se reflejan en modificaciones descendentes a nivel espinal, donde se observa una mayor excitabilidad de las motoneuronas alfa y una modulación más eficiente del reclutamiento de unidades motoras.

Investigaciones recientes han identificado incrementos en la frecuencia de descarga, reducción del umbral de reclutamiento y aumento de la coherencia entre unidades motoras en músculos no entrenados, es decir, una mayor correlación de frecuencia entre las señales de descarga de diferentes unidades motoras, lo que evidencia una mayor salida motora desde las vías corticoespinales hacia la médula espinal (Lecce et al., 2025). Estos hallazgos han sido verificados mediante electromiografía de alta densidad (HD-EMG), una técnica que permite el registro y análisis longitudinal de la actividad de unidades motoras individuales con alta resolución espacial y temporal, tanto durante como después del entrenamiento (Del Vecchio et al., 2020; Martinez-Valdes et al., 2017).

Aplicaciones clínicas del entrenamiento cruzado

Una de las áreas clínicas donde el entrenamiento cruzado ha demostrado relevancia es en la rehabilitación neurológica, particularmente en pacientes con accidente cerebrovascular (ACV). En estos casos, la pérdida de la función motora en uno de los hemicuerpos suele comprometer significativamente la independencia del paciente, dificultando los abordajes convencionales de terapia física en la etapa aguda (Hendy et al., 2012).

El estudio de Zult et al. (2014) propone una hipótesis no probada pero conceptualmente justificada: que el entrenamiento cruzado combinado con la terapia de espejo podría aumentar la transferencia de la función motora a la extremidad en reposo. Tal situación se atribuye a la activación del sistema de neuronas espejo (MNS) a través de la ilusión visual creada por la imagen espectral del miembro activo, superpuesta sobre el miembro no activo. En este sentido, la revisión sugiere que la combinación de la educación cruzada con el entrenamiento de espejo puede acelerar aún más la recuperación funcional en pacientes con afecciones ortopédicas y neurológicas. Asimismo, la revisión sistematizada de Gamboa Gutiérrez y Jerez Alba (2023) aporta evidencia de que la combinación de educación cruzada y terapia de espejo

en personas que padecieron un accidente cerebrovascular puede generar mejoras significativas en fuerza, control motor y funcionalidad del miembro afectado. Los beneficios se observaron tanto en fases agudas como crónicas, y se potenciaron al combinar la educación con terapia de espejo, alcanzando una mayor magnitud de transferencia motora (61 % frente al 34 % de la terapia convencional), además de mejoras en la marcha, la espasticidad y las actividades de la vida diaria.

De manera similar, Ehrensberger et al. (2016) observaron que la integración temprana de la educación cruzada en programas de rehabilitación post-ACV reduce la dependencia funcional. También sugiere que el entrenamiento cruzado ha sido implementado en pacientes post-ACV que se encuentran en etapas con espasticidad que varía de leve a moderada, más que en una fase de flacidez severa. De hecho, el propio artículo sugiere que los "niveles más altos de espasticidad podrían reducir la capacidad de ganar fuerza", lo que implica una consideración importante para la efectividad de la intervención en diferentes grados de afectación.

Por otro lado, en pacientes con fracturas, como las de extremidades superiores, el entrenamiento unilateral ha mostrado capacidad para mitigar la pérdida de fuerza y mejorar la recuperación funcional, siendo beneficioso en adultos mayores. Magnus et al. (2013) documentaron beneficios en la fuerza y movilidad de miembros inmovilizados por fractura distal de radio, entrenando el brazo contralateral.

Del mismo modo, Harput et al. (2019) reportaron que incluir la educación cruzada en la rehabilitación tras una cirugía de ligamento cruzado anterior facilitó la recuperación del cuádriceps operado en jóvenes y adultos activos. La intervención consistió en entrenar la pierna no lesionada mediante ejercicios de fuerza progresiva, con el objetivo de inducir adaptaciones neuromusculares en la pierna operada. Los resultados más relevantes mostraron que los participantes que realizaron un entrenamiento unilateral presentaron una menor pérdida de fuerza y una recuperación más rápida en comparación con quienes siguieron protocolos convencionales, destacándose mejoras significativas en la extensión y flexión de rodilla, así como en la simetría entre ambas extremidades.

En conjunto, los hallazgos revisados demuestran la viabilidad del entrenamiento cruzado en diferentes condiciones neuromusculares y ortopédicas (véase Tabla 1).

Tabla 1

Resumen de estudios más destacados sobre el entrenamiento cruzado

Autor/Año	Tipo de estudio	Población	Intervención	Resultados
Lee & Carroll (2007)	Revisión teórica	No aplica	Entrenamiento unilateral de resistencia.	El EC es primariamente una adaptación neural central (cortical/espinal), no muscular.
Manca et al. (2018)	Rev. sistemática y metaanálisis	Revisión de RCTs	Entrenamiento unilateral de fuerza.	La ganancia de fuerza contralateral se asocia al aumento de la excitabilidad cortical (MEP) en el hemisferio no entrenado.
Lecce et al. (2025)	Investigación original	Sujetos jóvenes sanos.	4 semanas de entrenamiento unilateral (MMSS).	La transferencia de fuerza se debe a adaptaciones de la unidad motora en el músculo homólogo no entrenado.
Pearcey et al. (2022)	Investigación experimental	Mujeres	Entrenamiento unilateral de control muscular.	El EC transfiere control motor especializado y fuerza. Subraya la representación cortical en la transferencia de habilidades.
Zult et al. (2013)	Revisión teórica	No aplica	Entrenamiento unilateral con y sin espejo.	Hipótesis de la activación de neuronas espejo (MNS) para mejorar la transferencia de función motora.
Harput et al. (2018)	Ensayo clínico aleatorizado (RCT)	48 pacientes post-LCA (4 semanas).	8 semanas de Isocinético en rodilla sana (conc. vs. exc.).	Ambas modalidades mejoraron la fuerza en rodilla operada. El entrenamiento excéntrico fue ligeramente más eficaz en la transferencia.

Ehrensberger et al. (2016)	Revisión sistemática	Pacientes con Accidente Cerebrovascular (ACV).	Entrenamiento unilateral de fuerza.	Confirma que la EC tiene un impacto positivo en la rehabilitación post-ACV.
Rowe et al. (2024)	Ensayo cuasi-aleatorizado	26 participantes entrenados (MMSS).	4 semanas de entrenamiento unilateral + desentrenamiento	El EC puede atenuar la pérdida de fuerza y el declive funcional durante el posterior periodo de inactividad/desentrenamiento.

Implicancias de la fuerza muscular dentro de la educación cruzada

Los hallazgos clínicos encuentran sustento en las bases fisiológicas del entrenamiento cruzado, utilizando el ejercicio de fuerza. La elección de la fuerza como principal modalidad dentro del EC no es arbitraria: normalmente, el entrenamiento de fuerza induce cambios centrales y periféricos. A nivel del sistema nervioso, se observa un aumento en la excitabilidad cortical y reclutamiento de unidades motoras (Santos-Concejero et al., 2017).

Entre los distintos tipos de contracción muscular, las isométricas constituyen la forma más segura y aplicable en etapas tempranas de rehabilitación, mientras que las excéntricas pueden generar una transferencia contralateral ligeramente superior, atribuida a su mayor demanda de control cortical (Carroll et al., 2006; Hendy et al., 2012; Manca et al., 2018). No obstante, la evidencia indica que la intensidad del esfuerzo voluntario es el principal determinante de la magnitud del efecto cruzado, más que el tipo de contracción en sí.

El músculo esquelético cumple una función endocrina activa mediante la liberación de mioquinas y otras sustancias bioactivas en respuesta a la contracción muscular, como se muestra en la Figura 1. Entre los principales mediadores se encuentran el factor de crecimiento similar a la insulina tipo 1 (IGF-1), la interleucina-6 (IL-6) y el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), cuyo impacto trasciende la hipertrofia muscular e involucra procesos de neuroplasticidad, reparación tisular y modulación del dolor (Santos-Concejero et al., 2017). La

acción de estas moléculas adquiere especial relevancia en adultos mayores con fractura de cadera, población que suele presentar sarcopenia, inflamación crónica de bajo grado y deterioro funcional asociado al desuso (Galván et al., 2022; Vargas-Pacheco & Correa-López, 2022). En ese escenario, la contracción unilateral podría operar como un estímulo sistémico capaz de atenuar procesos catabólicos mediados por citocinas proinflamatorias, al tiempo que favorece la activación de vías reparadoras dependientes de mioquinas. El entrenamiento de fuerza aplicado dentro del enfoque de educación cruzada no solo compromete circuitos neuromusculares centrales, sino que también generaría respuestas endocrinas con efecto protector a nivel multisistémico.

Las investigaciones sobre analgesia inducida por ejercicio corroboran este planteo. Se ha observado que las contracciones isométricas en segmentos no comprometidos pueden generar hipoalgesia transitoria tanto local como heterotópica, lo que evidencia la participación de mecanismos centrales de modulación descendente y la liberación de mediadores analgésicos endógenos (Koltyn, 2000; Vaegter et al., 2020). En la misma línea, Vaegter y Jones (2017) documentaron una reducción significativa del dolor en personas con dolor crónico luego de la activación isométrica de grupos musculares no dolorosos, independientemente de la etiología. Estos hallazgos apoyan la posibilidad de aplicar contracciones unilaterales en el miembro sano de un adulto mayor con fractura de cadera, induciendo episodios breves de hipoalgesia que, además de aliviar momentáneamente la sintomatología, podrían contribuir a desviar la atención del foco doloroso y reduciendo la sensación de amenaza percibida por el sistema nervioso central, modulando las respuestas de hipervigilancia y tensión muscular asociadas.

El dolor, tanto preoperatorio como postoperatorio, constituye una de las principales barreras para el inicio temprano de la rehabilitación en fracturas de cadera. En pacientes adultos mayores, esta condición no solo compromete el confort, sino que limita directamente la movilidad precoz y reduce el compromiso con las intervenciones terapéuticas. Se ha documentado que niveles elevados de dolor (especialmente durante el movimiento o la carga parcial) disminuyen la adherencia a los programas de rehabilitación, dificultan la marcha asistida y prolongan el tiempo de recuperación (Galván et al., 2022; Lecce et al., 2025).

En Argentina, el dolor es una problemática clínica subestimada en muchas instituciones de salud. Según el consenso del Comité Interdisciplinario de Fractura de Cadera en el Adulto Mayor (CISFraCAM), uno de los principales desafíos en los hospitales públicos es la escasa

implementación de protocolos estandarizados de analgesia multimodal. La falta de recursos materiales, la rotación de profesionales y el enfoque centrado únicamente en lo quirúrgico contribuyen a un manejo insuficiente del dolor, lo que repercute en la calidad y oportunidad de la rehabilitación (CISFraCAM, 2021).

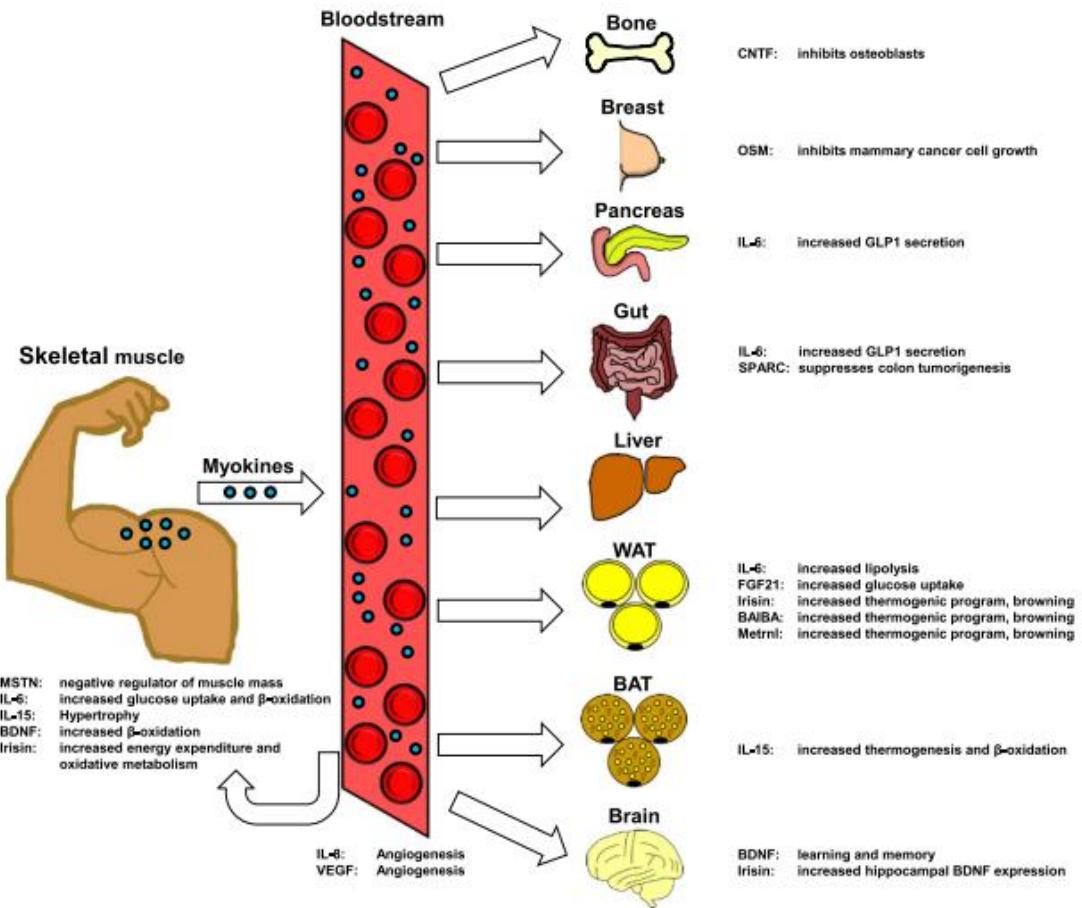


Figura 1

Efectos endocrinos del músculo esquelético mediante mioquinas.

De Aoi & Sakuma (2014), *Ingenious function of skeletal muscle as a secretory organ: Its crucial role for cancer prevention*, *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 3(2), 211–220. <https://doi.org/10.7600/jpfsm.3.211>

Demoras quirúrgicas como oportunidad terapéutica

Si bien el sistema público de salud argentino tiene la obligación de garantizar la atención de estos casos de manera urgente, la sobrecarga estructural y las limitaciones económicas frecuentes generan demoras en el acceso al material quirúrgico necesario, como prótesis o sistemas de osteosíntesis. En muchos hospitales del país, especialmente fuera de grandes centros urbanos, las intervenciones pueden posponerse varios días por cuestiones administrativas o de logística, a menos que el paciente o su entorno familiar adquieran el implante por sus medios, lo cual implica un gasto significativo y muchas veces inaccesible para la población afectada (Garabano et al., 2020).

Durante el lapso de espera quirúrgica, se plantea una ventana de oportunidad para la intervención temprana del servicio de kinesiología (Galván et al., 2022; Dirks et al., 2016). La intervención kinesiológica en etapas previas a una cirugía (incluso durante la internación en sala) cumple un rol preventivo y preparatorio que impacta de forma positiva en la evolución posterior del paciente. Este abordaje temprano no se restringe únicamente a personas con lesiones ortopédicas, sino que forma parte de protocolos clínicos consolidados en diversas áreas de la salud. Por ejemplo, en pacientes internados que permanecen inmovilizados por patologías médicas agudas, sin fracturas o lesiones unilaterales, la movilización temprana bajo supervisión kinesiológica busca prevenir complicaciones asociadas al reposo prolongado, como la atrofia muscular, el deterioro cardiovascular, úlceras por presión y el riesgo de tromboembolismo. Del mismo modo, en cirugía cardíaca programada, comúnmente recomiendan intervenciones preoperatorias que incluyen educación sobre higiene bronquial, técnicas de tos asistida y respiración diafragmática, con el fin de reducir el riesgo de complicaciones respiratorias y facilitar la recuperación postoperatoria (Izquierdo et al., 2021).

Estas acciones comparten una lógica común: preparar al organismo para afrontar de una mejor manera el evento clínico. En este sentido, el entrenamiento cruzado puede entenderse como una herramienta similar (Izquierdo et al., 2021). A través de la estimulación controlada de segmentos corporales no afectados, se promueve una estimulación neuromuscular indirecta que podría favorecer la preservación de la función general, mitigar los efectos del desuso y, eventualmente, facilitar la rehabilitación luego del acto quirúrgico, siendo la movilización y deambulación precoz dentro de las 48 horas uno de los objetivos principales.

El enfoque de intervención temprana, sustentado tanto en la necesidad asistencial como en la evidencia fisiológica, se relaciona con lo que en la literatura se ha denominado una “ventana crítica” de plasticidad. En el ámbito de la neurorehabilitación, se reconoce que los primeros días posteriores a una lesión representan un período en el cual el sistema nervioso central presenta una mayor sensibilidad a los estímulos motores, favoreciendo preservación de conexiones sinápticas (Lundbye-Jensen et al., 2011). Aunque este concepto se ha estudiado principalmente en lesiones neurológicas, investigaciones recientes sugieren que un proceso similar ocurre tras períodos de inmovilización, donde los cambios en la excitabilidad neuromuscular y la rápida pérdida de fuerza evidencian la importancia de iniciar estrategias preventivas o compensatorias en fases tempranas (Powers & Howley, 2020). Así, la decisión de iniciar un abordaje kinésico en la etapa prequirúrgica no responde únicamente a una lógica funcional, sino también neurofisiológica en contextos hospitalarios donde los tiempos quirúrgicos se ven demorados.

Por otro lado, los efectos del EC no se limitarían solo al sistema neuromuscular, también podría contribuir al mantenimiento de la integridad tensional de las estructuras fasciales, favoreciendo así la conciencia corporal y la organización del mapa sensoriomotor, siendo relevante en adultos mayores sedentarios en quienes la falta de estimulación mecánica provoca una degradación progresiva de la fascia, caracterizada por un aumento de la rigidez, fibrosis, pérdida de elasticidad y una reducción del contenido de ácido hialurónico, afectando la entrada sensorial y la calidad del control motor (Wilke et al., 2019). Como se mencionó anteriormente, en la región de la cadera la fascia lata y el tracto iliotibial cumplen un papel importante en la transmisión de fuerzas entre la pelvis y los miembros inferiores, en continuidad con las expansiones fasciales de los glúteos y los músculos del muslo. A su vez, la fascia toracolumbar y las fascias pélvicas generan un entramado que conecta de manera indirecta ambos miembros inferiores a través del sacro y la pelvis, facilitando la distribución tensional durante la marcha y los ajustes posturales (Wilke et al., 2019; Rouvière & Delmas, 2005). Teóricamente, el abordaje indirecto de dichas estructuras mediante la estimulación del miembro contralateral podría ayudar a preservar el control postural, incluso antes de la deambulación, al estimular patrones motores globales (Lee & Carroll, 2007; Fimland et al., 2009; Lecce et al., 2025). Aunque la evidencia clínica aún es limitada, desde el enfoque de las cadenas musculares se plantea que la estimulación mecánica y neuromuscular en un sector de la cadena influye sobre todo el recorrido de las cadenas que intervienen en ella, preservando la integridad tensional (Busquet, 2010).

A partir de la comprensión integrada de los sistemas neuromuscular y miofascial, surge la necesidad de considerar además la participación de los músculos estabilizadores centrales dentro de los programas basados en entrenamiento cruzado. Si bien la mayoría de las intervenciones tradicionales se han centrado en grupos musculares periféricos, la evidencia sobre el rol de la estabilidad central y su influencia en la modulación postural sugiere que su inclusión podría optimizar la deambulación posterior a la cirugía.

El diafragma, músculo principal de la respiración, constituye además un componente primordial de la denominada “unidad central de estabilización”, junto con el transverso del abdomen, los multifídicos y el suelo pélvico, formando un sistema de presión que regula la presión intraabdominal (PIA), favoreciendo la estabilidad lumbopélvica desde el interior del tronco (Hodges & Gandevia, 2000). Durante la inspiración, la contracción diafragmática incrementa la PIA que contribuye a sostener el tronco como una base sólida para la ejecución de movimientos de las extremidades, especialmente en bipedestación y marcha.

La contracción sinérgica del diafragma y los estabilizadores profundos del tronco facilita la transmisión de cargas entre el tronco y los miembros inferiores. Este patrón responde a un mecanismo de control postural anticipatorio que pone en funcionamiento incluso antes del movimiento voluntario (Hodges & Tucker, 2011; Sato Martínez et al., 2023). Dicho mecanismo se observa en tareas que exigen estabilidad dinámica, como los cambios posturales, el inicio de la marcha o movimientos que involucran a las extremidades superiores. (Duarte et al., 2022; Sato Martínez et al., 2023). Sin embargo, el ajuste postural anticipado (APA) tiende a deteriorarse con el envejecimiento, lo que compromete la eficiencia del control motor y la estabilidad general del individuo (Sato Martínez et al., 2023).

Asimismo, la organización cortical del tronco y de los miembros inferiores presenta áreas de solapamiento somatotópico, lo cual facilita la co-modulación de ambos territorios bajo un mismo comando neural. La relación somatotópica explicaría de forma teórica la transferencia cruzada de información sensoriomotora y explica por qué estímulos aplicados sobre el eje axial, como la respiración diafragmática o la estimulación de estabilizadores profundos, pueden repercutir sobre circuitos motores distales, incluso en ausencia de movimiento directo (Bordoni & Zanier, 2013).

En adultos mayores con fractura de cadera y movilidad reducida, el trabajo respiratorio y la intervención sobre los estabilizadores profundos del tronco pueden contribuir a preservar

redes motoras implicadas en la bipedestación y la marcha. Este tipo de estimulación favorece la reorganización cortical, sostiene el esquema corporal y conserva las sinergias neuromusculares necesarias para el control postural incluso en condiciones de descarga o inmovilización (Carroll et al., 2006; Lee & Carroll, 2007).

Entonces, entrenamiento cruzado aplicado de forma estratégica durante el periodo prequirúrgico, permitiría estimular estructuras implicadas a través del abordaje indirecto, utilizando la plasticidad del sistema nervioso y la interconectividad entre hemisferios y segmentos corporales (Carroll et al., 2006; Lee & Carroll, 2007). Esta estimulación neuromuscular temprana sienta las bases para una mejor respuesta postquirúrgica y una rehabilitación más eficiente, lo que resulta relevante en pacientes que ya partían de un perfil funcional reducido y sin antecedentes de entrenamiento físico sistemático, como suele ocurrir en los adultos mayores sedentarios (Ministerio de Salud de la Nación Argentina, 2021).

Los resultados actuales de la literatura permiten estimar que los efectos del entrenamiento cruzado pueden manifestarse en un período relativamente breve, compatible con los tiempos de internación hospitalaria. Lecce et al. (2025a) demostraron que ocho semanas de entrenamiento unilateral de resistencia fueron suficientes para generar un aumento del 10 % en la fuerza voluntaria máxima del miembro no entrenado, junto con una reducción de los umbrales de reclutamiento de las unidades motoras y un incremento en la tasa de descarga neural. Dichas adaptaciones reflejan una mejora en la eficiencia de las vías motoras y la activación interhemisférica, mecanismos centrales para la transferencia contralateral de fuerza. En otro estudio del mismo grupo, Lecce et al. (2025b) observaron que estas modificaciones neuronales pueden evidenciarse incluso luego de cuatro semanas de intervención, con incrementos en la estabilidad de la fuerza y en el control motor del miembro no ejercitado.

El conjunto de resultados anteriores sugiere que la aplicación de un protocolo de entrenamiento cruzado durante un período de internación de entre 2 y 3 semanas podría favorecer la preservación de la función en el miembro afectado, incluso sin movilidad directa sobre este. No obstante, esta proyección se basa en la extrapolación de beneficios observados en otros entornos sanitarios y requiere confirmación mediante estudios específicos en pacientes con fractura de cadera. Su capacidad para inducir adaptaciones neuromusculares en plazos breves brinda un sustento teórico suficiente para el desarrollo de propuestas orientadas a la práctica clínica. A partir de estos fundamentos, se expone a continuación un protocolo

teórico de intervención diseñado para su posible aplicación en pacientes adultos mayores con fractura de cadera en el ámbito hospitalario argentino.

Propuesta de protocolo teórico de intervención basado en entrenamiento cruzado

El presente protocolo se desarrolla en el contexto clínico de un paciente adulto mayor con fractura de cadera en fase prequirúrgica, condición que constituye una situación prevalente en el sistema de salud argentino. Durante este período, el paciente permanece en posición de decúbito supino y con movilidad restringida, debido a las limitaciones impuestas por la fractura y a la necesidad de evitar desplazamientos que puedan comprometer la estabilidad del foco lesional. Con lo anteriormente expuesto, las intervenciones propuestas se diseñan para ser aplicadas íntegramente en cama, bajo supervisión profesional.

Identificación de pacientes candidatos

La Sociedad Argentina de Gerontología y Geriatría (SAGG, s.f.) emplea los términos paciente anciano, adulto mayor y geronte de manera indistinta, y establece una clasificación funcional que distingue entre ancianos sanos, ancianos enfermos y ancianos frágiles. Los ancianos sanos son aquellos que, a pesar de su edad, no presentan enfermedades crónicas ni limitaciones funcionales; los ancianos enfermos son individuos previamente sanos que han desarrollado una patología aguda; y los ancianos frágiles son personas con un nivel de independencia vulnerable, que puede verse comprometido rápidamente por factores ambientales o clínicos adversos. Esta diferenciación resulta fundamental, ya que permite identificar a los pacientes que podrían beneficiarse de un protocolo de entrenamiento cruzado durante la internación prequirúrgica por fractura de cadera. En adultos mayores sanos o con patologías agudas compensadas, la intervención puede orientarse a preservar la fuerza y la función neuromuscular. En cambio, en pacientes frágiles, los objetivos deben reevaluarse y centrarse en la seguridad, la estimulación neuromotora y la prevención del deterioro funcional, adaptando el tratamiento a la tolerancia individual.

Criterios de selección

- Autorización por parte del equipo médico.
- Cirugía programada con demora.
- Hemodinámicamente estables.
- Dolor leve a moderado según escalas de valoración de dolor.

- Escala de Glasgow (GCS): $\geq 14/15$ puntos.

Excluir

- Anticoagulación inestable.
- Fracturas múltiples.
- Delirium/agitación no controlada.
- Dolor agudo no manejado.
- Inestabilidad hemodinámica.
- Compromiso vascular y/o musculoesquelético del miembro contralateral a la lesión.

Evaluación inicial

Inspección

- Estado general: nivel de conciencia, orientación, inquietud, miedo.
- Nivel de dolor: puede ser evaluado mediante la Escala Numérica del Dolor (NRS), herramienta recomendada para adultos mayores por su simplicidad y validez clínica (AGS, 2022).
 - Actitud postural: posición antálgica, deformidad, acortamiento aparente.
 - Estado respiratorio y cardiovascular: frecuencia respiratoria, uso de músculos accesorios, oxígeno suplementario, coloración de piel y mucosas.
 - Piel y partes blandas: integridad de la piel, coloración, riesgo de úlceras por presión, presencia de hematomas, edema, infecciones o heridas abiertas.

Palpación

- Miembro afectado: edema, temperatura, trofismo, pulsos distales (pedio, tibial posterior) en comparación con el miembro contralateral.

Evaluación cardiorrespiratoria

Se realiza una valoración clínica del patrón ventilatorio y del esfuerzo respiratorio, observando la movilidad torácica y la participación diafragmática durante la inspiración. Se registran signos vitales (frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno) y se verifica la presencia de tos inefectiva o acumulación de secreciones, con el fin de detectar

riesgo de complicaciones respiratorias derivadas de la inmovilización. En caso de contar con estudios complementarios (gasometría, radiografía o laboratorio), se integran al análisis funcional. Este registro inicial es fundamental para determinar la tolerancia al esfuerzo y adaptar la intensidad del entrenamiento cruzado en pacientes frágiles o con comorbilidades cardiopulmonares.

Evaluación del rango de movimiento

Miembro afectado: con la utilización de un goniómetro solo se evalúa la movilidad distal (articulación tibioperoneoastragalina), previa autorización médica, evitando cualquier movimiento que comprometa la estabilidad de la fractura.

Miembro contralateral sano: se exploran los rangos de movimiento de cadera, rodilla y tobillo, registrando posibles limitaciones dolorosas o compensaciones. Este parámetro permite establecer los márgenes articulares dentro de los cuales se planificará el entrenamiento unilateral.

Evaluación de la fuerza muscular

Miembro inferior sano: se valoran los principales grupos musculares (psoas, cuádriceps, isquiosurales, glúteos, abductores y aductores) mediante la escala de Daniels u otra herramienta estandarizada. Este dato permite seleccionar la carga inicial del entrenamiento.

Miembros superiores: se registran la fuerza prensil y la fuerza en bíceps, tríceps y deltoides debido a su rol en transferencias y apoyo con dispositivos de marcha, así como también la movilidad escapular. En pacientes con riesgo de sarcopenia, se recomienda aplicar el cuestionario SARC-F o registrar la fuerza de agarre como indicador funcional inicial.

Observaciones y precauciones

La evaluación debe ser realizada bajo supervisión profesional, respetando el umbral de dolor, el nivel de fatiga y el estado general del paciente. Se recomienda controlar la respuesta autonómica (mareos, sudoración, palidez o hipotensión) y registrar cualquier reacción adversa para ajustar el protocolo en forma segura y progresiva.

Protocolo de tratamiento

Fase 1

Objetivos:

- Preservar la mecánica respiratoria normal y prevenir complicaciones pulmonares.
- Estimular musculatura accesible para prevenir síndrome de desuso.
- Favorecer circulación periférica y retorno venoso.
- Promover la participación activa del paciente.
- Disminuir la percepción de dolor y temor al movimiento.

Intervenciones:

1. Educación al paciente y familia

- Brindar información clara sobre los objetivos del tratamiento, los beneficios del entrenamiento cruzado y las restricciones propias del cuadro. Favorecer la comprensión del proceso terapéutico y las expectativas realistas, promoviendo la participación activa desde el inicio.

2. Ejercicios respiratorios

- Reeducación del patrón respiratorio diafrágmático mediante técnicas de facilitación manual.
- Entrenamiento del ciclo respiratorio completo promoviendo la movilización diafrágmática y la expansión torácica progresiva.
- Durante la espiración, se incorpora la contracción sinérgica del músculo transverso del abdomen y del suelo pélvico.

3. Movilidad de la extremidad sana

- Movilización pasiva de tobillo, rodilla y cadera en rangos no dolorosos, progresando hacia la movilidad activo-asistida conforme a la tolerancia del paciente.
- Uso de estímulos verbales y táctiles en las zonas a movilizar para reforzar la respuesta motora y sensitiva.

4. Prevención de complicaciones venosas

- Movilidad específica de flexoextensión de tobillo para el abordaje de la bomba soleo-gemelar, frecuentes a lo largo del día para estimular el retorno venoso.

- Elevación ligera del miembro sano cuando esté permitido y vigilancia de signos de sobrecarga o fatiga.
- Se recomienda además la protección de las prominencias óseas y cambios posturales asistidos adaptados a la lesión para prevenir úlceras por presión.

Progresión a fase 2:

Paciente capaz de comprender y colaborar activamente con órdenes simples

Dolor controlado en reposo (escala < 5/10)

Estabilidad hemodinámica (sin mareos, desaturación o fatiga excesiva)

Fase 2

Objetivos:

- Favorecer la activación neuromuscular del miembro contralateral.
- Prevenir pérdida de fuerza en grandes grupos musculares.
- Estimular patrones de movimiento relacionados con la marcha.

Intervenciones:

1. Ejercicios respiratorios

- Se continúa con el entrenamiento respiratorio para reforzar la función de la musculatura profunda del abdomen con el fin de sostener la estabilidad central y reentrenar el ajuste postural anticipatorio.

2. Ejercicios isométricos del miembro sano

- Tríceps sural: realizar flexión plantar del tobillo contra resistencia o empujando el talón contra el apoyo.
- Cuádriceps femoral: extender la rodilla presionando la parte posterior contra el plano de apoyo.
- Psoas ilíaco: posición de flexión de cadera en rango no doloroso contra resistencia manual del terapeuta, a su vez que se flexiona la rodilla y tobillo.
- Isquiosurales: flexionar la rodilla empujando el talón contra la camilla.
- Aductores de cadera: presionar una almohada o toalla enrollada colocada entre ambas rodillas.

- Abductores de cadera: realizar presión lateral contra una banda elástica o la mano del terapeuta. Especial importancia al abordaje isométrico del músculo glúteo medio sano y tensor de la fascia lata, imprescindibles para la estabilidad de la pelvis durante la marcha y bipedestación, buscando transferir la función al lado afectado.

3. Movilidad activa contra resistencia leve a moderada

- Contracciones isotónicas en patrones funcionales:
- Flexión de cadera y rodilla: desde la posición de reposo, el paciente eleva lentamente la rodilla en dirección cefálica, realizando una flexión coordinada de cadera y rodilla contra la resistencia aplicada en la cara anterior del muslo o la tibia.
- Dorsiflexión de tobillo: con la pierna extendida, el paciente realiza dorsiflexión del tobillo contra la resistencia manual del terapeuta o una banda elástica colocada en la planta del pie.
- Introducir bandas elásticas suaves o resistencia manual.

4. Continuación de ejercicios para favorecer el retorno venoso.

Progresión a fase 3:

Capacidad de sostener contracciones isométricas sin compensaciones visibles.
Atención sostenida para integrar coordinación entre 2 segmentos corporales.
No aumento significativo de dolor post-ejercicio.

Fase 3

Objetivos:

- Incorporar estrategias de representaciones motoras (imagería motora), para potenciar la plasticidad cortical y facilitar la transferencia interhemisférica propia del entrenamiento cruzado.
 - Integrar y mejorar la función de los miembros superiores para predisponer al paciente a la futura marcha asistida.
 - Favorecer la coordinación y el control motor global.

Intervenciones

1. Control motor y coordinación del miembro sano

- Entrenamiento de secuencias rítmicas de flexión y extensión de rodilla combinadas con dorsiflexión de tobillo, y abducción-aducción sin generar tracción dolorosa, en ciclos progresivos.
- Se introducen variaciones leves de ritmo y velocidad para estimular los mecanismos de control motor.
- Durante la inspiración lenta, se coordina una contracción isométrica del miembro sano, integrando control respiratorio y estabilidad central.

2. Inclusión de elementos externos

- Empuje plantar en cama con miembro sano:

Colocar una pelota mediana o almohadón en la planta del pie contralateral. El paciente realiza empuje isométrico o dinámico (presiona, suelta) para una descarga de peso simulada, estímulo propioceptivo y mayor participación cortical.

- Desplazamiento de pelota en extensión de rodilla: con el talón apoyado sobre la pelota, el paciente la empuja hacia adelante y la retrae lentamente. Se trabajan variaciones de ritmo y control de velocidad, favoreciendo la coordinación y la retroalimentación táctil continua.

3. Integración de miembros superiores

- Prensión rítmica alterna con ambas manos mientras se mantiene una contracción isométrica de grupos musculares en el miembro inferior sano, con énfasis en la coordinación bimanual.

- Empuje de pared simulado: en decúbito supino, con codos flexionados a 90°, el paciente realiza empuje contra la resistencia manual del kinesiólogo, simulando el gesto de apoyo sobre un bastón o andador.

- Flexoextensión de codo con resistencia elástica o pesas livianas, enfocada en fortalecer bíceps y tríceps, músculos esenciales para incorporarse y manejar ayudas técnicas.

- Elevaciones frontales y laterales con resistencia leve, elevando hasta 90° para evitar compensaciones. Estas actividades promueven la movilidad escapular y la preparación funcional para el uso de dispositivos de apoyo.

Conclusión

La burocracia administrativa y los conflictos económicos entre instituciones sanitarias y proveedores de prótesis prolongan el periodo de internación durante días o semanas, exponiendo a los pacientes a complicaciones derivadas del reposo prolongado y a un malestar físico y emocional evitable. Detrás de esta situación subyace una problemática estructural que afecta con mayor severidad a los adultos mayores con menores recursos económicos, quienes dependen exclusivamente del sistema público y carecen de alternativas de atención inmediata.

Los avances recientes sobre el entrenamiento cruzado, particularmente aquellos basados en estudios longitudinales y en electromiografía de alta densidad, han permitido confirmar los mecanismos propuestos por las teorías iniciales, evidenciando adaptaciones neuromusculares que trascienden el miembro entrenado y promueven una reorganización funcional a nivel central y periférico. Reconociendo las bases fisiológicas, se amplían las oportunidades de la rehabilitación respaldando el potencial del entrenamiento cruzado como opción terapéutica en pacientes con fractura de cadera en periodos prequirúrgicos. No obstante, la evidencia disponible en este campo aún es preliminar y su extrapolación al sistema de salud argentino requiere ser validada empíricamente mediante estudios clínicos específicos.

El presente trabajo invita a reflexionar sobre la necesidad de un cambio de paradigma tanto en la práctica clínica como en la percepción social del proceso de recuperación del adulto mayor. Resulta imperativo abandonar la visión fragilizante del adulto mayor y adoptar el movimiento como un método curativo inherente al ser humano, promoviendo intervenciones que prioricen la educación, la participación activa y la perseverancia del paciente como pilares de la rehabilitación, aun en casos en donde parece contraindicado.

En síntesis, se sostiene que el entrenamiento cruzado podría constituir una estrategia factible para preservar la función neuromuscular y mitigar el deterioro producido por la inmovilización prolongada en esta población. Futuros diseños experimentales y estudios de implementación permitirán evaluar su resultado real, su aplicabilidad y su costo-efectividad dentro del contexto sanitario argentino.

Referencias

- Alquinga Mendoza, N., Macías García, C., Mendoza Solórzano, Á., Mieles Chilán, S., & Ponce Alencastro, J. A. (2023). Calidad de vida en personas mayores con fractura de cadera: Revisión actualizada. *Journal of Microbiology & Health Education*, 5(2), 235–249. <http://journalmhe.org>
- American Academy of Orthopaedic Surgeons. (2021). *Clinical practice guideline: Management of hip fractures in older adults*. <https://www.aaos.org/globalassets/quality-and-practice-resources/hip-fractures-in-the-elderly/hipfxcpg.pdf>
- American Geriatrics Society (AGS). (2022). *Guideline for the management of persistent pain in older persons*. Journal of the American Geriatrics Society, 70(S1), S1–S42.
- Brotzman, S. B., & Wilk, K. E. (2017). *Clinical orthopaedic rehabilitation: A team approach* (4.^a ed.). Elsevier.
- Aoi, W., & Sakuma, K. (2014). *Ingenious function of skeletal muscle as a secretory organ: Its crucial role for cancer prevention*. Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 3(2), 211–220. <https://doi.org/10.7600/jpfsm.3.211>
- Bement, M. K., & Sluka, K. A. (2005). Exercise-induced hypoalgesia: An evidence-based review. *Physical Therapy*, 85(12), 1351–1358. <https://doi.org/10.1093/ptj/85.12.1351>
- Bordoni, B., & Zanier, E. (2013). Skin, fascias, and scars: Symptoms and systemic connections. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 7, 11–24. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S52870>
- Busquet, L. (2010). *Las cadenas musculares: Tomo I. Miembros inferiores*. Paidotribo.
- Calvo, E., Borrella, I., Díaz-Dilernia, F., García-Rey, E., Gil-Garay, E., Martínez, A. A., & Góngora, J. M. (2020). Survival and functionality in the elderly over 85 years undergoing hip fracture surgery. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (English Edition)*, 64(6), 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2020.05.003>
- Carroll, T. J., Herbert, R. D., Munn, J., Lee, M., & Gandevia, S. C. (2006). Contralateral effects of unilateral strength training: Evidence and possible mechanisms. *Journal of Applied Physiology*, 101(5), 1514–1522. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00531.2006>
- Carson, R. G. (2005). Neural pathways mediating bilateral interactions between the upper limbs. *Brain Research Reviews*, 49(3), 641–662. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.03.005>

Comité Interdisciplinario de Fractura de Cadera en el Adulto Mayor (CISFraCAM). (2021). *Consenso interdisciplinario sobre fractura de cadera en el adulto mayor en Argentina*. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Ortopedia y Traumatología.

Del Vecchio, A., Casolo, A., Bazzucchi, I., & Felici, F. (2020). High-density surface electromyography: A powerful tool for investigating motor unit behavior. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 55, 102456.
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2020.102456>

Dirks, M. L., Wall, B. T., van de Valk, B., Holloway, T. M., Holloway, G. P., Chabowski, A., ... & van Loon, L. J. C. (2016). One week of bed rest leads to substantial muscle atrophy and induces whole-body insulin resistance in the absence of skeletal muscle lipid accumulation. *Diabetes*, 65(10), 2862–2875.
<https://doi.org/10.2337/db15-1661>

Duarte, M., Silva, F. G., & Mancini, M. (2022). Anticipatory postural adjustments and aging: A systematic review. *Systematic Reviews*, 11(1), 230.
<https://doi.org/10.1186/s13643-022-02116-x>

Dyer, S. M., Crotty, M., Fairhall, N., Magaziner, J., Beaupre, L. A., Cameron, I. D., Sherrington, C., & Fragility Fracture Network (FFN) Rehabilitation Research Special Interest Group. (2016). A critical review of the long-term disability outcomes following hip fracture. *BMC Geriatrics*, 16(1), 158.
<https://doi.org/10.1186/s12877-016-0332-0>

Ehrensberger, M., Simpson, D., Broderick, P., & Monaghan, K. (2016). Cross-education of strength has a positive impact on post-stroke rehabilitation: A systematic literature review. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 23(2), 126–135.
<https://doi.org/10.1080/10749357.2016.1142042>

Fimland, M. S., Helgerud, J., Solstad, G. M., Iversen, V. M., Leivseth, G., & Hoff, J. (2009). Neural adaptations underlying cross-education after unilateral strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 107(6), 723–730.
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1190-7>

Frazer, A. K., McNeil, C. J., & Zehr, E. P. (2018). Cross-education of strength and skill: Mechanisms and implications for rehabilitation. *Frontiers in Neurology*, 9, 104.
<https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00104>

Fundación Trauma. (2023). *Informe Nacional de Demoras Quirúrgicas en Fractura de Cadera*. Observatorio de Lesiones. <https://www.fundaciontrauma.org.ar>

Galván, C., González, B., & Sciuccati, G. (2022). Sarcopenia y su relevancia en la práctica clínica. *Revista Argentina de Reumatología*, 33(3), 162–167.

Garabano, G., Cubecino, A., Simesen de Bielke, H., Robador, N., Olivetto, J. M., Sierro, M., & Gamarra Leimann, D. (2020). Epidemiología de la fractura de cadera en la Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*,

85(4), 437–446. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2020.85.4.1113>

Harput, G., Ulusoy, B., Yildiz, T. I., Demirci, S., Eraslan, L., Turhan, E., & Tunay, V. B. (2019). Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: A randomized controlled trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 27(1), 68–75. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5040-1>

Hendy, A. M., Spittle, M., & Kidgell, D. J. (2012). Cross education and immobilisation: mechanisms and implications for injury rehabilitation. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(2), 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.07.007>

Herr, K., Coyne, P. J., McCaffery, M., Manworren, R., & Merkel, S. (2011). *Pain assessment in the patient unable to self-report: Position statement with clinical practice recommendations*. Pain Management Nursing, 12(4), 230–250. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2011.10.002>

Hodges, P. W., & Gandevia, S. C. (2000). Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *Journal of Applied Physiology*, 89(3), 967–976. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.3.967>

<https://doi.org/10.47196/rar.v33i3.674>

International Osteoporosis Foundation. (2021). *Hip fracture factsheet*. <https://www.osteoporosis.foundation/facts-statistics>

Izquierdo, M., Morley, J. E., Lucia, A., & Exercise in Older Adults Consensus Group. (2021). Exercise in people over 85. *Journal of the American Medical Directors Association*, 22(8), 1665–1673. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2021.05.008>

Kapandji, I. A. (2011). *Fisiología Articular: Miembro inferior* (6.^a ed.). Editorial Médica Panamericana.

Kendall, F., McCreary, E., Provance, P., Rodgers, M., & Romani, W. (2020). *Músculos: Pruebas, funciones y dolor postural* (5.^a ed.). Médica Panamericana.

Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(1), 225–239.

Koltyn, K. F. (2000). Analgesia following exercise: A review. **Sports Medicine*, 29*(2), 85–98. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029020-00002>

Latarjet, M., & Ruiz Liard, A. (2001). *Anatomía Humana* (2.^a ed.). Editorial Médica Panamericana.

Lecce, E., Amoruso, P., Del Vecchio, A., Casolo, A., Felici, F., Farina, D., & Bazzucchi, I. (2025). *Neural determinants of the increase in muscle strength and force steadiness of the untrained limb following a 4 week unilateral training*. *The Journal of Physiology*, 603(12), 3605-3630. <https://doi.org/10.1113/JP288954>

Lecce, E., Conti, A., Del Vecchio, A., Felici, F., Scotto di Palumbo, A., Sacchetti, M., & Bazzucchi, I. (2025). *Cross-education: motor unit adaptations mediate the strength*

- increase in non-trained muscles following 8 weeks of unilateral resistance training.* *Frontiers in Physiology*, 15, 1512309. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1512309>
- Lecce, E., Conti, A., Del Vecchio, A., Felici, F., Scotto di Palumbo, A., Sacchetti, M., & Bazzucchi, I. (2025). Cross-education: Motor unit adaptations mediate the strength increase in non-trained muscles following 8 weeks of unilateral resistance training. *Frontiers in Physiology*, 15, 1512309. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1512309>
- Lorenzo, J. E., Rosa, J. E., Posadas Martínez, M. L., & Jauregui, J. R. (2022). *Sarcopenia y su relevancia en la práctica clínica*. *Revista Argentina de Reumatología*, 33(3), 162–172.
- Lundbye- Jensen, J., & Nielsen, J. B. (2008). Central neural adaptations following 1 wk of wrist and hand immobilization. *Journal of Applied Physiology*, 105(1), 139–151. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00687.2007>
- Maass, A., Düzel, S., Brigadski, T., Goerke, M., Becke, A., Sobieray, U., ... & Düzel, E. (2015). Relationships of peripheral IGF-1, VEGF and BDNF levels to exercise-related changes in memory, hippocampal perfusion and volumes in older adults. *NeuroImage*, 131, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.084>
- Magnus, C. R., Arnold, C. M., Johnston, G., Dal-Bello Haas, V., Basran, J., Krentz, J. R., & Farthing, J. P. (2013). Cross-education for improving strength and mobility after distal radius fractures: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(7), 1247–1255. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.03.005>
- Manca, A., Dragone, D., Dvir, Z., Deriu, F. (2018). Cross-education of muscle strength: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 118(4), 729–751. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3815-5>
- Munn, J., Herbert, R. D., & Gandevia, S. C. (2005). *Contralateral effects of unilateral resistance training: A meta-analysis*. *Journal of Applied Physiology*, 96(6), 1861–1866. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00541.2003>
- Naugle, K. M., Fillingim, R. B., & Riley, J. L. (2012). A meta-analytic review of the hypoalgesic effects of exercise. *The Journal of Pain*, 13(12), 1139–1150. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2012.09.006>
- Nemes, S., Rolfson, O., & W-Dahl, A. (2020). Socioeconomic factors and time to surgery in hip fracture patients. *Acta Orthopaedica*, 91(4), 402–407. <https://doi.org/10.1080/17453674.2020.1768076>
- Northey, J. M., Cherbuin, N., Pumpa, K. L., Smee, D. J., & Rattray, B. (2018). Exercise interventions for cognitive function in adults older than 50: A systematic review with meta-analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, 76. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00076>
- Pearcey, G. E. P., Smith, L. A., Sun, Y., & Zehr, E. P. (2022). 1894 revisited: Cross-education of skilled muscular control in women and the importance of representation. *PLoS ONE*, 17(3), e0264686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264686>

- Pedersen, B. K., & Febbraio, M. A. (2012). Muscles, exercise and obesity: Skeletal muscle as a secretory organ. *Nature Reviews Endocrinology*, 8(8), 457–465. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2012.49>
- Rouvière, H., & Delmas, A. (2005). *Anatomía Humana: Descriptiva, Topográfica y Funcional* (Tomo II, 11.^a ed.). Masson.
- Rowe, G. S., Blazevich, A. J., Taylor, J. L., et al. (2024). ¿Puede la formación cruzada de fuerza atenuar el impacto del desentrenamiento tras un período de entrenamiento de fuerza? Un ensayo cuasialeatorizado. *European Journal of Applied Physiology*, 124, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05509-z>
- Ruddy, K. L., & Carson, R. G. (2013). Neural pathways mediating cross education of motor function. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 397. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00397>
- Sánchez, J. L., Rodríguez, G. F., & Morales, V. H. (2019). Efectos del desuso muscular postquirúrgico en pacientes con fractura de cadera: Un estudio mexicano. *Revista Mexicana de Medicina Geriátrica*, 34(3), 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.rmmg.2019.02.005>
- Sanguino, L. (2017). *The effect of surgical delay after hip fracture on mortality: A retrospective survival analysis of 27,397 surgeries in Argentina* [Master's thesis, Universidad Torcuato Di Tella]. UTDT Institutional Repository.
- Santos-Concejero, J., González-Mohino, F., Santos del Cerro, J., & Moran-Navarro, R. (2017). Adaptaciones fisiológicas al entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia. *Apunts: Medicina de l'Esport*, 52(195), 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2017.01.001>
- Sato Martínez, M., García, J. A., & Estévez, M. (2023). Biomechanical advantages of core muscle coordination during postural challenges: A functional anatomy approach. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 27, 102911. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24370638/>
- Sluka, K. A., O'Donnell, J. M., Danielson, J., & Rasmussen, L. A. (2013). Regular physical activity prevents development of chronic pain and activation of central neurons. *The Journal of Applied Physiology*, 114(6), 725–733. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01361.2012>
- Sociedad Argentina de Gerontología y Geriatría. (s.f.). *Clasificación funcional del adulto mayor*. Recuperado de <https://www.sagg.org.ar>
- Stecco, C., Macchi, V., Porzionato, A., Duparc, F., De Caro, R., & Stecco, A. (2018). Fascial contributions to musculoskeletal anatomy and biomechanics. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 40(6), 569–576. <https://doi.org/10.1007/s00276-018-2005-4>
- Stillman, C. M., Cohen, J., Lehman, M. E., & Erickson, K. I. (2020). Mediators of physical activity on neurocognitive function: A review at multiple levels of analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 62. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00062>

- Testut, L., & Latarjet, A. (1984). *Tratado de Anatomía Humana* (Tomo II). Barcelona: Salvat.
- Vaegter, H. B., & Jones, M. D. (2017). Exercise-induced hypoalgesia after acute and regular exercise: Experimental and clinical manifestations and possible mechanisms in individuals with and without pain. **PAIN Reports*, 2*(4), e585. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000585>
- Vaegter, H. B., & Jones, S. L. (2017). Exercise-induced hypoalgesia in healthy individuals and chronic pain patients: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Pain*, 21(3), 3–11. <https://doi.org/10.1002/ejp.1023>
- Vaegter, H. B., Handberg, G., & Graven-Nielsen, T. (2020). Isometric exercise increases pressure pain thresholds in remote body regions. **Pain Medicine*, 21*(10), 2431–2439. <https://doi.org/10.1093/pmj/pnaa016>
- Wall, B. T., Dirks, M. L., & van Loon, L. J. C. (2013). Skeletal muscle atrophy during short-term disuse: Implications for age-related sarcopenia. *Ageing Research Reviews*, 12(4), 898–906. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2013.07.003>
- Wall, B. T., Dirks, M. L., Snijders, T., Senden, J. M. G., Dolmans, J., & van Loon, L. J. C. (2024). Substantial skeletal muscle loss occurs during only 14 days of disuse. *Acta Physiologica*, 210(3), e12715.
- Willard, F. H., Vleeming, A., Schuenke, M. D., Danneels, L., & Schleip, R. (2012). The thoracolumbar fascia: Anatomy, function and clinical considerations. *Journal of Anatomy*, 221(6), 507–536. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2012.01511.x>
- Zult, T., Howatson, G., Farthing, J. P., Zijdewind, I., & Hortobágyi, T. (2014). Role of the mirror-neuron system in cross-education. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 104. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00104>