

Principios Del Aprendizaje Motor: Una Revisión Sobre Sus Aplicaciones en la Rehabilitación Del Accidente Cerebrovascular

Motor Learning Principles: A Review Of Their Applications In Stroke Rehabilitation

Víctor Sánchez-Silverio, MSc.¹, Vanesa Abuín-Porras, PhD.², Isabel Rodríguez-Costa, PhD.³

Resumen

El accidente cerebrovascular (ACV) es una de las principales causas de discapacidad a nivel mundial. A pesar de las consecuencias funcionales, en estos pacientes puede ocurrir un proceso de recuperación gracias a los mecanismos de neuroplasticidad preservados después del daño cerebral. Se ha sugerido que la recuperación de los patrones de movimiento posterior a un ACV está fundamentada por un proceso de aprendizaje. El aprendizaje motor es un enfoque que recientemente ha generado un gran interés en el campo de la neurorehabilitación. Gracias a su vinculación con los mecanismos neuroplásticos, la implementación de los principios del aprendizaje motor ha mostrado resultados positivos durante el aprendizaje de habilidades motoras en el paciente con ACV. El presente estudio ofrece una revisión sobre los fundamentos del aprendizaje motor y sus diversas estrategias para promover el aprendizaje de una habilidad motora. Este artículo proporciona una visión concisa sobre las implicaciones del aprendizaje motor en la rehabilitación del ACV, puntualizando las estrategias, los enfoques terapéuticos y los parámetros de evaluación utilizados respectivamente para promover y valorar el aprendizaje motor en pacientes con ACV.

Palabras clave: Accidente cerebrovascular; Aprendizaje motor; Desempeño motor; Habilidad motora; Rehabilitación.

Abstract

Stroke is one of the leading causes of disability worldwide. Despite the functional consequences, a recovery process can occur in these patients thanks to the neuroplasticity mechanisms preserved after brain damage. Recovery of movement patterns after stroke has been suggested to be based on a learning process. Motor learning is an approach that has recently generated a great deal of attention in the field of neurorehabilitation. Thanks to its association with neuroplastic mechanisms, the implementation of motor learning principles has shown positive results during motor skills learning in stroke patients. The present study offers a review of the fundamentals of motor learning and its various strategies to promote the learning of a motor skill. This article provides a concise overview of the implications of motor learning in stroke rehabilitation, describing the strategies, therapeutic approaches, and assessment parameters used respectively to promote and evaluate motor learning in stroke patients.

Keywords: Stroke; Motor learning; Motor performance; Motor skill; Rehabilitation.

Rev. Ecuat. Neurol. Vol. 29, N° 3, 2020

Introducción

El accidente cerebrovascular (ACV) es una condición neurológica que puede desencadenar altos grados de discapacidad. Este daño puede causar deficiencias motoras, sensoriales y cognitivas, así como riesgo de caídas y dependencia en las actividades de la vida diaria.¹ No obstante, los pacientes con ACV pueden recuperar los patrones de movimiento gracias a la neuroplasticidad que está vigente tras el daño cerebral.²

Después del ACV, los patrones de movimiento pueden adquirirse mediante dos tipos de recuperación asociadas con la neuroplasticidad: la recuperación real y la compensación.³ La recuperación real obedece al reclutamiento de regiones cerebrales no dañadas que generan patrones motores utilizados antes del ACV, mientras que la compensación representa el uso de patrones nuevos o alternativos que se desvían del movimiento normal después del ACV.^{3,4} Independientemente de las diferencias

¹Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra. Santiago De Los Caballeros, República Dominicana.

²Departamento de Fisioterapia, Universidad Europea de Madrid. Madrid, España.

³Departamento de Enfermería y Fisioterapia, Universidad de Alcalá de Henares. Madrid, España.

Correspondencia:
Víctor Sánchez-Silverio.
C/Las Azucenas, 14, 51033 Santiago De Los Caballeros,
República Dominicana.
E-mail: victorss34@hotmail.com

en la recuperación y la compensación, ambos mecanismos requieren un proceso de aprendizaje.^{4,5}

El aprendizaje motor representa un enfoque que en los últimos años ha generado gran preponderancia en la neurorehabilitación.^{6,7} Estos procesos internos guardan relación con la activación de estructuras cerebrales funcionales, circuitos neuronales y mecanismos de neuroplasticidad.⁸ Por su estrecha relación con estos mecanismos neuroplásticos, el aprendizaje motor ha mostrado sus contribuciones al favorecer el aprendizaje de habilidades motoras en pacientes con ACV.⁷ La inclusión de procesos vinculados al aprendizaje motor podría jugar un rol de gran relevancia en la rehabilitación del ACV. Este estudio tiene como objetivo revisar los fundamentos y los principios del aprendizaje motor, así como sus contribuciones en la rehabilitación del ACV, puntualizando las estrategias, los enfoques terapéuticos y los parámetros utilizados para promover y evaluar el aprendizaje motor en el paciente con ACV.

Generalidades del aprendizaje motor

El aprendizaje motor es un conjunto de procesos asociados a la práctica y la experiencia que conducen a cambios relativamente permanentes en la capacidad de producir movimientos.^{8,9} Como estos procesos internos no pueden medirse directamente a nivel conductual, el aprendizaje motor puede estimarse observando el desempeño motor.⁵ El aprendizaje motor y el desempeño motor son conceptos vinculados, pero con diferencias elementales. Se ha sugerido que el desempeño motor es el comportamiento motor observado durante la práctica y el aprendizaje motor es la resistencia de este comportamiento que se desarrolla con la práctica y se mantiene en el tiempo.^{6,10}

Además del desempeño motor, la transferencia y la retención son parámetros consensuados para estimar el aprendizaje motor.^{5,10} La transferencia evalúa una variación de la habilidad practicada en un contexto diferente, mientras que la retención examina la tarea en las mismas condiciones de práctica después de un intervalo de tiempo.^{10,11} Opiniones han indicado que el aprendizaje motor puede ser evidenciado cuando la habilidad adquirida ha sido retenida con el tiempo y, a su vez, transferida o generalizada en diversos contextos.^{6,12}

A lo largo de los años el aprendizaje motor ha sido estudiado bajo distintos modelos teóricos con el fin de comprender los procesos experimentados por un individuo durante el aprendizaje de un movimiento. Se han planteado modelos que exponen las fases que debe superar un individuo durante el aprendizaje de habilidades motoras (Tabla 1)⁹

Bajo esos modelos teóricos, el componente cognitivo juega un rol esencial durante el proceso de aprendizaje. Al realizar un movimiento por primera vez se comenten errores y se puede requerir gran demanda de atención,

Tabla 1. Modelos teóricos del aprendizaje motor.

Modelo	Características
El Modelo de 3 estadios Fitts y Posner	Este modelo expone 3 etapas en el aprendizaje motor: una etapa cognitiva donde el individuo aprende una nueva destreza o reaprende una antigua, siendo importante el cometer errores y saber corregirlos; una etapa asociativa donde el individuo consigue dirigir el programa dentro de restricciones ambientales específicas, disminuyendo así el número de errores y ejecutando con menor esfuerzo la tarea; una etapa autónoma donde el individuo consigue moverse dentro de una variedad de ambientes, manteniendo el control en todo el programa y adquiriendo la capacidad de retener la destreza y generalizarla a diferentes contextos gracias a la automatización.
Modelo de sistemas de Berstein	Enfatiza el control de los grados de libertad, que representan el número independiente de movimientos necesarios para completar una acción. Este modelo, conformado por 3 fases, describe que en una fase inicial el individuo simplifica el movimiento reduciendo los grados de libertad, mientras que en una fase avanzada el sujeto comienza a ganar ciertos grados de libertad y posteriormente en una fase experto el individuo posee todos los grados de libertad necesarios para llevar a cabo la tarea, con mayor efectividad y de manera coordinada.
El Modelo de 2 fases de Gentile	Este modelo plantea 2 fases de aprendizaje. Una primera fase incluye la comprensión del objetivo de la tarea, el desarrollo de las estrategias de movimiento y la interpretación de las características del entorno relevantes para la organización del movimiento, mientras que una segunda fase, denominada de fijación o fase de diversificación, el objetivo del sujeto es redefinir y perfeccionar el movimiento, lo cual incluye tanto el desarrollo de la capacidad de adaptar el movimiento a los cambios de la tarea y del entorno, como desarrollar la tarea consistente y eficientemente.

aunque a través de la práctica el movimiento se vuelve más preciso, automatizado y exige un mínimo gasto energético.¹³ Ciertamente el aprendizaje motor progresa de una fase cognitiva inicial, donde se adquiere un conocimiento declarativo sobre las características de la habilidad para mejorar su desempeño, a una fase autónoma final, donde la habilidad se convierte en una rutina automatizada.¹⁴

Estrategias para promover el aprendizaje motor

Existen estrategias que pueden ser utilizadas para promover procesos asociados al aprendizaje motor. Una de las más frecuentemente utilizadas es la práctica. El principio más fundamental del aprendizaje motor se basa en la mejoría del desempeño dependiente de la cantidad de práctica de un movimiento.⁴ El diseño de mejores prácticas no solo promueve efectos inmediatos en el desempeño motor, sino que garantiza el aprendizaje a largo plazo al promover la retención y la transferencia de habilidades.¹¹

Tabla 2. Descripción de los tipos de práctica para promover el aprendizaje motor

Tipo de práctica	Características
Práctica intensiva (Massed practice)	El tiempo de práctica excede ampliamente el tiempo de descanso entre repeticiones de ensayos prácticos.
Práctica distribuida (Distributed practice)	Se introducen periodos de descanso frecuentes y más prolongados entre repeticiones de ensayos prácticos.
Práctica variable (Variable practice)	Se realizan tareas o habilidades motoras similares o diferentes a la tarea central del objetivo.
Práctica constante (Constant practice)	Se entrena simplemente una sola tarea, es decir, la tarea central del objetivo.
Práctica aleatoria (Random practice)	Se practican varias habilidades motoras diferentes en un orden aleatorio entre los ensayos prácticos.
Práctica bloqueada (Blocked practice)	Cada habilidad motora es practicada repetidamente en un grupo de ensayos bajo una misma condición.
Práctica por partes (Part-practice)	Se practica cada componente o movimiento de una habilidad motora por separado.
Práctica completa (Whole-practice)	Se practica la habilidad motora en su totalidad.

La evidencia ha descrito los tipos de práctica dirigidas a promover el aprendizaje motor (Tabla 2).^{11,12} Se ha sugerido que la práctica variable, en lugar de la práctica constante, mejora la retención y transferencia de nuevas habilidades motoras,^{11,12,15} aunque el desempeño de la habilidad durante el entrenamiento inicial puede ser pobre.^{12,15} Estos beneficios en la retención y la transferencia de habilidades igualmente han sido descritos para la práctica aleatoria, en comparación a la práctica bloqueada.^{11,12,15} No obstante, si el aprendiz tiene poca experiencia, se puede utilizar la práctica bloqueada durante el entrenamiento inicial, progresando a una práctica aleatoria a medida que aumenta su nivel de habilidad.¹²

Por otro lado, otra estrategia del aprendizaje motor es la retroalimentación (Feedback), que constituye la información que recibe un individuo sobre el desempeño de una tarea.^{11,13,16} Esta puede ser intrínseca o extrínseca. Autores subrayan que la retroalimentación intrínseca surge de la información sensorial (exteroceptiva y propioceptiva) que recibe el individuo como resultado del movimiento, mientras que la extrínseca es considerada como toda información proporcionada al individuo por una fuente externa.^{9,13,16} Además, la retroalimentación extrínseca puede transmitirse a través del conocimiento de resultados (información sobre el resultado de una acción o un movimiento) o el conocimiento del desempeño (información sobre la calidad del movimiento).^{9,11,13}

Estudios sostienen que la retroalimentación después de cada ensayo práctico puede beneficiar el desempeño durante o tras una sesión de práctica.¹⁵ Ahora bien, una alta frecuencia del conocimiento de resultados puede

perjudicar la retención de habilidades, ya que los procesos intrínsecos de detección y corrección de errores del aprendiz permanecen sin desarrollar, de modo que el mismo puede depender de esta retroalimentación y el desempeño en la retención sin dicha información es deficiente.^{15,17} Por ello, se ha planteado que no facilitar retroalimentación en cada ensayo práctico mejora la retención de habilidades¹⁷ y que su uso reducido favorece la retención y la transferencia a largo plazo.¹⁵

Aprendizaje motor en el ACV

El paciente con ACV puede recuperarse gracias a la neuroplasticidad preservada tras el daño cerebral.² Como se ha señalado, la recuperación del movimiento puede ocurrir mediante procesos de recuperación real o compensación que requieren aprendizaje.^{5,18} Bajo ese esquema de recuperación, los principios del aprendizaje motor podrían facilitar el aprendizaje de habilidades motoras en pacientes con ACV y favorecer positivamente su rehabilitación.

Autores establecen que la capacidad de aprendizaje motor no está abolida tras un ACV.¹⁹ Debido a su asociación con la reorganización funcional en áreas corticales y a su distribución generalizada entre diferentes áreas cerebrales, la capacidad de aprendizaje motor no se pierde completamente después del ACV.^{7,16} Diversas opiniones han catalogado el aprendizaje motor como un componente esencial en la recuperación motora del paciente con ACV.⁷

En el cerebro afectado por un ACV, el entrenamiento motor puede inducir neuroplasticidad y generar un proceso de aprendizaje motor.³ Investigadores han expuesto los efectos neurales en la rehabilitación del ACV cuando las intervenciones basadas en este enfoque coinciden con la reorganización neural inducida por la lesión cerebral.^{4,20} Un estudio en 18 pacientes con ACV crónico demostró que el aprendizaje de habilidades motoras con la extremidad superior afectada produjo alteraciones en la actividad cortical; esto podría ser un estimulante importante para incentivar cambios neuroplásticos y remediar patrones desadaptativos de la actividad cerebral después del ACV.¹⁹

El aprendizaje motor ha generado recientemente una gran atención en el campo de la neurorehabilitación.⁶ Sus diferentes principios se están utilizando con mayor frecuencia para el reaprendizaje de habilidades motoras en poblaciones neurológicas.^{13,18} Dos de los principales principios que han sido estudiados en este campo clínico son la práctica y la retroalimentación.

En el campo del ACV, una revisión subraya que un mejor desempeño se correlaciona con el tiempo y la cantidad de práctica dedicada al aprendizaje de una habilidad particular.²¹ Un estudio mostró que los pacientes con ACV, especialmente con espasticidad, pueden requerir más ensayos de práctica que una persona sana para mejorar su desempeño en una tarea.²²

La importancia de realizar tareas con numerosas repeticiones en pacientes con ACV ha sido confirmada por su relación con la neuroplasticidad. La evidencia del aprendizaje motor en sujetos sanos y afectados sugiere que altas cantidades de repeticiones, en una actividad específica, pueden ser requeridas para promover un cambio neuroplástico.²³ Otros autores mencionan que la frecuencia e intensidad de la práctica son factores determinantes de la recuperación, sin embargo el mero ejercicio repetitivo no tiene más preponderancia en la reorganización funcional cortical, que al contrario si se produce ante algún proceso de aprendizaje motor.²⁴

Por otro lado, la retroalimentación igualmente ha mostrado contribuciones en la rehabilitación del ACV. Una retroalimentación apropiada puede mejorar el aprendizaje motor y motivar al paciente.²⁵ Como la retroalimentación intrínseca puede deteriorarse consecuencia del daño neurológico, la retroalimentación extrínseca puede ser contemplada para mejorar el desempeño de una tarea.^{9,25} Esta retroalimentación puede ser facilitada de manera verbal, visual o física, aunque se sugiere disminuir esta información a medida que avanzan las sesiones terapéuticas para evitar dependencia en el paciente y favorecer el aprendizaje de habilidades.¹¹

Una revisión sistemática, tras analizar 9 estudios, constató que los pacientes con ACV pueden ser capaces de utilizar la retroalimentación extrínseca para promover el aprendizaje motor y mejorar la recuperación motora de su miembro superior afectado.¹⁶ Un punto interesante de esa revisión denota que la retroalimentación fue facilitada mediante información verbal, auditiva y visual, pero además utilizado otras alternativas como cintas de videos, entornos virtuales o dispositivos robóticos.¹⁶ Aunque pueden existir diversos métodos de retroalimentación, facilitar esta información en el entorno clínico puede favorecer la motivación y el aprendizaje del paciente durante la práctica de una tarea.

Enfoques terapéuticos basados en aprendizaje motor

El gran auge del aprendizaje motor en la neurorehabilitación ha servido como fundamento para enfoques terapéuticos que buscan facilitar el aprendizaje de habilidades y la recuperación en el ACV. Los principios del aprendizaje motor han sido estudiados no solo con protocolos de rehabilitación estandarizados, sino también mediante equipos terapéuticos de estimulación y nuevas tecnologías.

Realidad virtual

La realidad virtual es una tecnología en continuo desarrollo clínicamente utilizada para optimizar el aprendizaje motor.²⁶ Esta tecnología genera un entorno virtual y multisensorial que permite experimentar eventos simulados en el mundo real.^{26,27} La realidad virtual crea un entorno interactivo y motivador donde la intensidad de

la práctica y la retroalimentación se pueden manipular para idear tratamientos individualizados para entrenar el movimiento.²⁶ Estos equipos habitualmente constan de una pantalla visual, montada en la cabeza o en un monitor estándar, un dispositivo de rastreo de movimiento y un sistema de retroalimentación sensorial.^{4,26} Considerando la interacción con el entorno virtual, sus aplicaciones pueden ser inmersivas (Se sumerge al usuario en el entorno virtual) y no inmersivas (Experiencias con el entorno desde un monitor).²⁷

En los entornos virtuales la variedad de intervenciones y la manipulación de retroalimentación pueden maximizar los mecanismos neuroplásticos.²⁶ Una creciente evidencia respalda el uso de estos sistemas para promover el aprendizaje motor en la rehabilitación del ACV. La idea principal detrás de la realidad virtual es suscitar una mayor motivación en el paciente que garantice una mayor participación en la rehabilitación.²⁸ Esta motivación de los pacientes por estos entornos permite aplicar periodos y dosis de prácticas más prologados que conducen a una mayor práctica repetitiva que estimula el aprendizaje motor.^{4,28} En esa dirección, un estudio en 50 pacientes con ACV demostró los beneficios sobre el miembro superior afectado que produjo un enfoque de aprendizaje motor, basado en realidad virtual con retroalimentación.²⁹

A pesar de las ventajas que ofrece la realidad virtual, los costos en algunos equipos podrían limitar su aplicación en contextos clínicos. Ante esa situación, alternativamente se podría optar por sistemas de videojuegos, que constituyen un método no inmersivo de menor costo y mayor acceso.²⁷ Ahora bien, aunque estos sistemas podrían facilitar el aprendizaje motor al promover una mayor motivación en pacientes con ACV,^{26,27} se ha sugerido continuar investigado sus aportes en el campo de la rehabilitación.

Terapia robótica

Recientemente los dispositivos robóticos han sido catalogados como instrumentos ideales para abordar los desafíos de la neurorehabilitación. Estos dispositivos, que poseen sensores que registran el movimiento, pueden tener la forma de un brazo robótico accionado o un traje robótico que encierra la extremidad afectada constituyendo un exoesqueleto.²¹ Los robots ofrecen una medición cinemática muy precisa del movimiento que permite detectar la eficacia terapéutica del tratamiento. Una gran ventaja de estos dispositivos es que pueden asistir al paciente durante la ejecución de patrones de movimiento.^{4,21}

Distinto a terapias convencionales, la manipulación robótica proporciona entrenamientos con alta dosis e intensidad de práctica que pueden garantizar un elevado número de repeticiones de movimiento en una sesión terapéutica.²¹ El entrenamiento robótico ofrece potenciales ventajas en la rehabilitación del ACV por incluir la asistencia controlable durante los movimientos

y las cuantificables medidas del desempeño motor del paciente. Además, los dispositivos robóticos pueden facilitar un entrenamiento intensivo y orientado a las tareas que puede promover el aprendizaje motor y beneficiar la recuperación motora tras un ACV.²⁷

Un meta-análisis con 38 ensayos clínicos constató que la terapia asistida por robot produjo mejorías significativas, pero pequeñas, sobre el control motor del hombro, el codo y la muñeca afectada en pacientes con ACV. No obstante, los autores señalan que no se observó una generalización de las mejorías en la funcionalidad del miembro superior, aunque esto puede explicarse por la variada metodología de los estudios analizados.³⁰ En relación al miembro inferior, una revisión sistemática confirmó en 18 estudios el beneficio de los dispositivos robóticos para entrenar la marcha (10 utilizaron el "Lokomat," 7 el "Gait Trainer GT I" y 1 el "AutoAmbulator"), aunque sugieren que el tipo de dispositivo podría influir en el resultado de la rehabilitación de la marcha tras un ACV.³¹ La terapia robótica, al facilitar la práctica intensiva y el entrenamiento repetitivo, puede inducir el aprendizaje motor y ofrecer resultados prometedores en la rehabilitación del ACV. Ahora bien, a pesar de sus beneficios, el uso de robots a nivel cotidiano puede ser muy limitado por los elevados costos de sus equipos.

Estimulación cerebral no invasiva

La estimulación cerebral no invasiva, enmarcada dentro de las estrategias de modulación cerebral, incluyen las terapias que inducen una corriente eléctrica débil o un campo magnético sobre el cerebro, mediante la estimulación superficial en el cuero cabelludo.² La estimulación magnética transcraneal y la estimulación transcraneal con corriente directa representan las técnicas más importantes para modular la excitabilidad cortical en áreas focales del cerebro.^{2,18,32} Esos tipos de estimulación pueden facilitar el desempeño motor y el aprendizaje de habilidades motoras en sujetos sanos o con daño cerebral.³²

La estimulación magnética transcraneal genera un campo magnético perpendicular a una bobina de estimulación con frecuencias bajas (≤ 1 Hertz) o altas (≥ 5 Hertz), que respectivamente disminuyen o aumentan la excitabilidad cortical.² Por otro lado, la estimulación transcraneal con corriente directa se aplica sobre el cuero cabelludo mediante un generador de corriente continua conectado a 2 electrodos con corrientes de baja intensidad (0.5-2 miliamperios); la estimulación anódica aumenta la excitabilidad cortical mediante la despolarización, mientras que la catódica disminuye la excitabilidad mediante la hiperpolarización.^{2,18}

Esos tipos de estimulación pueden modular y potenciar la reorganización cortical y la recuperación después del ACV.² Un ensayo controlado a doble ciego demostró, en 18 pacientes con ACV, que una sesión de estimula-

ción transcraneal con corriente directa mejora el aprendizaje y la retención de habilidades motoras, tras aplicarse bilateralmente sobre la corteza motora primaria durante un entrenamiento con la mano parética.⁷ La estimulación magnética transcraneal y por corriente directa tienen como objetivo modificar la actividad cerebral mediante un aumento o disminución de la excitabilidad cortical, respectivamente, en el hemisferio lesionado o sano.^{2,18} Esto puede favorecer la simetría en la excitabilidad cortical entre los hemisferios y mejorar el aprendizaje motor.¹⁸ Por tanto, sus aplicaciones clínicas, además de ser seguras, pueden tener contribuciones en el aprendizaje de habilidades motoras en pacientes con ACV.

Terapia de restricción e inducción al movimiento

La terapia de restricción e inducción al movimiento es actualmente uno de los regímenes más efectivos para la rehabilitación del ACV.³³ Consiste en ejercicios intensivos para la extremidad superior afectada, complementados con retroalimentación y la resolución de problemas del mundo real.³⁴ El protocolo original de esta terapia posee los siguientes componentes: (a) práctica clínica intensiva graduada del miembro superior parético por 6 horas al día durante 2 semanas, (b) restricción del miembro superior sano con un guante o cabestrillo durante el 90% de las horas de vigilia y (c) transferencia de las ganancias obtenidas en el entorno clínico al entorno diario de los pacientes.^{4,33,35}

Los 2 mecanismos subyacentes a este protocolo están vinculados con la disminución del "aprendizaje del no uso," que se ha reforzado conductualmente en el miembro afectado, y la expansión del área cortical involucrada en el movimiento del miembro afectado por el uso repetitivo forzado.^{35,36} Existen versiones modificadas de la terapia por restricción generalmente caracterizadas por periodos de entrenamiento más reducidos o menor tiempo de restricción del miembro sano. Estas versiones han sugerido sesiones que varían de 30 minutos a 6 horas por día, pero igualmente de 2 a 7 sesiones por semana durante un periodo oscilante entre 2 a 12 semanas.³³

Un meta-análisis comprobó los efectos positivos y duraderos de la terapia por restricción en pacientes subagudos y crónicos, tras analizar 23 ensayos clínicos aleatorios y cuasi aleatorios con protocolos de 2 y 7 horas por día durante un periodo entre 8 y 28 días.³⁴ Otro meta-análisis en 16 ensayos clínicos controlados, pero exclusivamente en pacientes crónicos, demostró en una muestra de 572 pacientes que la terapia de restricción puede mejorar la función del miembro superior afectado.³⁶ La práctica intensiva de este protocolo, a pesar de ser agotador, puede inducir el aprendizaje en pacientes con ACV. Las numerosas repeticiones en diversas tareas, por la práctica intensiva en la terapia de restricción, conducen a cambios cerebrales equivalentes a las capacidades mejoradas del

movimiento.^{11,35} Aunque la rigurosidad de su protocolo original podría clínicamente limitar su aplicación, las versiones modificadas pueden ofrecer una mayor flexibilidad terapéutica para el paciente con ACV.

Entrenamiento bilateral

El entrenamiento bilateral, conocido como transferencia bimanual, es un proceso donde el sistema neuromotor recupera información relevante para el aprendizaje de la extremidad entrenada y la transfiere a la extremidad opuesta no entrenada.³⁷ Mediante este fenómeno la experiencia obtenida en un miembro entrenado tiene un impacto beneficioso sobre el miembro contralateral no entrenado.^{37,38} Este es un enfoque de gran relevancia para la rehabilitación del ACV, ya que el paciente puede analizar las características de habilidad entrenada y utilizar esa experiencia para favorecer la práctica con el lado afectado.

Se ha sugerido que el entrenamiento bilateral en pacientes con ACV puede mejorar la coordinación entre ambas manos.⁹ En esa dirección, una revisión sistemática en 9 estudios (8 incorporaron algún dispositivo mecánico) determinó que la terapia bilateral produce mejorías significativas en la función del miembro superior afectado en pacientes con ACV crónico. Sin embargo, los autores señalan que se requieren una mayor cantidad de ensayos clínicos de calidad para fortalecer esta evidencia.³⁹

Aunque el entrenamiento bilateral contradice la terapia de restricción, ambos enfoques pueden complementarse en el paciente con ACV considerando los objetivos del tratamiento. Incluso, un ensayo clínico aleatorio a simple ciego comparó la efectividad de esos métodos en pacientes subagudos con ACV y comprobó que el entrenamiento bilateral fue tan efectivo como la terapia de restricción modificada para mejorar la función motora del miembro superior.⁴⁰

Evaluación del aprendizaje motor en el ACV

La evaluación del aprendizaje motor es un elemento esencial que permite constatar el aprendizaje de la habilidad entrenada en el paciente neurológico. Estos procesos neurales y cognitivos internos solo pueden estimarse observando el desempeño motor. Existen pruebas clínicas utilizadas como referencia para valorar el desempeño funcional posterior a un ACV: Action Research Arm Test, el Wolf Motor Function Test o el Functional Independence Measure.⁵ Ahora bien, además del desempeño motor, la transferencia y la retención representan otras pruebas que aportan información sobre el aprendizaje motor y miden las mejorías duraderas en la ejecución de una habilidad.^{5,10,11}

Una revisión sistemática, que incluyó 42 estudios (32 en pacientes con ACV), encontró el desempeño motor, la transferencia y la retención, como los paráme-

tros más utilizados para inferir aprendizaje en, respectivamente, 24, 14 y 8 estudios. Los estudios valoraron el desempeño motor midiendo la reducción de errores entre una prueba inicial y final, la duración del movimiento ejecutado, el tiempo para completar una tarea, el número de repeticiones exitosas en tareas y la velocidad y precisión del movimiento en tareas asistidas por robots. Además, la transferencia fue evaluada mediante movimientos de alcance con objetivos distintos o una doble tarea, mientras que otros estudios evaluaron la retención 3 meses posteriores a la práctica mediante el Fugl-Meyer Motor Assessment.⁵

Aunque el desempeño motor es el parámetro evaluativo más común, la transferencia y la retención son mejores indicadores para inferir el aprendizaje. Como el desempeño motor está influenciado por factores transitorios como la retroalimentación, atención, fatiga o motivación, la evaluación de este comportamiento puede limitarse a fases tempranas de aprendizaje.^{5,10} Por el contrario, la retención evalúa como se retiene una habilidad durante un periodo y refleja la fuerza de la memoria motora a través del tiempo, mientras que la transferencia evalúa la generalización de lo aprendido durante la práctica y refleja la flexibilidad de la memoria motora.¹⁰

El desempeño aceptable en una o varias sesiones clínicas no demuestra el aprendizaje de una habilidad motora entrenada, sino hasta confirmar su retención o transferencia.¹¹ Además, la idea de generalización y transferencia es de importancia crítica para la rehabilitación. Entrenar una tarea en clínica puede mejorar su desempeño, pero no garantiza su transferencia a ninguna actividad de la vida diaria en el hogar.⁴ Por esta razón, se ha sugerido que la retención y la transferencia, en lugar de únicamente el desempeño motor, deben implementarse para negar los cambios de transitorios del desempeño y detectar el aprendizaje motor en el paciente con ACV.⁵

Conclusiones

El aprendizaje motor y sus diversas estrategias juegan un importante rol en la rehabilitación del ACV. La práctica, el entrenamiento repetitivo y la retroalimentación son principios con beneficios que pueden desencadenar una reorganización cerebral y favorecer el aprendizaje de habilidades motoras en pacientes con ACV. Además, enfoques terapéuticos estandarizados o emergentes han incluido estos principios dentro de sus respectivos protocolos para promover el aprendizaje motor en esta población neurológica. Por otro lado, los parámetros más utilizados para evaluar el aprendizaje motor en pacientes con ACV son el desempeño motor, la transferencia y la retención. Aunque el desempeño motor sea el indicador más utilizado y flexible para medir el aprendizaje motor, la transferencia y la retención representan parámetros más confiables para inferir el aprendi-

zaje de habilidades en pacientes con ACV. Estas estrategias o enfoques para promover y evaluar el aprendizaje motor pueden exhibir sus particularidades, pero pueden ser utilizados de manera individual o complementada para favorecer la rehabilitación del ACV considerando la condición del paciente y los objetivos clínicamente planeados del tratamiento.

Referencias

1. Noe Sebastian E, Balasch Bernat M, Colomer Font C, Moliner Munoz B, Rodriguez Sanchez Leiva C, Ugart P, et al. Ictus y discapacidad: estudio longitudinal en pacientes con discapacidad moderada-grave tras un ictus incluidos en un programa de rehabilitación multidisciplinar. *Rev Neurol*. 2017;64:385–92.
2. Bravo-Esteban E, López-Larraz E. Potenciación del reaprendizaje motor y la recuperación funcional en pacientes con ictus: estrategias no invasivas de modulación del sistema nervioso central. *Rev Neurol*. 2016;62:273–81.
3. Zeiler SR, Krakauer JW. The interaction between training and plasticity in the post-stroke brain. *Curr Opin Neurol*. 2013;26(6):609-616.
4. Krakauer JW. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Curr Opin Neurol*. 2006;19:84-90.
5. Shishov N, Melzer I, Bar-Haim S. Parameters and Measures in Assessment of Motor Learning in Neurorehabilitation; A Systematic Review of the Literature. *Front Hum Neurosci*. 2017;11:1-26
6. Winstein C, Lewthwaite R, Blanton SR, Wolf LB, Wishart L. Infusing motor learning research into neurorehabilitation practice: a historical perspective with case exemplar from the accelerated skill acquisition program. *J neurol phys ther*. 2014;38:190-200.
7. Lefebvre S, Laloux P, Peeters A, Desfontaines P, Jamart J, Vandermeeren Y. Dual-tDCS enhances online motor skill learning and long-term retention in chronic stroke patients. *Front hum neurosci*. 2013; 6: 343.
8. Ibacache-Palma A, Araya-Quintanilla F, Aguilera-Eguía R, Muñoz-Yañez MJ. Aprendizaje motor y neuroplasticidad en el dolor crónico: narrativa. *Rehabil*. 2018;52:259-66.
9. Cano de la Cuerda R, Molero Sánchez A, Carratalá Tejada M, Alguacil Diego IM, Molina Rueda F, Miangolarra Page JC, et al. Teorías y modelos de control y aprendizaje motor. Aplicaciones clínicas en neurorrehabilitación. *Neurol*. 2015;30:32-41.
10. Kantak SS, Winstein CJ. Learning–performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. *Behavi Bra Res*. 2012;228: 219-31.
11. Muratori LM, Lamberg EM, Quinn L, Duff, SV. Applying principles of motor learning and control to upper extremity rehabilitation. *J Hand Ther*. 2013;26:94-103.
12. Sawers A, Hahn ME, Kelly VE, Czerniecki JM, Kartin D. Beyond componentry: How principles of motor learning can enhance locomotor rehabilitation of individuals with lower limb loss—A review. *JRRD*. 2012;49:1431-42.
13. Bovend'Eerd TJH, Dawes H, Sackley C, Wade DT. Practical research-based guidance for motor imagery practice in neurorehabilitation. *Disab Rehab*. 2012; 34:2192-220.
14. Kal E, Prosée R, Winters M, Van Der Kamp J. Does implicit motor learning lead to greater automatization of motor skills compared to explicit motor learning? A systematic review. *PloS one*. 2018;13:e0203591
15. Manes J, Robin DA. A motor learning perspective for optimizing intervention intensity. *Int J Spee Lang Patho*. 2012;14:447-50.
16. Subramanian SK, Massie CL, Malcolm MP, Levin MF. Does provision of extrinsic feedback result in improved motor learning in the upper limb post-stroke? A systematic review of the evidence. *Neurorehab neur rep*. 2010;24:113-24.
17. Lowe MS, Buchwald A. The Impact of Feedback Frequency on Performance in a Novel Speech Motor Learning Task. *J Spee Lang Hear Res*. 2017; 60:1712-25.
18. Madhavan S, Shah B. Enhancing motor skill learning with transcranial direct current stimulation—a concise review with applications to stroke. *Front psychi*. 2012;3:66.
19. Boyd LA, Vidoni ED, Wessel BD. Motor learning after stroke: is skill acquisition a prerequisite for contralesional neuroplastic change? *Neurosc Lett*. 2010;482:21–5.
20. Hosp JA, Luft AR. Cortical Plasticity during Motor Learning and Recovery after Ischemic Stroke. *Neur Plast*. 2011; 2011:ID 871296.
21. Huang VS, Krakauer JW. Robotic neurorehabilitation: a computational motor learning perspective. *J Neuroeng Rehab*. 2009;6:5.
22. Subramanian SK, Feldman AG, Levin MF. Spasticity may obscure motor learning ability after stroke. *J Neurophys*. 2018;119:5–20.
23. Kimberley TJ, Samargia S, Moore LG, Shakya JK, Lang CE. Comparison of amounts and types of practice during rehabilitation for traumatic brain injury and stroke. *J Rehab Res Develop*. 2010;47:851-62.
24. Casadio M, Sanguineti V. Learning, Retention, and Slacking: A Model of the Dynamics of Recovery in Robot Therapy. *Trans Neur Syst Rehab Eng*. 2012; 20:286-96.

25. Molier BI, Prange GB, Krabben T, Stienen AHA, van der Kooij H, Buurke JH, et al. Effect of position feedback during task-oriented upper-limb training after stroke: Five-case pilot study. *J Rehab Res Develop.* 2011;48:1109-18.
26. Levin MF, Weiss PL, Keshner EA. Emergence of Virtual Reality as a Tool for Upper Limb Rehabilitation: Incorporation of Motor Control and Motor Learning Principles. *Phys Ther.* 2015;95:415-25.
27. Takeuchi N, Izumi SI. Rehabilitation with Post-stroke Motor Recovery: A Review with a Focus on Neural Plasticity. *Stro Res Treat.* 2013; 2013:ID 128641
28. Rohrbach N, Chicklis E, Levac DE. What is the impact of user affect on motor learning in virtual environments after stroke? A scoping review. *Journal of neuroengineering and rehabilitation.* 2019;16:79.
29. Piron L, Turolla A, Agostini M, Zucconi CS, Ventura L, Tonin P, et al. Motor learning principles for rehabilitation: a pilot randomized controlled study in poststroke patients. *Neurorehab Neur Rep.* 2010;24:501-8.
30. Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, Van Wegen EEH, Meskers CGM, Kwakkel G. Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Neurorehab Neur Rep,* 2017;31:107-21.
31. Mehrholz J, Pohl M. Electromechanical-assisted gait training after stroke: a systematic review comparing end-effector and exoskeleton devices. *Journal of rehabilitation medicine,* 2012;44:193-99.
32. Tanaka S, Sandrini M, Cohen LG. Modulation of motor learning and memory formation by non-invasive cortical stimulation of the primary motor cortex. *Neuropsych Rehab.* 2011; 21:650-75
33. Kwakkel G, Veerbeek JM, van Wegen EE, Wolf SL. Constraint-induced movement therapy after stroke. *Lancet Neurol.* 2015;14:224-34.
34. Thrane G, Friberg O, Anke A, Indredavik B. A meta-analysis of constraint-induced movement therapy after stroke. *J Rehabil Med.* 2014;46:833-42
35. Arlette D. Descripción de la terapia de restricción inducida: Aplicabilidad en el contexto clínico. *Rev Mex Neuro.* 2012;13:223-32.
36. McIntyre A, Viana R, Janzen S, Mehta, S, Pereira S, Teasell, R. Systematic review and meta-analysis of constraint-induced movement therapy in the hemiparetic upper extremity more than six months post stroke. *Top stroke rehab.* 2012;19:499-513.
37. Land WM, Liu B, Cordova A, Fang M, Huang Y, Yao WX. (2016). Effects of physical practice and imagery practice on bilateral transfer in learning a sequential tapping task. *PloS one.* 2016;11:e0152228.
38. Ausenda CD, Togni G, Biffi M, Morlacchi S, Corrias, M, Cristoforetti G. A new idea for stroke rehabilitation: Bilateral transfer analysis from healthy hand to the paretic one with a randomized and controlled trial. *Int J Phys Med Rehabil.* 2014.
39. Latimer, CP, Keeling J, Lin B, Henderson M, Hale LA. The impact of bilateral therapy on upper limb function after chronic stroke: a systematic review. *Disab and rehab.* 2010;32:1221-31.
40. Charlotte Brunner I, Sture Skouen J, Inger Strand L. Is modified constraint-induced movement therapy more effective than bimanual training in improving arm motor function in the subacute phase post stroke? A randomized controlled trial. *Clinic Rehab.* 2012;26:1078-86.

Financiación: *La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.*

Conflictos de interés: *Ningún conflicto de interés ha sido declarado por los autores.*