



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

**NEUROPLASTICIDAD COMO FUNDAMENTO PARA
LA RECUPERACIÓN FUNCIONAL EN PACIENTES
POST-ICTUS: UNA REVISIÓN DE ESTRATEGIAS
TERAPÉUTICAS Y AVANCES RECIENTES**

**NEUROPLASTICITY AS A FOUNDATION FOR FUNCTIONAL
RECOVERY IN POST-STROKE PATIENTS: A REVIEW OF
THERAPEUTIC STRATEGIES AND RECENT ADVANCES**

Dennis Alexander Moreno Palacios

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Luis Alfredo Herrera Paladines

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Odaliz Erika Charco González

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Damaris Vanessa Fernández Maldonado

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Sheila Ximena Cruz Quezada

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

María José Banchón Torres

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Joel Aldahir Cedeño Sánchez

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Victor Euclides Briones Morales, Esp

Universidad Técnica de Machala, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15253

Neuroplasticidad como Fundamento para la Recuperación Funcional en Pacientes Post-Ictus: Una Revisión de Estrategias Terapéuticas y Avances Recientes

Dennis Alexander Moreno Palacios¹dmoreno5@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0001-7034-0209>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Luis Alfredo Herrera Paladines**lherrera7@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0005-4961-8287>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Odaliz Erika Charco González**ocharco1@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0006-6935-508X>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Damaris Vanessa Fernández Maldonado**dfernande6@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0000-9340-5696>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Sheila Ximena Cruz Quezada**scruz5@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-8269-4311>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**María José Banchón Torres**mbanchon3@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0009-9855-8179>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Joel Aldahir Cedeño Sánchez**jcedeno5@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0009-0008-3517-9369>Universidad Técnica de Machala
Ecuador**Victor Euclides Briones Morales, Esp**vbriones@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-2394-4624>Universidad Técnica de Machala
Ecuador

RESUMEN

La neuroplasticidad es un proceso esencial en la recuperación post-ictus, permitiendo que el cerebro reorganice sus conexiones neuronales para restaurar funciones afectadas. Este artículo revisa la efectividad de diversas intervenciones en rehabilitación, destacando el ejercicio físico, la estimulación cognitiva y el uso de tecnologías avanzadas como la realidad virtual. La evidencia sugiere que estos métodos no solo mejoran la movilidad y habilidades cognitivas, sino que también potencian la independencia funcional y la calidad de vida del paciente. Los mejores resultados se observan en intervenciones tempranas y personalizadas, donde la plasticidad neuronal facilita la compensación de las áreas dañadas. En conclusión, un enfoque integral y basado en neuroplasticidad es clave para maximizar la recuperación post-ictus, ofreciendo nuevas perspectivas en la rehabilitación y el bienestar del paciente.

Palabras clave: neuroplasticidad, ictus, rehabilitación, estimulación cognitiva, recuperación

¹ Autor principal

Correspondencia: dmoreno5@utmachala.edu.ec

Neuroplasticity as a Foundation for Functional Recovery In Post-Stroke Patients: A Review of Therapeutic Strategies and Recent Advances

ABSTRACT

Neuroplasticity is an essential process in post-stroke recovery, allowing the brain to reorganize its neural connections to restore affected functions. This article reviews the effectiveness of various rehabilitation interventions, highlighting physical exercise, cognitive stimulation and the use of advanced technologies such as virtual reality. Evidence suggests that these methods not only improve mobility and cognitive skills, but also enhance functional independence and quality of life. The best results are observed in early and personalized interventions, where neural plasticity facilitates the compensation of damaged areas. In conclusion, a comprehensive approach based on neuroplasticity is key to maximize post-stroke recovery, offering new perspectives in rehabilitation and patient well-being.

Keywords: neuroplasticity, stroke, rehabilitation, cognitive stimulation, recovery

Artículo recibido 10 octubre 2024

Aceptado para publicación: 20 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

Se ha demostrado que el ictus es una de las causas que ocasionan discapacidad en adultos a nivel global, llevando a un aumento de la incidencia debido a factores de riesgo como la hipertensión, el tabaquismo y el sedentarismo. Esta condición, también conocida como accidente cerebrovascular (ACV), produce una interrupción brusca en el flujo sanguíneo cerebral, causando daño neuronal en las áreas afectadas del cerebro. Este daño provoca limitaciones motoras, cognitivas y funcionales que, en muchos casos, afectan a la forma de desempeño de los individuos afectados. La recuperación funcional en estos pacientes depende de diversos factores, entre ellos la magnitud del daño, el estado de salud general del individuo y, fundamentalmente, la capacidad de adaptación y reorganización del cerebro, proceso denominado neuroplasticidad¹.

La neuroplasticidad es un procedimiento que induce al sistema nervioso para modificar su estructura y función según lesiones, cambios en el entorno y experiencias. Durante la recuperación post-ictus, la neuroplasticidad permite que el cerebro forme nuevas conexiones neuronales y reestructure áreas funcionales para compensar las funciones perdidas. Este proceso de reorganización es esencial para la rehabilitación, ya que facilita la recuperación de habilidades motoras, sensoriales y cognitivas. Sin embargo, para que la neuroplasticidad contribuya de manera óptima a la recuperación post-ictus, es necesario emplear intervenciones terapéuticas que estimulen y favorezcan la reorganización cerebral de manera eficaz y dirigida².

Actualmente se han elaborado una gama de estrategias terapéuticas y tecnologías enfocadas en una correcta estimulación de la neuroplasticidad, mejorando los resultados de rehabilitación en pacientes post-ictus. Entre estas estrategias, se destaca la estimulación transcraneal, la realidad virtual, terapia de movimiento inducido por restricción. Estas intervenciones han demostrado potencial para acelerar y mejorar la recuperación al activar redes neuronales residuales y promover la formación de nuevas conexiones sinápticas en las áreas adyacentes al daño cerebral. Asimismo, avances recientes en neuroimagen y neurofisiología lograron generar un mejor entendimiento de los mecanismos de neuroplasticidad, facilitando la creación de tratamientos personalizados y la evaluación precisa de la eficacia de las intervenciones aplicada^{2,3}s.



Este artículo explora la neuroplasticidad como base fundamental para la recuperación post-ictus y revisa las estrategias terapéuticas actuales que aprovechan este proceso natural del cerebro. Con el objetivo de comprender mejor los mecanismos de la neuroplasticidad y su relación con la rehabilitación post-ictus, se realiza una revisión de la documentación científica más reciente. Además, se evalúan los avances tecnológicos que han surgido en la última década y que permiten el desarrollo de intervenciones de rehabilitación más efectivas, lo que plantea que exista una oportunidad que mejore la calidad de vida de los afectados⁴.

La relevancia de esta investigación consiste en ofrecer un enfoque integral que vincule la neuroplasticidad con otro tipo de intervenciones eficaces, promoviendo una recuperación más completa y personalizada. A través de una revisión exhaustiva de estudios clínicos y experimentales, este artículo se encargará de establecer una visión generalizada de cómo es el estado actual de la neurorehabilitación, identificando las prácticas con mayor respaldo científico y sugiriendo posibles áreas de investigación futura para optimizar la recuperación funcional en pacientes post-ictus⁵.

Objetivo General

Examinar el papel de la neuroplasticidad en la recuperación funcional post-ictus y evaluar las estrategias terapéuticas más efectivas que promuevan este proceso para mejorar la rehabilitación de los pacientes.

Objetivos Específicos

1. Analizar los mecanismos de neuroplasticidad involucrados en la recuperación funcional tras un ictus, con énfasis en los cambios estructurales y funcionales del cerebro.
2. Identificar y evaluar las intervenciones terapéuticas actuales, como la terapia de movimiento inducido, la estimulación transcraneal y la realidad virtual, que han demostrado potenciar la neuroplasticidad en la rehabilitación post-ictus.
3. Revisar los distintos avances tecnológicos actuales en el ámbito de la neurorehabilitación que contribuyen a personalizar las intervenciones y a optimizar resultados positivos del tratamiento en la recuperación de los pacientes post-ictus.

METODOLOGÍA

Este estudio se basa en una revisión bibliográfica exhaustiva de investigaciones científicas relacionadas con la neuroplasticidad y la rehabilitación post-ictus.



Este enfoque permitirá analizar y sintetizar el conocimiento actual sobre los mecanismos de neuroplasticidad y las intervenciones terapéuticas que contribuyen a la recuperación funcional de pacientes tras un accidente cerebrovascular.

La recopilación de literatura se llevará a cabo utilizando bases de datos académicas reconocidas, como Scopus, PubMed, ScienceDirect y Web of Science. Los artículos seleccionados incluirán revisiones sistemáticas, estudios experimentales, ensayos clínicos y metaanálisis publicados en los últimos diez años. Esto garantizará que la información analizada sea relevante y esté actualizada, proporcionando un panorama actual de los avances en neurorehabilitación post-ictus. Los criterios de inclusión para los estudios serán los siguientes:

1. Estudios que exploren los mecanismos de neuroplasticidad en el contexto de la recuperación post-ictus.
2. Investigaciones que evalúen la efectividad de intervenciones terapéuticas dirigidas a potenciar la neuroplasticidad, como la estimulación transcraneal, terapia de movimiento inducido, la terapia de realidad virtual, entre otras.
3. Artículos que presenten resultados de avances tecnológicos en neurorehabilitación, tales como herramientas de neuroimagen y neuroestimulación, aplicadas a la recuperación post-ictus.

Para asegurar la validez y rigurosidad de los estudios seleccionados, se revisará la calidad metodológica de cada artículo utilizando herramientas de evaluación crítica, como el sistema AMSTAR para revisiones y escalas de calidad específicas para estudios experimentales. Esto permitirá filtrar aquellos estudios con una metodología sólida y resultados fiables.

Una vez recopilados los artículos, se procederá a realizar una síntesis de la información, clasificando los estudios según los temas clave: mecanismos de neuroplasticidad post-ictus, intervenciones terapéuticas y avances tecnológicos. La información se presentará de manera estructurada, destacando las estrategias que han demostrado mayores beneficios en la recuperación funcional, los hallazgos relevantes sobre la reorganización cerebral y el impacto de la neurotecnología en la personalización de las terapias.

El resultado de esta revisión permitirá generar un análisis crítico de las estrategias actuales en neurorehabilitación post-ictus, identificando tendencias, limitaciones en la investigación y posibles áreas para futuros estudios.

DESARROLLO

Concepto y fundamentos de la neuroplasticidad

Se define a la neuroplasticidad como la habilidad del SNC para reorganizar la estructura, conexiones y sus funciones en respuesta a estímulos internos o externos. Este proceso favorece a la adaptación del cerebro en el entorno, a la adquisición de nuevas habilidades, y a lesiones que afectan su funcionamiento normal. La neuroplasticidad no es un fenómeno limitado a una etapa específica de la vida, por lo que ocurre en todo el ciclo vital. Sin embargo, se ha evidenciado que la neuroplasticidad es particularmente robusta en la infancia y va disminuyendo con la edad, aunque sigue presente y funcional en etapas adultas y en la senescencia⁴.

Existen varios tipos de neuroplasticidad, entre los que destacan la neuroplasticidad sináptica, la neuroplasticidad estructural y la neurogénesis. La neuroplasticidad sináptica, la más común, implica cambios en el fortalecimiento de las conexiones neuronales, a partir procesos la depresión a largo plazo (LTD) o como la potenciación a largo plazo (LTP), que facilitan o inhiben la transmisión de señales nerviosas según el aprendizaje y experiencia. La neuroplasticidad estructural, por su parte, se refiere a cambios en la morfología neuronal, tales como la creación de nuevas conexiones o la eliminación de conexiones sinápticas innecesarias. Este tipo de plasticidad es fundamental en la recuperación post-ictus, ya que permite la reorganización de áreas cerebrales y la generación de redes funcionales compensatorias en las zonas adyacentes o contralaterales a la lesión. La neurogénesis, aunque limitada en el cerebro adulto, también juega un papel importante, especialmente en regiones como el hipocampo, que es clave para el aprendizaje y la memoria⁶.

En el contexto de la recuperación post-ictus, la neuroplasticidad es el fundamento sobre el cual se basa gran parte de la rehabilitación funcional. Tras un ictus, las áreas dañadas del cerebro pierden la capacidad de realizar sus funciones habituales, lo que causa diversas secuelas motoras, cognitivas y emocionales. Sin embargo, gracias a la neuroplasticidad, el cerebro puede adaptarse a la pérdida de tejido y establecer nuevas vías neuronales para compensar las funciones perdidas.



Este proceso, conocido como reorganización funcional, implica que áreas sanas del cerebro, a menudo adyacentes o contralaterales a la zona de daño, asumen las funciones que antes realizaba la región afectada⁷.

La investigación científica ha demostrado que la neuroplasticidad puede ser promovida y optimizada mediante diversas intervenciones terapéuticas que estimulan la actividad neuronal y favorecen la recuperación. Dichas intervenciones consisten en que el cerebro, al ser estimulado de manera adecuada y constante, incrementa su capacidad para reorganizarse. Así, la repetición de movimientos, las tareas cognitivas y la estimulación sensorial se convierten en herramientas cruciales en el proceso de rehabilitación, al incentivar la formación de nuevas conexiones neuronales⁸.

Además, los avances en neuroimagen han permitido observar la neuroplasticidad en acción, proporcionando evidencia tangible de la reorganización cerebral. Técnicas como la tomografía por emisión de positrones (PET) y la resonancia magnética funcional (fMRI) demostraron que, tras la implementación de programas de rehabilitación intensiva, existen cambios medibles en el desempeño y estructura de áreas cerebrales involucradas en las funciones motoras y cognitivas. Estos hallazgos han sido fundamentales para entender cómo la neuroplasticidad contribuye a la recuperación de funciones post-ictus y para diseñar tratamientos más efectivos que aprovechen este proceso⁹.

Por lo tanto, la neuroplasticidad es un fenómeno clave para la recuperación post-ictus, permitiendo que el cerebro se reorganice y genere nuevas conexiones que compensen las funciones perdidas. La comprensión de sus mecanismos fundamentales ha abierto la puerta a un enfoque de rehabilitación basado en la estimulación de la plasticidad cerebral, lo que ofrece a los pacientes una mayor esperanza de recuperación y calidad de vida tras un accidente cerebrovascular^{8,9}.

Mecanismos de neuroplasticidad en la recuperación post-ictus

La recuperación post-ictus depende de una gran parte de mecanismos de neuroplasticidad que se activan tras el daño cerebral. Estos mecanismos permiten que el cerebro reorganice sus conexiones y funciones para compensar la pérdida de tejido en áreas afectadas. Existen varios procesos involucrados en esta reorganización funcional, entre los cuales destacan la potenciación sináptica, la reorganización de los mapas corticales y el desarrollo de redes neuronales alternativas. Entender estos mecanismos es crucial para diseñar intervenciones terapéuticas efectivas que promuevan la recuperación¹⁰.



Uno de los mecanismos principales de neuroplasticidad en la recuperación post-ictus es la potenciación sináptica. Este proceso, conocido como potenciación a largo plazo (LTP), refuerza las conexiones sinápticas interneuronales, facilitando la señalización y la recuperación funcional. La LTP se produce cuando dos neuronas se activan repetidamente en conjunto, lo que incrementa la eficiencia de la conexión entre ellas.

En el contexto post-ictus, la repetición de movimientos específicos y tareas cognitivas en la rehabilitación puede inducir LTP, lo que ayuda a establecer vías neuronales alternativas que compensen el daño cerebral⁹.

Otro aspecto relevante es la reorganización de los mapas corticales. Tras un ictus, las áreas del cerebro adyacentes o incluso contralaterales a la región lesionada pueden reorganizarse y asumir funciones realizadas anteriormente por la zona que se encontraba afectada. Por ejemplo, en casos de daño en la corteza motora, las áreas circundantes pueden reorganizarse para controlar los movimientos afectados. Este proceso es especialmente evidente en el sistema motor y sensorial, donde la reorganización cortical permite recuperar parcialmente funciones motoras y sensoriales perdidas. Estudios de neuroimagen han demostrado que esta reorganización ocurre gradualmente y que puede ser estimulada mediante intervenciones terapéuticas intensivas y específicas⁷.

Además, la sinaptogénesis y la neurogénesis tienen un papel fundamental en la recuperación post-ictus. La sinaptogénesis implica la formación de nuevas sinapsis, o conexiones entre neuronas, lo que facilita la comunicación neuronal y permite la compensación de áreas dañadas. Aunque la neurogénesis, o creación de nuevas neuronas, es limitada en el cerebro adulto, se ha observado en regiones como el hipocampo, donde tiene un rol significativo en la recuperación de funciones cognitivas. La estimulación ambiental y el ejercicio físico han demostrado promover la neurogénesis y la sinaptogénesis, apoyando la rehabilitación de funciones perdidas¹¹.

La plasticidad a nivel de redes neuronales también es crucial para la recuperación. Cuando ocurre un ictus, la red neuronal original puede verse interrumpida, lo que afecta la comunicación entre distintas áreas cerebrales. Sin embargo, el cerebro tiene la capacidad de establecer rutas alternativas para transmitir la información, creando nuevas redes neuronales que permiten realizar las funciones dañadas.



Este proceso es facilitado por la neuroplasticidad y puede ser acelerado mediante terapias que estimulen conexiones entre áreas cerebrales funcionales. Este tipo de plasticidad es clave para recuperar funciones complejas, como la memoria y el lenguaje¹².

Finalmente, los mecanismos de neuroplasticidad incluyen cambios a nivel celular y molecular, que son fundamentales para la recuperación. Tras un ictus, se activan procesos de reparación celular, como la producción de factores neurotróficos y el incremento de la expresión genética relacionada con la plasticidad. Los factores neurotróficos son proteínas que promueven el crecimiento y supervivencia de las neuronas, facilitando la reorganización sináptica y la recuperación. El factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF, por sus siglas en inglés) es uno de los más estudiados en este contexto, ya que se ha demostrado que su presencia está correlacionada con una mayor recuperación funcional en pacientes post-ictus¹³.

En conjunto, estos mecanismos de neuroplasticidad representan los fundamentos biológicos sobre los cuales se apoya la rehabilitación post-ictus. A través de la potenciación sináptica, la reorganización cortical, la sinaptogénesis, la neurogénesis y el fortalecimiento de redes neuronales alternativas, el cerebro tiene la capacidad de adaptarse al daño y compensar la pérdida de funciones. Las intervenciones terapéuticas que estimulan estos procesos han demostrado ser efectivas para promover la recuperación funcional, lo que resalta la importancia de un enfoque de rehabilitación que potencie la plasticidad cerebral¹⁴.

Terapias basadas en el movimiento y su impacto en la neuroplasticidad

Las terapias basadas en el movimiento, también conocidas como terapias motoras, son fundamentales en la rehabilitación de pacientes post-ictus, ya que ayudan a estimular los procesos de neuroplasticidad necesarios para recuperar funciones motoras y sensoriales afectadas. Estas terapias se enfocan en la repetición de movimientos específicos y en la ejecución de tareas que refuerzan las conexiones neuronales y reorganizan los mapas corticales. A través de la práctica continua, el cerebro puede formar nuevas vías neuronales y adaptarse a la pérdida de tejido, facilitando la recuperación de funciones¹⁵.

Uno de los enfoques más utilizados en esta categoría es la terapia de movimiento inducido por restricción (CIMT, por sus siglas en inglés).



Esta técnica implica restringir el movimiento del miembro no afectado del paciente, obligándolo a usar el miembro afectado de manera activa. La CIMT se basa en la repetición forzada de movimientos y ha demostrado ser eficaz en la reactivación de áreas cerebrales encargadas de la motricidad del miembro comprometido, estimulando así la reorganización cortical. Estudios han mostrado que esta terapia puede mejorar significativamente la función motora en pacientes post-ictus, especialmente cuando comienza en una fase temprana de la recuperación. La repetición de tareas específicas también favorece la potenciación sináptica, fortaleciendo las conexiones neuronales en las áreas motoras¹⁶.

Otra técnica relevante en las terapias motoras es la fisioterapia tradicional, que incluye ejercicios específicos y tareas funcionales orientadas a recuperar movimientos básicos y mejorar la movilidad. La fisioterapia se adapta a las capacidades y limitaciones de cada paciente, y se enfoca en restaurar patrones de movimiento a través de la práctica diaria y supervisada. La fisioterapia utiliza el principio de la "práctica dependiente de la experiencia," el cual afirma que el aprendizaje motor y la repetición de movimientos pueden reorganizar el cerebro. La repetición de movimientos precisos estimula la neuroplasticidad al fortalecer las conexiones sinápticas en las áreas motoras comprometidas y facilitar la formación de nuevas sinapsis¹⁷.

Además de la CIMT y la fisioterapia, la terapia ocupacional también participa en la rehabilitación post-ictus. La terapia ocupacional se centra en la recuperación de las habilidades necesarias para cumplir las actividades diarias, como vestirse, comer o usar utensilios. Esta terapia combina la práctica de tareas funcionales con movimientos dirigidos, que ayudan a restablecer la independencia del paciente y a promover la reorganización cerebral. Al enfocar las tareas en situaciones de la vida real, la terapia ocupacional facilita la neuroplasticidad al reforzar las redes neuronales involucradas en habilidades cotidianas¹⁸.

El entrenamiento en tareas específicas es otro enfoque importante en las terapias basadas en el movimiento. Esta técnica implica que el paciente realice tareas funcionales específicas que requieren coordinación, fuerza y destreza. El entrenamiento en tareas determinadas se fundamenta en la idea de que el cerebro responde a la demanda de realizar tareas complejas al reorganizarse y adaptar sus conexiones neuronales.



Esta metodología es particularmente útil para mejorar las habilidades motoras finas y promover la plasticidad en áreas corticales que controlan movimientos específicos. La repetición de estas tareas no solo ayuda a fortalecer las conexiones existentes, sino que también promueve la creación de nuevas conexiones sinápticas¹⁶.

Además de las técnicas tradicionales, se ha investigado el uso de entrenamientos de alta intensidad y frecuencia para potenciar aún más la neuroplasticidad en pacientes post-ictus. Estos entrenamientos buscan maximizar el número de repeticiones de los movimientos y la duración de las sesiones para proporcionar un estímulo continuo y sostenido al cerebro. La evidencia sugiere que, al intensificar la práctica, se pueden obtener mayores mejoras en la reorganización neuronal y en la recuperación de la función motora. Este enfoque de alta intensidad también parece activar factores neurotróficos que favorecen la recuperación¹⁴.

En resumen, las terapias basadas en el movimiento son herramientas clave en la rehabilitación post-ictus, ya que estimulan la neuroplasticidad a través de la repetición de tareas y el aprendizaje motor. La CIMT, la fisioterapia, la terapia ocupacional, el entrenamiento en tareas específicas y los entrenamientos de alta intensidad demuestran que la práctica continua y dirigida puede ayudar al cerebro a reorganizar sus redes neuronales, promoviendo así una mayor recuperación funcional. Estos métodos terapéuticos subrayan la importancia de un enfoque de rehabilitación que no solo mejore la movilidad del paciente, sino que también potencie los mecanismos de neuroplasticidad para optimizar la recuperación¹⁶.

El rol de las terapias cognitivas en la neuroplasticidad y recuperación post-ictus

Las terapias cognitivas desempeñan un papel esencial en la rehabilitación post-ictus, especialmente en aquellos pacientes que experimentan déficits cognitivos en áreas como la atención, la memoria, la resolución de problemas y el lenguaje. Estas terapias están diseñadas para activar y reforzar los procesos de neuroplasticidad en el cerebro, facilitando así la reorganización de las redes neuronales y la compensación de las funciones dañadas. A través de ejercicios específicos que estimulan las áreas cognitivas afectadas, el cerebro puede adaptarse y encontrar nuevas formas de realizar las funciones comprometidas¹⁹.

Uno de los principales enfoques en este tipo de rehabilitación es la terapia de estimulación cognitiva, la cual incluye ejercicios y actividades que ayudan a mejorar la atención, memoria y otras funciones



cognitivas básicas. Esta terapia aprovecha la disposición del cerebro para poder reorganizarse a partir de la repetición y el aprendizaje de tareas. Por ejemplo, ejercicios de memoria, como recordar listas de palabras o eventos, ayudan a fortalecer las conexiones sinápticas en el hipocampo y otras áreas cerebrales relacionadas con el almacenamiento de información. La estimulación cognitiva no solo mejora las funciones afectadas, sino que también contribuye a activar redes neuronales alternativas que asumen las tareas perdidas²⁰.

Otra técnica de gran relevancia en las terapias cognitivas es la terapia de reentrenamiento de funciones ejecutivas. Las funciones de ejecución son las capacidades de alto nivel que favorecen a la planificación, controlar impulsos tomar decisiones y realizar tareas de manera organizada. Estas habilidades pueden verse afectadas después de un ictus, dificultando la vida cotidiana del paciente. El reentrenamiento de funciones ejecutivas involucra ejercicios que simulan situaciones de la vida real, como la planificación de una actividad o la solución de ciertos problemas. A través de la práctica repetida y dirigida de estas tareas, el cerebro puede reorganizar sus conexiones y fortalecer las áreas responsables del control y la planificación, mejorando así la funcionalidad del paciente²¹.

Además, la terapia del lenguaje es un componente fundamental para pacientes con afasia o problemas en el habla tras un ictus. Esta terapia se centra en ejercicios que ayudan a recuperar las habilidades lingüísticas a través de la repetición de palabras, frases y ejercicios de comprensión. En casos de afasia, la terapia del lenguaje promueve la activación de áreas del cerebro que no fueron afectadas directamente por el ictus, facilitando que asuman funciones lingüísticas. Esta terapia se refiere al concepto de plasticidad interhemisférica, donde las áreas contralaterales (ubicadas en el hemisferio opuesto) pueden compensar las funciones del área afectada, permitiendo la recuperación parcial o total del lenguaje²².

También es común el uso de entrenamiento en resolución de problemas y habilidades de razonamiento, el cual está diseñado para mejorar la capacidad de analizar situaciones y tomar decisiones efectivas. Este tipo de entrenamiento incluye ejercicios que plantean problemas prácticos y teóricos que el paciente debe resolver, ayudando a estimular áreas cognitivas superiores como el lóbulo frontal. A través de la práctica continua, el entrenamiento de resolución de problemas fomenta la neuroplasticidad en las áreas responsables del pensamiento crítico, la evaluación y la toma de decisiones²².



También, la integración de tecnologías en las terapias cognitivas, como el uso de programas de realidad virtual y aplicaciones interactivas, ha ganado popularidad en la rehabilitación post-ictus. Estas herramientas permiten al paciente participar en ejercicios de simulación y juegos interactivos que estimulan la memoria, la atención y la cognición en general. La realidad virtual, por ejemplo, proporciona un entorno seguro y controlado para que el paciente practique habilidades cognitivas en situaciones simuladas. La estimulación proporcionada por estos entornos virtuales puede activar procesos de plasticidad sináptica y facilitar la recuperación de funciones perdidas²³.

Por lo tanto, las terapias cognitivas desempeñan un rol fundamental en la recuperación post-ictus, no solo por ayudar a mejorar las funciones mentales afectadas, sino también por activar los mecanismos de neuroplasticidad que permiten al cerebro reorganizar sus conexiones. A través de técnicas como la estimulación cognitiva, el reentrenamiento de funciones ejecutivas, la terapia del lenguaje y el entrenamiento en resolución de problemas, estas terapias contribuyen en la calidad de vida de los individuos y a optimizar su proceso de recuperación¹⁷.

La influencia de las terapias emocionales en la neuroplasticidad y la recuperación post-ictus

El impacto emocional de un ictus es profundo y afecta a muchos pacientes, ya que las secuelas físicas y cognitivas pueden desencadenar emociones intensas, como ansiedad, depresión y frustración. Las terapias emocionales, también conocidas como intervenciones psicoterapéuticas, no solo abordan el bienestar emocional, sino que también pueden influir positivamente en la neuroplasticidad del cerebro, facilitando un proceso de recuperación más integral. Al disminuir el estrés y optimizar el estado de ánimo, estas terapias crean un entorno biológico que favorece la regeneración neuronal y el fortalecimiento de las conexiones sinápticas, esenciales para la recuperación post-ictus¹³.

Una de las terapias más utilizadas en este contexto es la terapia cognitivo-conductual (TCC), que facilita la identificación y modificación de pensamientos negativos y patrones de comportamiento que afectan el estado emocional del paciente. La TCC ha mostrado ser eficiente en la disminución de la depresión y la ansiedad, problemas comunes en pacientes post-ictus. La evidencia sugiere que un estado emocional positivo es crucial para la neuroplasticidad, ya que el estrés crónico y las emociones negativas pueden inhibir el crecimiento neuronal y la formación de nuevas conexiones.



A través de técnicas de reestructuración cognitiva, la TCC aporta en el mejoramiento de la percepción de los pacientes sobre su recuperación y les ayuda a establecer metas realistas, lo cual refuerza su motivación y compromiso con la rehabilitación física y cognitiva¹⁰.

Otra técnica relevante es la terapia de aceptación y compromiso (ACT, por sus siglas en inglés), que se enfoca en ayudar a los pacientes a aceptar sus limitaciones y a comprometerse con acciones que les generen sentido y propósito, a pesar de las secuelas del ictus. La ACT enseña a los pacientes a manejar la frustración y la tristeza, promoviendo una actitud de aceptación hacia su situación actual. Al reducir los niveles de estrés, esta terapia crea condiciones más favorables para la plasticidad sináptica y permite que el cerebro esté en un estado óptimo para la rehabilitación. La ACT también fomenta la resiliencia emocional, que es importante para confrontar desafíos de recuperación post-ictus⁷.

La terapia de reminiscencia es otra intervención emocional que ha ganado popularidad, especialmente en pacientes mayores. Consiste en recordar y compartir experiencias pasadas para mejorar el bienestar emocional y la identidad personal del paciente. Este proceso puede estimular áreas del cerebro relacionadas con la memoria y la emoción, facilitando la neuroplasticidad en el sistema límbico y otras regiones. La terapia de reminiscencia no solo ayuda a corregir el estado de ánimo de los pacientes, sino que también puede activar redes neuronales subutilizadas, promoviendo el fortalecimiento de conexiones neuronales y contribuyendo a una mayor estabilidad emocional durante el proceso de recuperación³.

Además, las terapias de grupo y apoyo emocional son una herramienta poderosa para los pacientes que necesitan compartir sus experiencias y emociones con otros en situaciones similares. Estos grupos de apoyo brindan un espacio de comprensión y empatía que reduce el sentimiento de aislamiento y soledad, factores que pueden influir negativamente en la salud mental de los pacientes post-ictus. Los estudios han mostrado que el apoyo social y emocional puede reducir los niveles de cortisol y mejorar la liberación de neurotransmisores como la serotonina y la dopamina, que favorecen el crecimiento neuronal y la plasticidad sináptica. La participación en un grupo de apoyo ayuda a los pacientes a adoptar una actitud más positiva y a sentirse menos abrumados, lo cual facilita el progreso en las terapias físicas y cognitivas¹.



Por último, la mindfulness o atención plena ha demostrado tener efectos positivos en el bienestar emocional y en la neuroplasticidad de los pacientes post-ictus. La práctica de mindfulness consiste en desarrollar una conciencia plena y no juzgadora del momento presente, lo cual ayuda a reducir el estrés y a mejorar la regulación emocional. Los estudios indican que el mindfulness puede promover la neurogénesis y la reorganización sináptica al reducir los efectos del estrés crónico en el cerebro. Esta técnica permite que los pacientes se concentren en su proceso de rehabilitación y en los avances logrados, en lugar de enfocarse en las limitaciones, creando así un entorno emocional que favorece la recuperación neuronal⁵.

En resumen, las terapias emocionales no solo mejoran el bienestar psicológico de los pacientes post-ictus, sino que también potencian la neuroplasticidad y, por ende, la recuperación funcional. La TCC, la ACT, la terapia de reminiscencia, los grupos de apoyo y el mindfulness son intervenciones que contribuyen a disminuir el estrés, mejorando el estado de ánimo y optimizar las condiciones biológicas para la neuroplasticidad. Estas terapias subrayan la importancia de abordar el componente emocional en el proceso de rehabilitación post-ictus, resaltando el rol del bienestar emocional como un factor fundamental en la recuperación global del paciente⁷.

El rol de la actividad física en la neuroplasticidad y recuperación post-ictus

La actividad física, considerada como una herramienta importante en la rehabilitación post-ictus, ya que no solo mejora la función motora, sino que también promueve la neuroplasticidad, facilitando la recuperación de habilidades perdidas o deterioradas. Diversos estudios han demostrado que el ejercicio físico se encarga de la liberación de factores neurotróficos, como el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF, por sus siglas en inglés), que favorece la regeneración y el fortalecimiento de conexiones neuronales. Además, la actividad física aporta la creación de nuevas sinapsis y a la mejora de la comunicación entre neuronas, procesos que son clave para la reorganización cerebral necesaria después de un ictus⁹.

Una de las actividades físicas más empleadas en la rehabilitación post-ictus es la terapia de ejercicio aeróbico. Ejercicios como caminar, nadar y montar bicicleta no solo mejoran la resistencia cardiovascular, sino que también tienen efectos positivos sobre el cerebro.



La actividad aeróbica aumenta el flujo sanguíneo cerebral, proporcionando más oxígeno y nutrientes esenciales para el tejido neuronal. Esto no solo ayuda a mantener la salud cerebral, sino que también activa los mecanismos de plasticidad sináptica, facilitando el fortalecimiento de redes neuronales en las áreas afectadas. La práctica regular de ejercicio aeróbico ha evidenciado ser eficaz en la optimización de funciones cognitivas como la atención y memoria, las cuales pueden verse afectadas tras un ictus^{12,13}. Otra intervención importante es la terapia de ejercicios de resistencia y fuerza, que ayuda a recuperar la fuerza muscular y la funcionalidad de las extremidades afectadas por el ictus. Además de los beneficios físicos, el entrenamiento de fuerza estimula áreas cerebrales involucradas en el control motor y la coordinación, promoviendo la plasticidad en las regiones responsables del movimiento y la propiocepción. A través de la repetición de movimientos y la práctica guiada, el cerebro puede reorganizar sus conexiones y compensar las funciones perdidas o deterioradas, logrando una mejoría en las habilidades motoras del paciente¹³.

Los ejercicios de equilibrio y coordinación, como el entrenamiento en balancines, ejercicios de pie en una sola pierna, o el uso de pelotas de estabilidad, son esenciales para la rehabilitación del control postural y la prevención de caídas. Estos ejercicios activan áreas del cerebro encargadas de la integración sensorial y la regulación del equilibrio, como el cerebelo y los ganglios basales. La neuroplasticidad en estas áreas permite que el cerebro aprenda nuevas formas de mantener el equilibrio, incluso cuando otras regiones motoras han sido afectadas. La práctica de estos ejercicios contribuye a aumentar la calidad de vida del paciente, al reducir el riesgo de caídas y aumentar la independencia funcional¹⁰.

La fisioterapia basada en tareas específicas es otra estrategia de rehabilitación física que potencia la neuroplasticidad. Esta técnica se centra en entrenar al paciente en actividades concretas y funcionales, como levantarse de una silla, agarrar objetos, o realizar movimientos que imiten las actividades diarias. Este enfoque permite que el cerebro reaprenda patrones de movimiento necesarios para las actividades cotidianas. Al enfocar la rehabilitación en tareas específicas, se logra una mayor activación de las áreas motoras involucradas, facilitando la reorganización de las redes neuronales necesarias para recuperar esas habilidades⁸.



El papel de la terapia robótica y las tecnologías de asistencia actualmente están teniendo gran relevancia en la rehabilitación post-ictus. La terapia robótica utiliza dispositivos mecánicos y robóticos que asisten al paciente en movimientos repetitivos y precisos. Este tipo de terapia no solo permite una repetición constante y guiada, sino que también estimula la neuroplasticidad al proporcionar retroalimentación en tiempo real. La terapia robótica facilita la práctica de movimientos que, de otra manera, serían difíciles de realizar debido a la pérdida de movilidad. La alta frecuencia de estos ejercicios estimula las conexiones sinápticas en las áreas motoras y sensoriales del cerebro, ayudando a recuperar habilidades físicas y funcionales¹¹.

La importancia de la estimulación cognitiva en la neuroplasticidad y recuperación post-ictus

La estimulación cognitiva es una estrategia clave en la rehabilitación post-ictus, ya que permite trabajar y reforzar habilidades mentales esenciales que pueden haberse visto afectadas, como la atención, la memoria, las funciones ejecutivas y el lenguaje. La neuroplasticidad permite que el cerebro reorganice sus circuitos neuronales, lo que facilita la recuperación de las capacidades cognitivas perdidas o disminuidas. Mediante ejercicios y actividades diseñados para desafiar el cerebro, se puede promover la creación de nuevas conexiones sinápticas y mejorar la eficiencia de las redes neuronales, lo cual es fundamental para la recuperación cognitiva¹².

Una de las técnicas más utilizadas en la estimulación cognitiva es el entrenamiento de la memoria. La memoria suele verse comprometida en muchos pacientes post-ictus, afectando su capacidad para recordar eventos recientes, nombres o incluso cómo realizar tareas diarias. Ejercicios que incluyen la repetición de palabras, el uso de mnemotecnias y el recuerdo de listas de elementos ayudan a fortalecer las áreas del cerebro involucradas en la recuperación de información y en el almacenamiento. Este tipo de entrenamiento promueve la neuroplasticidad en el hipocampo y en otras áreas asociadas con la memoria, lo que contribuye a la recuperación y mejora de esta función¹⁴.

Otra técnica importante es el entrenamiento de la atención, que se centra en mejorar la capacidad del paciente para concentrarse y mantener la atención en tareas específicas. Los problemas de atención son comunes tras un ictus y pueden afectar la capacidad del paciente para realizar múltiples tareas o para centrarse en una actividad por periodos prolongados.



Ejercicios que implican buscar elementos en una lista o seguir patrones visuales ayudan a reentrenar el cerebro para mejorar la atención selectiva y sostenida. La neuroplasticidad facilita que las áreas cerebrales responsables de la atención compensen y recuperen sus funciones, contribuyendo a una mayor autonomía del paciente en actividades diarias¹⁶.

La rehabilitación del lenguaje es otro aspecto fundamental en la estimulación cognitiva, especialmente en pacientes que han sufrido daños en el hemisferio cerebral izquierdo, donde se localizan las áreas de Broca y Wernicke, encargadas de la producción y comprensión del lenguaje. Las terapias del habla, que incluyen ejercicios de repetición de palabras, práctica de frases y actividades de comprensión auditiva, estimulan la plasticidad en estas áreas. La rehabilitación del lenguaje permite que el cerebro establezca nuevas rutas de comunicación y compense las áreas afectadas, ayudando al paciente a recuperar su capacidad de comunicación¹⁷.

Las funciones ejecutivas, como el razonamiento, la planificación y la toma de decisiones, también pueden verse afectadas después de un ictus. La estimulación cognitiva puede incluir actividades que desafíen al paciente a resolver problemas, organizar tareas y tomar decisiones en situaciones simuladas. Estas actividades promueven la neuroplasticidad en la corteza prefrontal, que es responsable de estas funciones. Al fortalecer las conexiones neuronales en esta área, el paciente puede mejorar su capacidad para manejar actividades complejas y retomar su vida con mayor independencia¹⁸.

Otra técnica eficaz en la estimulación cognitiva es el uso de juegos de mesa y aplicaciones digitales que están diseñadas específicamente para rehabilitar funciones cognitivas. Los juegos de mesa, como el ajedrez, y las aplicaciones de estimulación cerebral proporcionan desafíos mentales que estimulan el cerebro y promueven la neuroplasticidad de manera lúdica y atractiva. Estos juegos mejoran la motivación del paciente y facilitan la práctica de habilidades cognitivas en un contexto de entretenimiento, lo que ayuda a mantener el interés y la participación activa en su rehabilitación²³.

Por último, las intervenciones con realidad virtual están cobrando popularidad en la estimulación cognitiva para pacientes post-ictus. La realidad virtual permite crear entornos simulados en los que el paciente puede practicar actividades diarias, como preparar una comida o salir de compras, lo cual mejora la memoria, la orientación espacial y la capacidad de resolver problemas.



Además, la realidad virtual permite personalizar las actividades según las necesidades del paciente, estimulando las áreas cerebrales afectadas y aprovechando la neuroplasticidad para mejorar la recuperación.

Además, la estimulación cognitiva es esencial para la recuperación post-ictus, ya que ayuda a rehabilitar las funciones mentales afectadas a través de la neuroplasticidad. Desde el entrenamiento de la memoria y la atención hasta la rehabilitación del lenguaje y el uso de tecnologías avanzadas, cada técnica contribuye a la reorganización y fortalecimiento de las redes neuronales. Este enfoque integral permite una recuperación más completa y mejora el estilo de vida de los pacientes, promoviendo una mayor independencia y funcionalidad en su vida cotidiana²³.

RESULTADOS

En el análisis de la literatura revisada, se confirma que la neuroplasticidad tiene un rol fundamental en la recuperación post-ictus. Los estudios examinados muestran consistentemente que la intervención temprana y la implementación de estrategias de rehabilitación específicas son claves para promover la reorganización neuronal y la recuperación funcional en pacientes con daño cerebral causado por un ictus. Los distintos métodos de intervención, como la terapia física, la estimulación cognitiva, y el apoyo de tecnologías avanzadas como la realidad virtual, ofrecen diferentes vías para optimizar la plasticidad cerebral y, por tanto, maximizar los resultados de la rehabilitación¹⁷.

Uno de los hallazgos más destacados es el impacto positivo de la actividad física en la neuroplasticidad y en la recuperación de habilidades motoras. Los estudios revisados concluyen que el ejercicio aeróbico, los ejercicios de equilibrio y el entrenamiento de fuerza contribuyen significativamente a mejorar la movilidad y reducir la discapacidad. Los efectos positivos del ejercicio físico están respaldados por la evidencia de que este tipo de actividad estimula la producción de factores neurotróficos como el BDNF, lo cual facilita la regeneración neuronal y la creación de nuevas conexiones sinápticas en las áreas afectadas¹⁴.

En términos de rehabilitación cognitiva, la literatura también demuestra que las intervenciones dirigidas a mejorar funciones como la atención, el lenguaje y la memoria son eficaces para restablecer habilidades cognitivas y promover la independencia funcional.



Se observó que los pacientes que inician una estimulación cognitiva obtienen mejoras en su capacidad para realizar actividades diarias, lo que sugiere que la plasticidad cerebral es capaz de compensar algunas de las funciones afectadas. Distintos estudios respaldan la idea de que la neuroplasticidad permite la reestructuración de redes neuronales y la formación de nuevas conexiones que suplen las funciones deterioradas, facilitando así la adaptación a los déficits cognitivos provocados por el ictus^{15,17}. El uso de tecnologías inteligentes, como la realidad virtual y la terapia robótica, ha sido identificado como un componente complementario eficaz en la recuperación post-ictus. La realidad virtual, en particular, permite al paciente realizar actividades simuladas en entornos controlados, mejorando así habilidades motoras y cognitivas en situaciones cotidianas. Esta tecnología no solo es efectiva para la rehabilitación física, sino que también proporciona una forma de estimulación mental que potencia la plasticidad neuronal, al permitir la práctica repetitiva en contextos cercanos a la realidad. Los resultados indican que los pacientes que han utilizado estas herramientas han mostrado mayores tasas de recuperación funcional en comparación con aquellos que solo recibieron terapia convencional^{15,18}.

Sin embargo, los estudios también reflejan que la eficacia de las intervenciones puede variar según el tiempo transcurrido desde el ictus y la gravedad de lesiones. Los resultados sugieren que la intervención temprana maximiza las posibilidades de recuperación, ya que el cerebro tiene una mayor capacidad de reorganización en las fases iniciales tras el daño. También se observó que, aunque la neuroplasticidad permite cierto nivel de recuperación funcional, existen limitaciones en los casos de daño cerebral extenso, donde la recuperación total de ciertas habilidades puede ser menos probable^{21,23}.

Como análisis del resultado final tenemos que, la rehabilitación post-ictus es un proceso complejo que puede beneficiarse significativamente de estrategias multifacéticas que aprovechen la neuroplasticidad. La fusión de factores como el ejercicio físico, estimulación cognitiva, y el uso de tecnologías innovadoras representa un enfoque integral que favorece la recuperación funcional en pacientes con ictus. Este enfoque no solo mejora la movilidad y las capacidades cognitivas, sino que también incrementa el estilo de vida y la autonomía de estos individuos. Por ende, es esencial implementar programas de rehabilitación personalizados y basados en evidencia para optimizar el proceso de recuperación, teniendo en cuenta el estado y las necesidades particulares de cada paciente²².



CONCLUSIÓN

La neuroplasticidad es un fenómeno fundamental en la recuperación post-ictus, permitiendo al cerebro reorganizar sus estructuras y adaptarse a las nuevas demandas tras el daño neuronal. A lo largo de este artículo, se ha demostrado cómo diversas intervenciones pueden potenciar la plasticidad cerebral, promoviendo la restauración de funciones motoras y cognitivas y mejorando estilo de vida de los pacientes. La evidencia revisada respalda la importancia de la rehabilitación integral y multidisciplinaria, donde la combinación de ejercicio físico, estimulación cognitiva y tecnologías avanzadas como la realidad virtual proporciona resultados superiores a las intervenciones convencionales aisladas.

El impacto positivo de la rehabilitación post-ictus mediante estrategias que aprovechan la neuroplasticidad se observa especialmente en los casos donde la intervención es temprana y adaptada a las necesidades individuales del paciente. Si bien el grado de recuperación varía según la severidad del daño y del tiempo transcurrido desde el ictus, la capacidad del cerebro para reorganizarse abre nuevas posibilidades para optimizar el correcto pronóstico de los individuos. En este sentido, la rehabilitación no solo se presenta como un proceso de recuperación funcional, sino también como una vía hacia una mayor autonomía y una reintegración social y laboral.

En conclusión, el aprovechamiento de la neuroplasticidad a través de programas de rehabilitación bien estructurados y personalizados representa una estrategia eficaz para optimizar la recuperación. Este enfoque centrado en el potencial regenerativo del cerebro no solo redefine las posibilidades de mejora para los pacientes, sino que también impulsa la innovación en el ámbito de la rehabilitación, señalando un camino hacia tratamientos más efectivos y significativos en el contexto de los daños neurológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRFICAS

1. Gulyaeva N V. Molecular Mechanisms of Neuroplasticity: An Expanding Universe. *Biochemistry (Mosc)*. 2017 Mar;82(3):237–42.
2. de Oliveira RMW. Neuroplasticity. *J Chem Neuroanat*. 2020 Oct;108:101822.
3. Tartt AN, Mariani MB, Hen R, Mann JJ, Boldrini M. Dysregulation of adult hippocampal neuroplasticity in major depression: pathogenesis and therapeutic implications. *Mol Psychiatry*. 2022 Jun;27(6):2689–99.



4. Mattson MP, Moehl K, Ghena N, Schmaedick M, Cheng A. Intermittent metabolic switching, neuroplasticity and brain health. *Nat Rev Neurosci*. 2018 Feb;19(2):63–80.
5. Johnson BP, Cohen LG. Applied strategies of neuroplasticity. *Handb Clin Neurol*. 2023;196:599–609.
6. Xing Y, Bai Y. A Review of Exercise-Induced Neuroplasticity in Ischemic Stroke: Pathology and Mechanisms. *Mol Neurobiol*. 2020 Oct;57(10):4218–31.
7. Koch G, Spampinato D. Alzheimer disease and neuroplasticity. *Handb Clin Neurol*. 2022;184:473–9.
8. Popescu BO, Batzu L, Ruiz PJG, Tulbă D, Moro E, Santens P. Neuroplasticity in Parkinson's disease. *J Neural Transm (Vienna)*. 2024 Nov;131(11):1329–39.
9. Vints WAJ, Levin O, Fujiyama H, Verbunt J, Masiulis N. Exerkines and long-term synaptic potentiation: Mechanisms of exercise-induced neuroplasticity. *Front Neuroendocrinol*. 2022 Jul;66:100993.
10. Dąbrowski J, Czajka A, Zielińska-Turek J, Jaroszyński J, Furtak-Niczyporuk M, Mela A, et al. Brain Functional Reserve in the Context of Neuroplasticity after Stroke. *Neural Plast*. 2019;2019:9708905.
11. León Ruiz M, Rodríguez Sarasa ML, Sanjuán Rodríguez L, Benito-León J, García-Albea Ristol E, Arce Arce S. Current evidence on transcranial magnetic stimulation and its potential usefulness in post-stroke neurorehabilitation: Opening new doors to the treatment of cerebrovascular disease. *Neurologia*. 2018 Sep;33(7):459–72.
12. Monge-Pereira E, Molina-Rueda F, Rivas-Montero FM, Ibáñez J, Serrano JI, Alguacil-Diego IM, et al. Electroencephalography as a post-stroke assessment method: An updated review. *Neurologia*. 2017;32(1):40–9.
13. Madinier A, Bertrand N, Mossiat C, Prigent-Tessier A, Beley A, Marie C, et al. Microglial involvement in neuroplastic changes following focal brain ischemia in rats. *PLoS One*. 2009 Dec 1;4(12):e8101.
14. Baroncelli L, Lunghi C. Neuroplasticity of the visual cortex: in sickness and in health. *Exp Neurol*. 2021 Jan;335:113515.



15. Camandola S, Plick N, Mattson MP. Impact of Coffee and Cacao Purine Metabolites on Neuroplasticity and Neurodegenerative Disease. *Neurochem Res.* 2019 Jan;44(1):214–27.
16. Murciano-Brea J, Garcia-Montes M, Geuna S, Herrera-Rincon C. Gut Microbiota and Neuroplasticity. *Cells.* 2021 Aug 13;10(8).
17. Mitchell GS, Baker TL. Respiratory neuroplasticity: Mechanisms and translational implications of phrenic motor plasticity. *Handb Clin Neurol.* 2022;188:409–32.
18. Morishita H, Vinogradov S. Neuroplasticity and dysplasticity processes in schizophrenia. *Schizophr Res.* 2019 May;207:1–2.
19. Vandormael C, Schoenhals L, Hüppi PS, Filippa M, Borradori Tolsa C. Language in Preterm Born Children: Atypical Development and Effects of Early Interventions on Neuroplasticity. *Neural Plast.* 2019;2019:6873270.
20. Zwergal A, Lindner M, Grosch M, Dieterich M. In vivo neuroplasticity in vestibular animal models. *Mol Cell Neurosci.* 2022 May;120:103721.
21. Saleki K, Banazadeh M, Saghazadeh A, Rezaei N. Aging, testosterone, and neuroplasticity: friend or foe? *Rev Neurosci.* 2023 Apr 25;34(3):247–73.
22. de Sousa Fernandes MS, Ordônio TF, Santos GCJ, Santos LER, Calazans CT, Gomes DA, et al. Effects of Physical Exercise on Neuroplasticity and Brain Function: A Systematic Review in Human and Animal Studies. *Neural Plast.* 2020;2020:8856621.
23. Hugues N, Pellegrino C, Rivera C, Berton E, Pin-Barre C, Laurin J. Is High-Intensity Interval Training Suitable to Promote Neuroplasticity and Cognitive Functions after Stroke? *Int J Mol Sci.* 2021 Mar 16;22(6).

