

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/371420765>

Efectos de la actividad física sobre el envejecimiento cerebral saludable. Revisión sistemática

Article in *Salud Ciencia y Tecnología* · June 2023

DOI: 10.56294/saludcyl2023415

CITATIONS

0

READS

61

3 authors, including:



Carlos Rojas Z

University of Bío-Bío

14 PUBLICATIONS 7 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Fabiola Sáez-Delgado

Universidad Católica de la Santísima Concepción

87 PUBLICATIONS 416 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



FONDECYT INICIACIÓN N°11201054 "LA RELACIÓN RECÍPROCA ENTRE LA AUTORREGULACIÓN DEL PROFESOR Y LA AUTORREGULACIÓN DEL APRENDIZAJE Y DESEMPEÑO ACADÉMICO DEL ESTUDIANTE. UN MODELO EXPLICATIVO EN EDUCACIÓN MEDIA" [View project](#)



Proyecto FONDEF ID17110393 [View project](#)



REVISIÓN SISTEMÁTICA

Efectos de la actividad física sobre el envejecimiento cerebral saludable. Revisión sistemática

Effects of physical activity on healthy brain aging. Systematic review

Claudio San Martín-Barra¹  , Carlos Rojas-Zepeda²  , Fabiola Sáez-Delgado³  

¹Universidad de Concepción, Departamento de Psiquiatría y Salud Mental, Concepción, Chile.

²Universidad del Bío-Bío, Departamento de Ciencias de la Rehabilitación en Salud, Concepción, Chile.

³Universidad Católica de la Santísima de Concepción, Concepción, Chile.

Citar como: San Martín C, Rojas Zepeda C, Sáez F. Efectos de la actividad física sobre el envejecimiento cerebral saludable. Revisión sistemática. Salud, Ciencia y Tecnología. 2023;3:415. <https://doi.org/10.56294/saludcyt2023415>

Enviado: 23-04-2023

Revisado: 09-05-2023

Aceptado: 06-06-2023

Publicado: 07-06-2023

Editor: Dr. William Castillo González 

RESUMEN

Introducción: aunque existe consenso en que la actividad física desempeña un papel fundamental en el envejecimiento exitoso, es necesario investigar el impacto real que tiene en el cerebro.

Objetivo: el objetivo de este estudio es identificar los efectos de la actividad física en el envejecimiento cerebral saludable, analizando los cambios estructurales y/o funcionales que puede generar en el cerebro. Además, se pretende determinar si la participación regular en actividad física a lo largo de toda la vida es un factor predictivo de un envejecimiento cerebral saludable.

Métodos: se llevó a cabo una revisión sistemática en tres bases de datos: Web of Science, Scopus y PubMed, siguiendo las directrices PRISMA-P. Se incluyeron artículos publicados entre 2010 y 2023. Se consideraron estudios experimentales, cuasi-experimentales, ensayos clínicos y estudios de cohorte.

Resultados: se identificaron un total de 63 artículos, de los cuales se incluyeron 17 en el análisis. De estos, 14 informaron sobre efectos significativos de la actividad física en el envejecimiento cerebral saludable, de los cuales 11 evidenciaron beneficios estructurales, 2 funcionales y 1 mixto. Además, 13 artículos demostraron que participar en actividad física a lo largo de la vida favorece el envejecimiento cognitivo.

Conclusiones: el desarrollo de actividad física a lo largo de toda la vida conlleva beneficios estructurales y/o funcionales en el cerebro durante la vejez, los cuales se relacionan con un mejor rendimiento cognitivo. Además, se sugiere que la participación regular en actividad física puede ser un factor predictivo de un envejecimiento cerebral saludable. Sin embargo, persiste la controversia en cuanto al tipo, duración e intensidad de la actividad física que reúne las condiciones necesarias para promover un envejecimiento cognitivo óptimo y que pueda ser utilizada como medida estándar para la promoción de un envejecimiento cerebral saludable.

Palabras claves: Actividad Física; Persona Mayor; Envejecimiento Saludable; Cerebro; Cognición.

ABSTRACT

Introduction: although there is consensus that physical activity plays a fundamental role in successful aging, it is necessary to investigate the real impact it has on the brain.

Aim: the aim of this study is to identify the effects of physical activity on healthy brain aging by analyzing the structural and/or functional changes it may generate in the brain. In addition, we aim to determine whether regular participation in physical activity throughout life is a predictor of healthy brain aging.

Methods: a systematic review was conducted in three databases: Web of Science, Scopus and PubMed, following PRISMA-P guidelines. Articles published between 2010 and 2023 were included. Experimental, quasi-experimental, clinical trials and cohort studies were considered.

Results: a total of 63 articles were identified, of which 17 were included in the analysis. Of these, 14

reported significant effects of physical activity on healthy brain aging, of which 11 evidenced structural, 2 functional, and 1 mixed benefits. In addition, 13 articles demonstrated that participating in physical activity across the lifespan supports cognitive aging.

Conclusions: engaging in physical activity throughout life leads to structural and/or functional benefits in the brain during old age, which are related to better cognitive performance. Furthermore, it is suggested that regular participation in physical activity may be a predictor of healthy brain aging. However, controversy persists as to the type, duration and intensity of physical activity that meets the conditions necessary to promote optimal cognitive aging and that can be used as a standard measure for the promotion of healthy brain aging.

Keywords: Physical Activity; Older Person; Healthy Aging; Brain; Cognition.

INTRODUCCIÓN

La actividad física es un componente clave en cada etapa del ciclo vital.⁽¹⁾ Hoy en día, se promociona ampliamente que llevar una vida físicamente activa durante la vejez podría tener un efectos positivos sobre la salud integral de la persona.^(2,3) Sin embargo, el foco de desarrollo de la actividad física en la vejez se ha centrado principalmente en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles, reducir la fragilidad asociada al riesgo de caída y fortalecer la autovalencia de la persona mayor, y no necesariamente en los beneficios cognitivos que esta podría generar.^(4,5)

Solo en la últimas tres décadas distintas investigaciones han resaltado la importancia de la actividad física sobre el envejecimiento cerebral saludable.^(2,3,4) No obstante, todavía es incipiente la evidencia basada en ensayos clínicos aleatorizados que demuestre que la aptitud física mejore el rendimiento cognitivo, prevenga estados patológicos como el deterioro cognitivo leve o la Enfermedad de Alzheimer, o que impacte positivamente sobre la estructura y función cerebral durante la vejez.^(6,7)

Si bien algunos reportes ya aseveran que el desarrollo de actividad física podría mejorar el rendimiento cognitivo (i.e. memoria y función ejecutiva) y la autonomía de la persona mayor al reducir el riesgo de ansiedad, angustia y depresión, estos hallazgos no son del todo concluyentes.⁽³⁾ Incluso, varios estudios destacan el rol que la actividad física podría tener como una verdadera alternativa a la terapia cognitiva-farmacológica tradicional, y además presentaría una insospechada proyección en diversas patologías neurodegenerativas.^(8,9) Sin embargo, estas afirmaciones aún requieren de mayor investigación, ya que los beneficios de la actividad física sobre el envejecimiento cerebral aún continúan en estudio y algunos sencillamente se desconocen.^(2,6)

Recién en los últimos años, investigaciones basadas en técnicas de resonancia nuclear magnética (RNM) y flujo sanguíneo cerebral (ecografía *doppler* transcraneal) comienzan a dar luces respecto a los cambios morfo-funcionales que podría exhibir el cerebro producto de la actividad física, entregando una explicación inicial de las posibles áreas cerebrales susceptibles de neuroplasticidad durante la vejez.⁽⁶⁾ De manera complementaria, modelos predictivos preliminares en envejecimiento cerebral establecen que el estilo de vida de la persona y el desarrollo de actividad física podrían incluso prevenir demencias u otros cuadros neurodegenerativos.^(10,11) No obstante, más allá de estos hallazgos recientes, aún existe amplia controversia en el tema, que se basa en los siguientes fundamentos: 1) falta de consistencia en la metodología de investigación y los resultados obtenidos, 2) diferencias en la magnitud de los efectos informados, y 3) discrepancia sobre los dominios cognitivos específicos que podrían ser beneficiados por la actividad física.^(6,7,8,12) Por tanto, se requiere de evidencia más consistente (y ordenada) en el campo neurobiológico que corrobore la magnitud y localización de los distintos mecanismos de neuroplasticidad cerebral consecuencia de la actividad física durante la vejez.

En este contexto, la presente revisión sistemática tiene por propósito establecer si existe evidencia suficiente para asegurar que el desarrollo de actividad física genera efectos positivos sobre el envejecimiento cerebral, reflejados en los beneficios estructurales y/o funcionales que la actividad física puede provocar sobre el cerebro. Además, se pretende verificar si el desarrollo sistemático de actividad física (a lo largo del ciclo vital) es un factor predictor de envejecimiento cerebral saludable.

MÉTODOS

- **Diseño:** se trató de una revisión sistemática basadas en cinco etapas, siguiendo las directrices de PRISMA-P⁽¹³⁾ (1) Definición de estrategia de búsqueda, (2) Selección de la literatura, (3) Extracción de los datos, (4) evaluación del sesgo, (5) síntesis y análisis de los datos.

- **Estrategia de búsqueda:** La búsqueda se ejecutó entre el 20 al 27 de abril del 2023. Se incorporaron artículos en inglés y español publicados durante el periodo 2010-2023. Se realizó una búsqueda en 3 bases de datos: *Web of Science (WoS)*, *Scopus* y *Pubmed*, mediante combinaciones con los conectores «and» y «or» en el tema, título, resumen o palabras claves. El algoritmo de búsqueda para WoS fue: “*Physical activity*”, “*aging*”

"Older adult" (Title); Scopus: (TITLE-ABS-KEY ("Physical activity") AND TITLE-ABS-KEY ("aging") AND TITLE-ABS-KEY (healthy AND brain)); y Pubmed: (Physical activity) OR (healthy brain) AND (aging).

- **Selección de la literatura:** los criterios de inclusión fueron: (1) estudios en personas mayores; (2) con diseños experimentales, cuasi-experimentales, ensayos clínicos y/o de cohorte; (3) referidos a actividad física y envejecimiento cerebral; (4) y que examinaran los cambios estructurales y/o funcionales del cerebro mediante descriptores instrumentales y objetivos. Los estudios cualitativos referidos al envejecimiento cerebral saludable, conferencias, disertaciones y tesis fueron excluidos.

- **Extracción de los datos:** los artículos recopilados fueron revisados por título y resumen. Se rescataron los textos completos para su evaluación por parte de dos autores. Se consultó a una tercera autora especialista en el área metodológica para resolver inconsistencias.

- **Evaluación del sesgo:** la calidad de los estudios fue controlada mediante la herramienta *National Heart, Lung and Blood Institute*, la que permite evaluar el rigor de los artículos y determinar sesgo. Concretamente, se utilizó una pauta que consta de 14 ítems, la que se responde mediante las opciones: "sí", "no" o "no informado". Puntaje 1 se asigna a la respuesta "sí" y puntaje "0" al resto de las respuestas. Artículos con puntuaciones superiores a 12 se consideran buena calidad, rango de 9 a 12 representan estudios regulares y las inferiores a 9 se consideran débiles ⁽¹⁴⁾. Para la presente revisión solo se consideraron estudios con puntajes iguales o superiores a 12

- **Síntesis y análisis de los datos:** Los estudios incluidos fueron ordenados en tres grupos: (1) efectos de la actividad física (AF) sobre la estructura cerebral (EC); (2) efectos de la AF sobre la función cerebral (FC); y (3) desarrollo de (AF) sistemática a lo largo del ciclo vital (CV) como factor predictor de envejecimiento cerebral saludable. Se diseñaron tablas en formato Word para la extracción de datos, con el objetivo de extraer información sobre las características del estudio, diseño, muestra, instrumentos de medición de cambios estructurales/funcionales, resultados y conclusiones.

RESULTADOS

El método de búsqueda utilizado permitió identificar un total de 63 artículos, de los cuales 43 cumplieron con los criterios de elegibilidad. De estos, se excluyeron 26 dado su enfoque o características. La muestra final quedó establecida en 17 artículos (figura 1).

De los artículos incluidos (tabla 1), 14 evidenciaron que realizar algún tipo de actividad física durante la vejez genera cambios cerebrales significativos a nivel estructural y/o funcional (*p value* <0,05). 11 exhibieron beneficios estructurales, 2 funcionales y 1 mixto (evidenció ambos). En 3 artículos no se evidenciaron cambios. A su vez, 13 de las 14 investigaciones demostraron que realizar actividad física a lo largo del ciclo vital y de manera sistemática genera mejoras estructurales y/o funcionales en el cerebro, y que podría ser un predictor de envejecimiento cerebral saludable. Por otra parte, solo en un (1) artículo donde se aplicó un programa de entrenamiento específico (de 12 semanas) se evidenció algún tipo de beneficio.

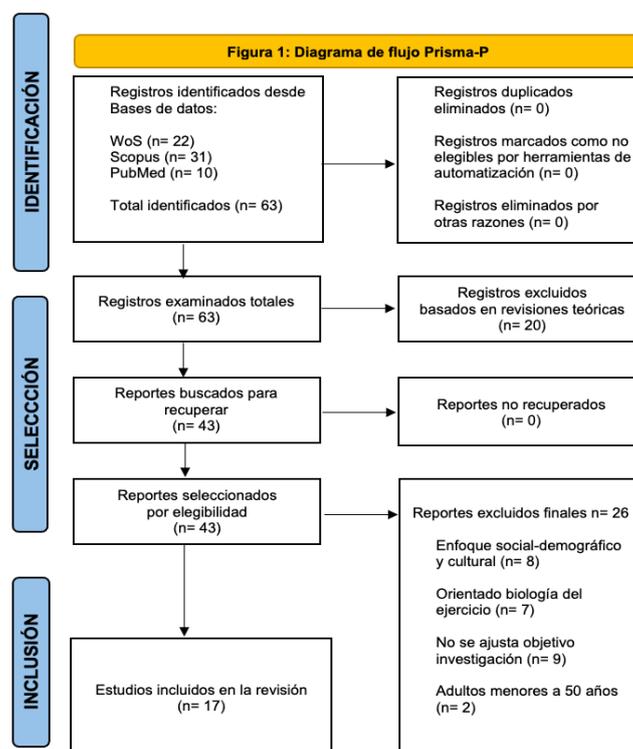


Figura 1. Diagrama de flujo Prisma-P

Además, de los 14 artículos que evidenciaron beneficios cerebrales, 12 evaluaron actividad física de tipo aeróbica, 1 mixta (aeróbica y anaeróbica) y 1 no especificado. Por último, 9 de los 14 artículos que evidenciaron mejoras estructurales y/o funcionales producto de la actividad física, también demostraron un alza del rendimiento en constructos cognitivos de memoria episódica, atención, función ejecutiva y cognición en general, entre otros.

DISCUSIÓN

El propósito de la presente revisión fue determinar los efectos de la actividad física sobre el envejecimiento cerebral saludable. Como resultado, 14 de 17 artículos avalan que el desarrollo de actividad física programada y progresiva puede generar beneficios significativos sobre la estructura y/o funcionamiento cerebral durante la vejez, los que a su vez se asocian a un mejor rendimiento cognitivo. Además, 13 artículos permiten sostener que el desarrollo de actividad física de forma sistemática y dosificada a lo largo de la vida podría ser un factor predictor de envejecimiento cerebral saludable. Al respecto, creemos que existiría una asociación directa y positiva entre el desarrollo de actividad física a lo largo de la vida, los cambios morfo-funcionales del cerebro y el rendimiento cognitivo durante la vejez. No obstante, más allá de lo alentador de esta evidencia, la variabilidad de los resultados refuerza la necesidad de establecer ensayos clínicos aleatorizados que determinen el tipo, duración e intensidad de actividad física a desarrollar, y que realmente demuestren un valor significativo para un envejecimiento cognitivo óptimo.

En relación con los cambios estructurales, la mayoría de los estudios demostró que la actividad física puede generar beneficios muy variados en un cerebro envejecido, los cuales se evidencian en distintas áreas de la red cortical. Por ejemplo, las personas mayores que se ejercitaban habitualmente exhibieron un aumento y/o mantención del volumen de la sustancia blanca (i.e. corona radiada, fórnix, cuerpo calloso, cápsula interna), sustancia gris (i.e. lóbulo parietal superior, corteza cingulada posterior, ínsula posterior y núcleo caudado), y de estructuras como el hipocampo y córtex prefrontal.^(16,17,21,22,24,25,27,29,31) Otros estudios demostraron que la actividad física podría aumentar el número de conexiones neuronales entre los córtex prefrontal y temporal-medial, promover un menor adelgazamiento de la corteza cerebral y la conservación de surcos a nivel frontotemporal.^(17,26,30,31) Incluso, se destaca que podría actuar como un factor protector en procesos de atrofia cerebral durante la vejez.⁽²⁹⁾ En suma, si bien hay claridad que la actividad física favorece la preservación de la estructura cerebral, no existe consenso respecto a cuáles áreas mejoran ni en qué grado.

A diferencia de las mejoras estructurales, las evidencias en beneficios funcionales son mucho menores, probablemente porque los cambios fisiológicos del cerebro sean más complejos de objetivar. No obstante, en un estudio se logró demostrar que la actividad física favorece la plasticidad cerebral durante la vejez al aumentar el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), lo que facilitaría la proliferación, diferenciación y supervivencia neuronal, y por el contrario, el sedentarismo se asociaría negativamente a este factor.⁽¹⁶⁾ A su vez, 2 estudios también demostraron que la función cerebral, medida a través de actividad neuro-eléctrica, puede mejorar con la actividad física.^(19,23) Por ejemplo, en personas mayores que realizaban ejercicio moderado-intenso se observaron potenciales P3 y N1 de mayor amplitud, que se asociarían a un mejor rendimiento en memoria de trabajo, atención y eficiencia de procesamiento.⁽¹⁹⁾ También, se describieron potenciales más tempranos (P2) y más amplios (N2) en áreas frontales, los que se asociarían a un mayor control ejecutivo y memoria de trabajo.⁽²³⁾ Así, aunque la evidencia es escasa y se requiere mayor estandarización en los métodos de evaluación, ya existen indicios que la actividad física también podría beneficiar la fisiología cerebral, favoreciendo la conservación de circuitos neuronales y como consecuencia el rendimiento cognitivo durante la vejez.^(16,19,23)

Además, se demostró que las personas que realizan actividad física moderada-intensa regularmente a lo largo del ciclo vital exhibieron notables mejoras estructurales y/o funcionales a nivel cerebral durante la vejez, comparadas con personas que no lo realizan o que lo hacían parcialmente.^(16,17,19,21,22,23,24,25,26,27,29,30,31) Por otra parte, solo un artículo demostró que un programa de entrenamiento específico, y realizado solo durante la vejez, genera mejoras significativas.⁽²⁸⁾ Esto, nos permite suponer que el entrenamiento físico habitual genera beneficios cerebrales y cognitivos más robustos que el entrenamiento esporádico o realizado solo en un período específico. En esta línea, destacan los *SuperAgers*, definidos como personas mayores de 80 años que han desarrollado actividad física a lo largo de la vida, regulan su sueño, realizan actividades cognitivas habitualmente y exhiben una excelente memoria episódica.⁽³²⁾ A nivel cerebral, los *SuperAgers* exhiben mejor conectividad funcional, mayor preservación de diversas áreas corticales y una corteza significativamente más gruesa que lo esperado para su edad, por lo que pueden resistir por más tiempo la atrofia cortical propia del envejecimiento.^(33,34) Creemos que el modelo de envejecimiento de los *SuperAgers*, basado en actividad física y mental permanente (y no en un programa de entrenamiento esporádico), sería un punto clave para comprender que un envejecimiento cognitivo saludable depende en gran medida de un estilo de vida que incorpore la actividad física como uno de sus ejes principales, aunque todavía queda pendiente establecer las características de la actividad física que promueva un envejecimiento óptimo.

Tabla 1. Matriz explicativa de los artículos incluidos

Autor (es)	Objetivo	Cambio Cerebral Evaluado	Instrumentos de Evaluación AF: actividad física EC: estructura cerebral FC: función cerebral TC: tarea cognitiva	Tipo de entrenamiento: (aeróbico/anaeróbico) Tiempo de entrenamiento: (sistemático durante el ciclo vital /Programa de entrenamiento) Actividad física evaluada: (ejercicios específicos)	¿Hay Beneficios estructurales/ funcionales?	Resultados Observados (modificaciones cerebrales significativas, $p < 0,05$)	Conclusiones a nivel Cognitivo
Guiney et al. ⁽¹⁵⁾	Determinar la asociación entre el desarrollo de actividad física habitual con la función cerebrovascular y el control cognitivo inhibitorio en personas mayores sanas.	Funcional	AF: Cuestionario de actividad física de Nueva Zelanda. FC: Ecografía Doppler TC: Mini-Mental State Evaluation, y experimentos conductuales de tiempos de reacción.	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Los participantes debían presentar el hábito de caminar 3 veces por semana en un tiempo mayor a 30 minutos.	NO	Si bien la actividad física no se relacionó significativamente con la función cerebrovascular en personas mayores, la actividad física regular si se vinculó con un mayor control cognitivo inhibitorio.	Aunque no se observaron cambios funcionales, las personas mayores que realizaban sistemáticamente al menos 30 minutos de actividad física moderada muestran un control inhibitorio más eficaz. A nivel cotidiano, la actividad física habitual facilitaría inhibir respuestas pre-latentes y realizar acciones dirigida a objetivos (ejercer autocontrol e ignorar distractores).
Engerof et al. ⁽¹⁶⁾	Establecer la asociación entre la actividad física con la plasticidad cerebral y niveles del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) en personas mayores sanas.	Estructural y Funcional	AF: Consumo máximo de oxígeno (VO ₂ máx) + Escala de Borg (sensación subjetiva esfuerzo). EC/FC: Resonancia Magnética/ Medición del factor BDNF por muestras de sangre venosa.	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Los participantes debían ser físicamente activos. Utilizando un protocolo de carga incremental se evaluó la marcha para establecer la capacidad cardiopulmonar mediante índice VO ₂ máx. e índice de lactato sanguíneo.	SI	Se observó una asociación positiva (modificación funcional) entre la actividad física regular y el BDNF. Además, se evidenció una asociación (cambio estructural) entre la actividad física y el volumen del hipocampo fuertemente influenciada por la educación, el sexo, la edad y el índice de masa muscular.	La actividad física desarrollada sistemática-mente durante el ciclo vital podría ser beneficiosa para la plasticidad cerebral en edades avanzadas de la vejez. Por otra parte, un comportamiento sedentario se asociaría negativamente con el factor cerebral BDNF.
Oberlin et al. ⁽¹⁷⁾	Evaluar si una mayor capacidad cardio-respiratoria genera cambios a nivel microestructural de la sustancia blanca de áreas cerebrales asociadas memoria de trabajo espacial en personas mayores.	Estructural	AF: Consumo máximo de oxígeno (VO ₂ máx.) + Ejercicio sobre caminadora motorizada. EC: RNM. TC: Test Memoria de trabajo.	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Los participantes eran físicamente activos. Mediante ejercicio de marcha en cinta rodante se evaluó su condición cardiorrespiratoria.	SI	Altos niveles de actividad física aeróbica generaron mayor organización microestructural de la sustancia blanca (corona radiata anterior, cápsula interna anterior, fórnix, cíngulo y corpus calloso), incluyendo tractos que conectan las cortezas prefrontal y temporal medial. Además, la relación actividad física y sustancia blanca también se asoció con el rendimiento de la memoria de trabajo.	La actividad física sistemática se asociaría con mayor organización de la microestructura de sustancia blanca, lo que podría mejorar el rendimiento de la memoria de trabajo espacial durante la vejez.

Sexton et al. ⁽¹⁸⁾	Determinar los efectos de una intervención de entrenamiento aeróbico sobre la cognición, los volúmenes de materia gris y la microestructura de la materia blanca en dos grupos de personas mayores.	Estructural	AF: Cuestionario de condición física para adultos mayores (CHAMPS). EC: RNM. TC: Baterías cognitivas (función ejecutiva, memoria y velocidad procesamiento) y Prueba Hopkins.	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Programa de entrenamiento. Actividad: Los participantes fueron elegidos aleatoriamente (podían ser físicamente activos o inactivos). Se realizó un programa de entrenamiento de 12 semanas que contempló actividades aeróbicas 3 veces por semana. Los participantes debían realizar 30 minutos de cicloergómetro con una velocidad entre 60 -70 RPM.	NO	El desarrollo de una rutina específica de trabajo aeróbico en un tiempo determinado (12 semanas) no se asoció con el volumen hipocampal izquierdo ni en ninguna de sus medidas. Tampoco se observó relación entre el programa de entrenamiento, cambios estructurales y función ejecutiva, memoria y velocidad de procesamiento.	Un programa puntual de entrenamiento no sería suficiente para generar cambios cognitivos. Se plantea que un programa de intervención más duradero, de tipo multifactorial y en población de riesgo podría mostrar mejores resultados.
Chang et al. ⁽¹⁹⁾	Examinar los efectos de la actividad física sobre la memoria de trabajo a través de medidas conductuales y neuro-eléctricas en personas mayores.	Funcional	AF: Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ). FC: EEG. TC: Memoria de trabajo (Sternberg modificado).	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Los participantes fueron categorizados en alto, medio y bajo rendimiento físico mediante el cuestionario IPAQ.	SI	Los participantes categorizados en alta actividad física presentaron tiempos de respuesta más cortos en tarea conductuales, independiente de la carga de memoria de trabajo. Además, exhibieron mayor amplitud de los componentes de actividad cerebral EEG P3 y N1.	El desarrollo de actividad física de forma sistemática, durante el ciclo vital, permitiría fortalecer la memoria de trabajo al asignar más recursos de atencionales y aumentar la eficiencia en el procesamiento de información.
Clark et al. ⁽²⁰⁾	Identificar cómo la actividad física aeróbica puede aumentar la micro-estructura de la sustancia blanca durante la vejez.	Estructural	AF: Consumo máximo de oxígeno (VO2máx.) + Prueba de esfuerzo en caminadora. EC: Mapeo funcional mediante RNM.	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Programa de entrenamiento. Actividad: Los participantes eran personas mayores sanas y sedentarias. Se realizó una intervención de ejercicio aeróbico de seis meses, con tres sesiones semanales cuya intensidad fue 30 a 45 % de reserva de frecuencia cardíaca con una duración de 20-30 minutos.	NO	El programa específico de intervención de trabajo aeróbico no provocó cambios significativos en ningún nivel de la microestructura cerebral de la sustancia blanca de los mayores evaluados.	No existe uniformidad de criterios para definir un programa de entrenamiento aeróbico versus otros programas más flexibles que puedan asegurar cambios sobre la estructura cerebral y el rendimiento cognitivo en personas mayores.
Eyme et al. ⁽²¹⁾	Determinar la asociación entre la actividad física realizada durante el tiempo libre y el volumen de la materia gris cerebral en personas mayores.	Estructural	AF: Cuestionario de actividad física. EC: RNM	Tipo: No especificado. Tiempo: Sistemático. Actividad: El cuestionario aplicado clasificó a los participantes de acuerdo con su hábito de realizar deporte en 4 categorías: >2 horas por semana”; “1-2 horas por semana”; “<1 horas por semana”; “nada de deportes”.	SI	Los participantes clasificados en mayor actividad física mostraron cambios estructurales a nivel cerebral visualizado en el aumento del volumen de la materia gris en áreas fronto-parietales (lóbulo parietal superior, corteza cingulada posterior, la ínsula posterior, el área prefrontal dorsomedial y núcleo caudado).	Realizar deporte activamente respaldaría el rol protector de la actividad física sobre la materia gris fronto-parietal, lo que se relacionaría con un mejor rendimiento en aspectos cognitivos como la autoconciencia y la memoria de trabajo.

Chen et al. ⁽²²⁾	Examinar si diferentes niveles de actividad física se asocian con cambios en la microestructura de la sustancia blanca a nivel cerebral en personas mayores.	Estructural	AF: Protocolo "YMCA" que incluye tres etapas de bicicleta estática. Además, se aplicaron pruebas de fuerza muscular-resistencia, flexibilidad, agilidad y potencia. EC: RNM TC: Prueba de Inteligencia (WAIS-III).	Tipo: Aeróbico y anaeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Se aplicó el protocolo YMCA que consideró actividad física en condición aeróbica y anaeróbica.	SI	Una mayor capacidad cardiorrespiratoria durante la vejez se asoció a cambios significativos en la microestructura de la sustancia blanca cerebral, específicamente en el hipocampo del cíngulo derecho y el pedúnculo cerebral izquierdo.	Los participantes que exhibieron mayor aptitud cardiorrespiratoria producto de la actividad física habitual, podrían presentar mejor rendimiento cognitivo en áreas de atención y memoria.
Gajewski et al. ⁽²³⁾	Explicar la relación entre el desarrollo de actividad física sistemática y las funciones ejecutivas en personas mayores.	Funcional	AF: Cuestionario actividad física (versión adaptada Lüdenscheid, 2002) + Prueba ergométrica en bicicleta con testeo de ritmo cardiovascular. FC: EEG. TC: Mini-Mental State Evaluation, y perfil cognitivo "Big-Five".	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: El cuestionario aplicado mide la condición física en los dos últimos años. Los participantes fueron categorizados en alta y baja actividad física. Además, se utilizó una prueba en cicloergómetro que midió la condición física actual.	SI	El grupo de alta actividad física mostró cambios funcionales que se expresaron en componentes de EEG más altos o tempranos (P2 más temprano, N2 fronto-central más grande y el N2 más pequeño), debido al reclutamiento neuronal en regiones frontales cuando se realizaron tareas ejecutivas.	El desarrollo de actividad física habitual y a largo de los años facilitaría realizar tareas cognitivas complejas en etapas avanzadas del envejecimiento (respuestas más rápidas, mejor control de interferencias y optimización de la memoria de trabajo).
Erickson et al. ⁽²⁴⁾	Determinar si la actividad física en personas mayores logra proteger contra el deterioro cognitivo producto de la preservación de la materia gris.	Estructural	AF: Cuestionario Actividades Tiempo Libre de Minnesota modificado. EC: RNM.	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Se realizó un seguimiento de 9 años (pre-post RNM) para identificar el umbral de cantidad de caminata necesaria para aumentar (o mantener) el volumen de materia gris. El cuestionario cuantificó la duración y frecuencia de la actividad física, evaluada mediante el número total de cuadras caminadas durante una semana.	SI	Las personas mayores que realizaban mayor actividad física vieron incrementada el volumen de materia gris en las regiones frontal, occipital, entorrinal e hipocampal.	Caminar frecuentemente, es decir, mayor cantidad de metros y veces a la semana, estaría directamente asociado con un aumento de la materia gris y a una reducción del riesgo de deterioro cognitivo durante la vejez.
Kim et al. ⁽²⁵⁾	Determinar la relación entre la integridad de materia blanca y el estilo de vida saludable en personas mayores <i>SuperAgers</i> .	Estructural	FA: Cuestionario de estilo vida saludable y actividad física. EC: RNM. TC: Prueba de Aprendizaje Verbal de Seúl y Prueba de Figuras Complejas de Rey-Osterrieth.	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Todos los participantes contestaron un protocolo de estilo de vida. Además, usaron un Fitbit Alta-HR (monitoreo de la función cardíaca) durante una semana para medir tanto la actividad física como el tiempo total de sueño.	SI	Los hallazgos sugieren que los <i>SuperAgers</i> (personas de 80 años y más de alto rendimiento cognitivo y físico) a diferencia de las personas de envejecimiento típico, mostraron integridad microestructural de la materia blanca del cuerpo caloso y mayor grosor de la corteza cingulada anterior.	Las personas que desarrollan actividad física de moderada a vigorosa a lo largo de su vida (<i>SuperAgers</i>), con regulación del sueño y actividades cognitivas recurrentes, evidenciarían mejor rendimiento en memoria, atención, funciones visuoespaciales y ejecutivas frontales que los mayores típicos.

Lamont et al. ⁽²⁶⁾	Determinar las asociaciones entre la actividad física, la estructura cerebral y el rendimiento cognitivo en una muestra de personas mayores cognitivamente sanas.	Estructural	<p>AF: Cuestionario de actividad física mediante autoinforme. EC: RNM. TC: Prueba de función ejecutiva y la velocidad de procesamiento.</p>	<p>Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: El nivel de actividad física se obtuvo mediante autoinforme. Los participantes se categorizaron en 3 niveles de ejercicio: (1) leve (i.e. caminar, desmalezar), (2) moderado (i.e. bailar, andar en bicicleta) y (3) vigoroso (i.e. trotar, correr). Todos los participantes se correlacionaron con la fórmula de Equivalentes Metabólicos Totales.</p>	SI	Los hallazgos sugieren que la mayor actividad física se asoció con una mayor estrechez (conservación) del surco frontal superior izquierdo y del surco central derecho. Además, el ancho del surco frontal superior izquierdo se asoció con la velocidad de procesamiento y la función ejecutiva.	La actividad física habitual podría ser un factor protector contra los cambios relacionados con la estructura cerebral durante la vejez, lo que se correlacionaría con una mejor función cognitiva en estados avanzados del envejecimiento.
Northey et al. ⁽²⁷⁾	Establecer la asociación entre la duración de la actividad física ligera, moderada e intensa con el volumen de materia gris en la corteza prefrontal en personas mayores.	Estructural	<p>AF: Cuestionario autorreporte de actividad física (PATH). EC: RNM. TC: función ejecutiva y velocidad de procesamiento mediante Prueba de Dígitos de Símbolos.</p>	<p>Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Los participantes debían reportar el tiempo dedicado a realizar actividad física de intensidad ligera (i.e. caminar), moderada (i.e. bailar) e intensa (i.e. correr) según cuestionario PATH. La actividad física total se calculó mediante la fórmula de Equivalentes Metabólicos Totales.</p>	SI	La duración de la actividad física de intensidad moderada a vigorosa se asoció con un mayor volumen de la corteza (materia gris) prefrontal dorsolateral derecha, pero no con el hipocampo. Además, no se detectaron asociaciones entre la actividad física y el rendimiento cognitivo.	Se sugiere que podría existir una relación entre la intensidad de la actividad física habitual y el volumen de sustancia gris en el córtex prefrontal, aunque es necesario determinar si los mayores volúmenes cerebrales asociados con la actividad física se transmiten en efectos protectores contra el deterioro cognitivo.
Rowley et al. ⁽²⁸⁾	Determinar si la actividad física promueve cambios en la micro-estructura cortical.	Estructural	<p>AF: Protocolo de entrenamiento de 12 semanas. Incluyó cicloergómetro, donde se evaluó intensidad, resistencia y umbral ventilatorio. EC: Escáner optimizado para examen cortical. Luego se utilizó RNM para el mapeo de la sustancia blanca y gris.</p>	<p>Tipo: Aeróbico. Tiempo: Programa de entrenamiento. Actividad: El rendimiento de los participantes se evaluó después de 4 semanas de ejecución del programa de actividad física. La intensidad del ejercicio se reajustó en caso de ser necesario, para mantener el mismo nivel de esfuerzo fisiológico. Luego, el programa se evaluó a la semana 8 y 12.</p>	SI	El aumento en la capacidad aeróbica mediante un programa específico de 12 semanas, mantuvo la integridad micro-estructural en áreas de la corteza cerebral motora en personas mayores.	Los hallazgos obtenidos en este estudio sugieren que las disminuciones microestructurales en la corteza cerebral y el declive cognitivo producto del envejecimiento podrían evitarse con una actividad física regulada.

Smith et al. ⁽²⁹⁾	Examinar las interacciones entre el riesgo genético de Enfermedad de Alzheimer y la actividad física mediante la integridad de la sustancia blanca.	Estructural	AF: Cuestionario Stanford de actividad breve (SBAS). EC: RNM y Prueba genética. El genotipo APOE-ε4 se determinó utilizando el método de reacción en cadena de polimerasa. TC: Mini-Mental State Evaluation.	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Según cuestionario SBAS, los participantes se clasificaron en actividad física baja intensidad (i.e. caminatas lentas o tareas livianas); intensidad moderada (i.e. caminar a paso ligero, trotar o nadar durante 15 minutos o más); e intensa alta (i.e. trotar, correr, andar en bicicleta o nadar durante 30 minutos o más).	SI	<p>Un mayor nivel de actividad física podría proteger a los portadores de APOE-ε4 de neurodegeneración selectiva de las fibras de sustancia blanca, tanto de proyección como de asociación. Además, estas personas mostraron una cognición estable y protección de atrofia hipocampal.</p> <p>En el caso de personas inactivas portadores de APOE-ε4, se observó correlaciones negativas con el rendimiento de memoria episódica y pérdida de sustancia blanca.</p>	<p>La actividad física realizada de forma sistemática a lo largo del ciclo vital podría representar un factor protector para el desarrollo de patologías neurodegenerativas o relacionadas con la Enfermedad Alzheimer.</p>
Voss et al. ⁽³⁰⁾	Evaluar las relaciones entre la condición física y actividad física con la salud funcional cerebral en personas mayores sanas.	Estructural	AF: Consumo máximo de oxígeno (VO2máx.) + Prueba en cinta rodante. Se realizó una evaluación de actividad física e historial de salud. EC: RNM.	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: El consumo de oxígeno (VO2máx) se calculó a partir del aire espirado a intervalos de 30s, hasta que se alcanzó el peak de VO2 o se terminó la prueba debido al agotamiento voluntario.	SI	<p>La condición física mostró una relación positiva con la conectividad funcional de varias redes corticales asociadas con el declive relacionado con la edad, específicamente se observó mayor conectividad en áreas de la corteza prefrontal y corteza temporal.</p>	<p>Los hallazgos respaldan la evidencia que la condición física de la persona mayor sería un factor importante para moderar los efectos adversos del envejecimiento, específicamente en las redes cerebrales cognitivamente funcionales.</p>
Williams et al. ⁽³¹⁾	Examinar como el entrenamiento cardiorrespiratorio está asociado al grosor cortical tanto en personas jóvenes como mayores.	Estructural	AF: Prueba de esfuerzo (Protocolo de Bruce). EC: RNM. TC: Montreal Cognitive Assessment. (MoCA)	Tipo: Aeróbico. Tiempo: Sistemático. Actividad: Mediante el protocolo de Bruce se midieron el volumen máximo de consumo de oxígeno y la tasa de intercambio respiratorio, así como la frecuencia cardíaca máxima, la presión arterial y las formas de onda de electrocardiograma.	SI	<p>Una mayor capacidad cardiorrespiratoria se vinculó a una mantención de regiones corticales que normalmente demuestran un adelgazamiento relacionado con la edad, específicamente en áreas del corteza prefrontal y parietal medial y lateral, así como corteza temporal inferior y lateral.</p>	<p>La actividad física sistemática mejora la neuroplasticidad durante la vejez y lograría reducir la atrofia cerebral, aunque no la elimina.</p>

Además, se evidenció que la actividad física no favorecería un constructo cognitivo en particular, sino múltiples, tales como la memoria de trabajo, atención, memoria episódica, y control ejecutivo, entre otros. (17,19,21,22,23) Otros estudios, por su parte, mencionan que no serían constructos específicos los beneficiados, sino la cognición en general. (24,25,30) Incluso, algunos trabajos establecen que la actividad física podría ser un verdadero factor protector para el deterioro cognitivo, ya que retrasaría la atrofia cerebral generalizada y como consecuencia fomentaría la reserva cerebral. (26,27,28,20,31) En consecuencia, tampoco existe unanimidad respecto a cuáles son los constructos cognitivos que se favorecen con la actividad física, ya que los rendimientos observados van a depender de los protocolos utilizados y los objetivos propios de cada estudio.

En cuanto al tipo de actividad física que más beneficios generó, 12 artículos demostraron que las actividades aeróbicas como caminata y/o bicicleta (aumentan la capacidad cardiorrespiratoria) generan mayores mejoras morfo-funcionales en un cerebro envejecido. (16,17, 25,27,29,30) Por el contrario, la evidencia de beneficios asociados a actividad anaeróbica fue muy escasa. (22) Al respecto, los cambios cerebrales consecuencia de la actividad aeróbica se sustentan en modelos neurobiológicos que argumentan que la alta capacidad cardiorrespiratoria aumentaría los niveles del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), promoviendo la supervivencia neuronal. (16,35) Por lo tanto, existiría una relación transversal entre el ejercicio aeróbico, la estructura-función cerebral y el rendimiento cognitivo, factores que serían basales para lograr un envejecimiento cognitivo saludable. (36)

Finalmente, si bien esta revisión reveló importantes diferencias entre los artículos revisados en aspectos metodológicos (muestra, métodos de medición, actividad evaluada, entre otros), resultados y conclusiones, fue posible establecer una tendencia similar: la actividad física desarrollada a lo largo del ciclo vital se comporta como un verdadero factor predictor del envejecimiento cerebral saludable y como un promotor de la salud mental de las personas mayores. Estos hallazgos nos permiten enfatizar en la importancia de la actividad física como factor moderador de la salud cognitiva y plantear la hipótesis que el cerebro no sólo es un órgano que expresa resultados sino que es un órgano mediador y además predictor, influenciado además por el entorno social y la estimulación cognitiva. (37,38)

Limitaciones y perspectivas

Como limitaciones, si bien la presente revisión logró evidenciar que la actividad física puede actuar como un verdadero elemento predictor y promotor del envejecimiento cerebral saludable, todo indica que no es el único factor. Al respecto, la variabilidad de los resultados avala la necesidad que futuras revisiones sistemáticas consideren otras variables que también han demostrado ser relevantes para un envejecimiento cerebral saludable, tales como la calidad del sueño, el tipo de alimentación, la lectura, la socialización y vida en comunidad, y el efecto del estrés ambiental, entre otras. Por último, esta revisión constituye una evidencia inicial para el desarrollo de una futura propuesta de un modelo predictivo multidominio de envejecimiento cerebral saludable, que promueva el desempeño físico y cognitivo óptimo, y que conlleve un alto bienestar y calidad de vida de las personas mayores.

CONCLUSIÓN

Desarrollar actividad física de forma sistemática y a lo largo del ciclo vital genera beneficios estructurales y/o funcionales a nivel cerebral durante la vejez, y además sería un factor predictor del envejecimiento cerebral saludable, ya que los cambios morfo-funcionales observados en personas mayores que eran físicamente activas se asociaron a un mejor rendimiento cognitivo y podrían retrasar los primeros signos de deterioro, lo que no ocurrió con las personas mayores que no realizaban actividad física sistemáticamente. Sin embargo, aún persiste la controversia referente al tipo, duración e intensidad de actividad física que reúna las condiciones óptimas para un envejecimiento cerebral saludable y que pueda ser utilizada como una medida estándar para la promoción de un envejecimiento cognitivo óptimo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Miko HC, Zillmann N, Ring-Dimitriou S, Dorner TE, Titze S, Bauer R. Effects of Physical Activity on Health. *Gesundheitswesen*. 2020;82(3):184-195. <https://doi.org/10.1055/a-1217-0549>
2. Domingos C, Pego JM, Santos NC. Effects of physical activity on brain function and structure in older adults: A systematic review. *Behav Brain Res*. 2021;402:113061. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.113061>
3. Bauman A, Merom D, Bull FC, Buchner DM, Singh MAF. Updating the Evidence for Physical Activity: Summative Reviews of the Epidemiological Evidence, Prevalence, and Interventions to Promote "Active Aging". *Gerontologist*. 2016;56:268-80. <https://doi.org/10.1093/geront/gnw031>
4. Angulo J, El Assar M, Álvarez-Bustos A, Rodríguez-Mañas L. Physical activity and exercise: Strategies to

manage frailty. *Redox Biology*. 2020;35:101513. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101513>

5. Elezi B., Abazaj E., Kasa M., Topi, S. Prevention of Frailty in the Elderly through Physical Activity and Nutrition. *J Geriatr Med Gerontol*. 2020;6(1). <https://doi.org/10.23937/2469-5858/1510084>

6. Haeger A, Costa AS, Schulz JB, Reetz K. Cerebral changes improved by physical activity during cognitive decline: A systematic review on MRI studies. *NeuroImage Clin*. 2019;23:101933, <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101933>

7. Márquez DX, Aguinaga S, Vásquez PM, Conroy DE, Erickson KI, Hillman C, et al. A systematic review of physical activity and quality of life and well-being. *Transl Behav Med*. 2020;10(5):1098-1109. <https://doi.org/10.1093/tbm/ibz198>

8. Islam MR, Valaris S, Young MF, Haley EB, Luo R, Bond SF, et al. Exercise hormone irisin is a critical regulator of cognitive function. *Nat Metab*. 2021;3(8):1058-70. <https://doi.org/10.1038/s42255-021-00438-z>

9. Wahl D, Cavalier AN, LaRocca TJ. Novel Strategies for Healthy Brain Aging. *Exerc Sport Sci Rev*. 2021;49(2):115-25. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000242>

10. Rolland Y, van Kan GA, Vellas B. Healthy Brain Aging: Role of Exercise and Physical Activity. *Clin Geriatr Med*. 2010;26(1):75-87. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2009.11.002>

11. Fernández F, Nazar G, Alcover CM. Active aging model: causes, indicators and predictors in Chilean elderly people. *Acción Psicológica*. 2018;15(2):109-28. <https://doi.org/10.5944/ap.15.2.22903>

12. Miranda M, Morici JF, Zanoni MB, Bekinschtein P. Brain-Derived Neurotrophic Factor: A Key Molecule for Memory in the Healthy and the Pathological Brain. *Front Cell Neurosci*. 2019;13:363. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00363>

13. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Int J Surg*. 2021;88:105906. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003>

14. Ma L., Wang Y, Yang Z, Huang D, Weng H, Zeng X. Methodological quality (risk of bias) assessment tools for primary and secondary medical studies: what are they and which is better? *Mil Med Res*. 2020;7:(1). <https://doi.org/10.1186/s40779-020-00238-8>

15. Guiney H, Lucas SJ, Cotter JD, Machado L. Investigating links between habitual physical activity, cerebrovascular function, and cognitive control in healthy older adults. *Neuropsychologia*. 2019;125:2-9. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.01.011>

16. Engeroff T, Fuzeki E, Vogt L, Fleckenstein J, Schwarz S, Matura S, et al. Is Objectively Assessed Sedentary Behavior, Physical Activity and Cardiorespiratory Fitness Linked to Brain Plasticity Outcomes in Old Age? *Neuroscience*. 2018; 388:384-92. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.07.050>

17. Oberlin LE, Verstynen TD, Burzynska AZ, Voss MW, Prakash RS, Chaddock-Heyman L, et al. White matter microstructure mediates the relationship between cardiorespiratory fitness and spatial working memory in older adults. *Neuroimage*. 2016; 131:91-101. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.09.053>

18. Sexton CE, Betts JF, Dennis A, Doherty A, Leeson P, Holloway C, et al. The effects of an aerobic training intervention on cognition, grey matter volumes and white matter microstructure. *Physiol Behav*. 2020; 223:112923. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.112923>

19. Chang YK, Huang CJ, Chen KF, Hung TM. Physical activity and working memory in healthy older adults: an ERP study. *Psychophysiology*. 2013;50(11):1174-82. <https://doi.org/10.1111/psyp.12089>

20. Clark CM, Guadagni V, Mazerolle EL, Hill M, Hogan DB, Pike GB, et al. Effect of aerobic exercise on white matter microstructure in the aging brain. *Behav Brain Res*. 2019;373:112042. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.112042>

21. Eyme KM, Domin M, Gerlach FH, Hosten N, Schmidt CO, Gaser C, et al. Physically active life style is associated with increased grey matter brain volume in a medial parieto-frontal network. *Behav Brain Res.* 2019;359:215-22. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.10.042>

22. Chen FT, Erickson KI, Huang H, Chang YK. The association between physical fitness parameters and white matter microstructure in older adults: A diffusion tensor imaging study. *Psychophysiology.* 2020;57(5):1-11. <https://doi.org/10.1111/psyp.13539>

23. Gajewski PD, Falkenstein M. Lifelong physical activity and executive functions in older age assessed by memory based task switching. *Neuropsychologia.* 2015;73:195-207. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.04.031>

24. Erickson KI, Raji CA, Lopez OL, Becker JT, Rosano C, Newman AB, Gach HM, Thompson PM, Ho AJ, Kuller LH. Physical activity predicts gray matter volume in late adulthood: the Cardiovascular Health Study. *Neurology.* 2010; 19;75(16):1415-1422. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181f88359>

25. Kim BR, Kwon H, Chun MY, Park KD, Lim SM, Jeong JH, et al. White Matter Integrity Is Associated With the Amount of Physical Activity in Older Adults With Super-aging. *Front Aging Neurosci.* 2020;12:549983. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.549983>

26. Lamont AJ, Mortby ME, Anstey KJ, Sachdev PS, Cherbuin N. Using sulcal and gyral measures of brain structure to investigate benefits of an active lifestyle. *NeuroImage.* 2014;91:353-9. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.01.008>

27. Northey JM, Rattray B, Pumpa KL, Pryor DJ, Fraser MA, Shaw ME, et al. Objectively measured physical activity is associated with dorsolateral prefrontal cortex volume in older adults. *NeuroImage.* 2020;221:117150. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117150>

28. Rowley CD, Bock NA, Deichmann R, Engeroff T, Hattingen E, Hellweg R, et al. Exercise and microstructural changes in the motor cortex of older adults. *Euro J Neuroscience.* 2020;51(7):1711-22. <https://doi.org/10.1111/ejn.14585>

29. Smith JC, Lancaster MA, Nielson KA, Woodard JL, Seidenberg M, Durgerian S, et al. Interactive effects of physical activity and APOE-epsilon4 on white matter tract diffusivity in healthy elders. *NeuroImage.* 2016;131:102-12. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.08.007>

30. Voss MW, Weng TB, Burzynska AZ, Wong CN, Cooke GE, Clark R, et al. Fitness, but not physical activity, is related to functional integrity of brain networks associated with aging. *NeuroImage.* 2016;131:113-25. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.044>

31. Williams VJ, Hayes JP, Forman DE, Salat DH, Sperling RA, Verfaellie M, et al. Cardiorespiratory fitness is differentially associated with cortical thickness in young and older adults. *NeuroImage.* 2017;146:1084-92. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.033>

32. Özsungur F. Gerontechnological factors affecting successful aging of elderly. *Aging Male.* 2020;23(5):520-532. <https://doi.org/10.1080/13685538.2018.1539963>

33. De Godoy L, Alves C, Saavedra, J, Studart-Neto A, Nitrini R, da Costa C, Bisdas S. Understanding brain resilience in superagers: a systematic review. *Neuroradiology.* 2021; 63:663-683. <https://doi.org/10.1007/s00234-020-02562-1>

34. Cook A, Sridhar J, Ohm D, Rademaker A, Mesulam m, Weintraub S, Rogalski E. Rates of cortical atrophy in adults 80 years and older with superior vs average episodic memory. *Jama.* 2017;317(13):1373-1375. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.0627>

35. Coelho F, Gobbi S, Andreatto C, Corazza D, Pedroso R, Santos-Galduroz R. Physical exercise modulates peripheral levels of brain-derived neurotrophic factor (BDNF): A systematic review of experimental studies in the elderly. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 2013; 56(1):10-5. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2012.06.003>

36. Araque-Martínez M, Artés-Rodríguez E, Ruiz-Montero PJ, Casimiro-Andújar AJ. Physical, cognitive and emotional outcomes in older adults exercisers: A systematic review. *J. Hum. Sport Exerc.* 2021;16(1075-1093). <https://doi.org/10.14198/jhse.2021.16.Proc3.25>

37. Stillman CM, Erickson KI. Physical activity as a model for health neuroscience. *Ann N Y Acad Sci.* 2018;1428(1):103-11. <https://doi.org/10.1111/nyas.13669>

38. Dal Lago JE, Iglesias S, García Osso L, Levy E. Treatment of Pediatric Flexible Flatfoot with Subtalar Arthroereisis: Functional and Radiographic Results. *Interamerican Journal of Health Sciences.* 2021;(1). <https://doi.org/10.59471/ijhsc202112>

FINANCIACIÓN

CS: Beca Doctorado en Salud Mental, Universidad de Concepción, Chile (2022302615). CR: Proyecto FONDECYT-ANID Iniciación, Chile (11230984).

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés relacionado al presente estudio.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Claudio San Martín, Carlos Rojas, Fabiola Sáez.

Curación de datos: Claudio San Martín, Carlos Rojas.

Análisis formal: Claudio San Martín, Carlos Rojas, Fabiola Sáez.

Adquisición de fondos: Carlos Rojas.

Investigación: Claudio San Martín, Carlos Rojas, Fabiola Sáez.

Metodología: Claudio San Martín, Carlos Rojas, Fabiola Sáez.

Administración del proyecto: Claudio San Martín.

Recursos: Carlos Rojas.

Software: Claudio San Martín, Carlos Rojas.

Supervisión: Claudio San Martín.

Validación: Claudio San Martín, Carlos Rojas, Fabiola Sáez.

Visualización: Claudio San Martín, Carlos Rojas.

Redacción - borrador original: Claudio San Martín, Carlos Rojas, Fabiola Sáez.

Redacción - revisión y edición: Claudio San Martín, Carlos Rojas, Fabiola Sáez.