

Efectos del ejercicio físico en la neurogénesis cerebral

Grdo. Daniel Lens Lago, Dra. Yoana González-González, Grda. Alejandra Alonso-Calvete, Dra. Iria Da Cuna-Carrera



Facultad de Fisioterapia, Universidade de Vigo, Campus a Xunqueira, s/n, 36005, Pontevedra, España. Teléfono: (+34) 986 801 750/74.

Persona de contacto: Iria Da Cuna Carrera, Facultad de Fisioterapia, Universidade de Vigo, Campus a Xunqueira, s/n, 36005, Pontevedra, España. iriadc@uvigo.es.

Teléfono 986801758

Recibido: 5/2/2019

Aceptado: 1/6/2019

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es conocer los efectos del ejercicio físico en determinadas funciones cerebrales como en este caso la neurogénesis cerebral. Se ha realizado una revisión bibliográfica en el mes de febrero de 2018 en las bases de datos: PubMed, PEDro Physiotherapy Evidency Database y Cinahl. Se han seleccionado 14 artículos válidos en los que se establece un acercamiento a la posibilidad de que, para obtener aumentos del volumen del hipocampo, es mejor realizar ejercicio de tipo aeróbico, mientras que para obtener unos niveles elevados de BDNF (Brain Derived Neurotrophic Factor), es mejor utilizar ejercicio de alta intensidad.

Palabras clave: ejercicio físico, neurogénesis, neurología, fisioterapia.

Effects of physical exercise on brain neurogenesis

ABSTRACT

The aim of this work is to know the effects of physical exercise on certain brain functions such as in this case brain neurogenesis. A bibliographic review was carried out in the month of February 2018 in the databases: PubMed, PEDro Physiotherapy Evidency Database and Cinahl. We have selected 14 valid articles that establish an approach to the possibility that to obtain increases in the volume of the hippocampus, it is better to perform aerobic exercise, while to obtain high levels of BDNF (Brain Derived Neurotrophic Factor), It is better to use high intensity exercise.

Keywords: physical exercise, neurogenesis, neurology, physiotherapy.

INTRODUCCIÓN

El ejercicio físico proporciona al organismo beneficios tanto para mantener una forma física adecuada como para conservar un estado de salud general que prevenga de patologías, no solo físicas sino también de carácter metabólico e incluso psicológico o neurológico(1).

Está comprobado que existen numerosos factores hormonales y proteínas que se secretan durante el ejercicio físico y que ayudan a modular ciertas funciones cerebrales, así como mejorar algunas propiedades del mismo. El ejercicio físico produce un aumento en el número de nuevas neuronas de la capa de células progenitoras del hipocampo, además de esto, durante el ejercicio tiene lugar un aumento de los

factores tróficos como el BDNF (Brain Derived Neurotrophic Factor), que promueve la diferenciación y la supervivencia de poblaciones neuronales como las del hipocampo o las cerebelosas. Este factor neurotrófico también mejora la transmisión sináptica y protege al hipocampo y la corteza de daño isquémico. Además de la BDNF, durante el ejercicio se produce IGF-1 (Insulin Growth Factor 1), altamente relacionado con el anterior, y que supone un factor de supervivencia para neuronas y oligodendrocitos, además de participar en el crecimiento y la diferenciación neuronal en el cerebro, alterando los mecanismos de neuroplasticidad(1).

Además de pruebas realizadas en humanos, se han realizado

también estudios en animales que demuestran numerosos aumentos de los factores neurotróficos que a su vez producen cambios en el cerebro mediante mecanismos moleculares y aumentan las capacidades de neurogénesis cerebral(2). Además del BDNF y el IGF-1, existen otros factores que afectan a este proceso, como la adiponectina. Esta proteína es secretada por los adipocitos y tiene ciertas propiedades, como la sensibilización a la insulina, y propiedades anti diabéticas, antiinflamatorias y antiaterogénicas. Se ha demostrado previamente que la adiponectina promueve la neurogénesis en el hipocampo, aumentando la proliferación celular a nivel cerebral cuando atraviesa la barrera hemoencefálica(3). Esta, además, media los efectos antidepressivos del ejercicio físico.

Otra proteína que tiene efectos estimulatorios a nivel cerebral inducidos por el ejercicio es la Cathepsina B, proteína de tipo catabólica cuya función principal es la proteólisis intracelular. Se intenta conocer más efectos sobre esta proteína realizando ensayos en ratones, para obtener información sobre sus posibles efectos en la neurogénesis cerebral mediada por la actividad física(4).

Una de las propiedades más importantes del sistema nervioso es la neuroplasticidad, capacidad del organismo que permite modificar los resultados del aprendizaje así como adquirir nuevas habilidades(5). El aprendizaje de estas habilidades se almacena como patrones y la memoria implícita en el hipocampo se ve mediada por la neuroplasticidad del sistema nervioso. Con la edad, este sistema nervioso se ve deteriorado, sobre todo las capacidades que afectan a la memoria. La zona donde existe un mayor deterioro es el hipocampo, cuyo papel fundamental es la navegación y la memoria espacial 5. Durante la última década se han realizado estudios que demuestran la capacidad de ejercicio físico de promover y estimular la neurogénesis a nivel cerebral, aumentando el volumen del hipocampo(6).

El ejercicio físico ha demostrado un beneficio en cuanto a la sintomatología de algunas patologías de carácter psicológico como la depresión, dolencia que afecta a millones de personas en todo el mundo y que produce cambios en el organismo. El ejercicio como tratamiento para esta enfermedad compara sus resultados con los obtenidos mediante otros tratamientos como la psicoterapia o los antidepressivos(7).

Tras los ya conocidos efectos beneficiosos del ejercicio físico, nos queda por comprobar más a fondo, el papel del ejercicio físico en cuanto a la actividad cerebral y las diferentes funciones y propiedades del mismo, entre ellas la neurogénesis cerebral, con el fin de comprobar si el ejercicio físico no solo nos proporciona un buen estado de salud física, sino si también nos ayuda a prevenir enferme-

dades de otro tipo como las enfermedades neurológicas, psicológicas o directamente ayuda a prevenir una temprana aparición del deterioro cognitivo. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es analizar la relación entre la neurogénesis y el ejercicio físico, realizando una revisión bibliográfica de la literatura científica más actual.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica siguiendo la normativa PRISMA en las bases de datos Pubmed, PEDro Physiotherapy Evidency Database y Cinahl durante el mes de febrero de 2018. Los descriptores empleados fueron “neurogénesis” y “physical exercise” unidos por el operados booleano “AND”.

Tras realizar la búsqueda, se aplican los criterios de inclusión que requieren que los artículos se hayan publicado entre el 2013 y el 2018, que su idioma sea el inglés, y que sean ensayos clínicos. Además, se aplican también los criterios de exclusión que descartan artículos que sean protocolos, que no se ajusten al tema propuesto, o que no tengan acceso al texto completo para su análisis. Todo el proceso de búsqueda se refleja en el diagrama de flujo según las normas PRISMA (Figura 1).

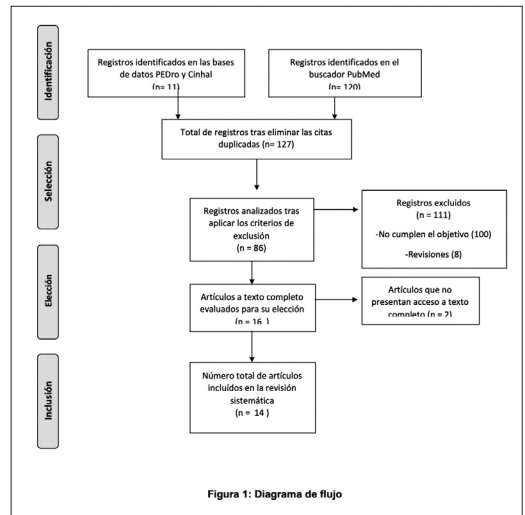


Figura 1: Diagrama de flujo

RESULTADOS

Tras realizar la búsqueda bibliográfica, se obtienen 14 artículos para realizar la revisión, cuyas características se muestran en la Tabla 1.

Suijo et al.(8) realizaron un ensayo clínico con el fin de comprobar los efectos del ejercicio voluntario en rueda de resistencia progresiva, en ratones, durante 14 días. Su objetivo era comprobar los efectos en los niveles de BDNF

Tabla 1. Características de los estudios.

| Autores | Diseño | Año | Objetivo |
|---------------------------|-----------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Suijo et al. | EC | 2013 | Trata de evaluar los efectos de un ejercicio de resistencia progresiva en los niveles de BDNF y CREB asociadas en la neurogénesis y plasticidad sináptica del hipocampo |
| Leavitt et al. | ECA piloto | 2013 | Probar la evidencia de que el ejercicio aeróbico aumenta el volumen y la conectividad del hipocampo y mejora la memoria en esclerosis múltiple |
| Krogh et al. | ECA | 2014 | Evalúa los efectos del ejercicio físico aeróbico en el volumen del hipocampo, BDNF, VEGF e IGF-1 en pacientes con depresión |
| Vaughan et al. | ECA | 2014 | Trata de probar el efecto de un programa de ejercicio multimodal de 6 semanas sobre el funcionamiento cognitivo, físico y BDNF. |
| Murawski-Cielowicz et al. | ECA | 2015 | Evalúa los cambios en BDNF e Irsina (biomarcadores de cambios en la neurogénesis cerebral) antes y después de entrenamientos progresivos de crossfit. |
| Yang et al. | ECA | 2015 | Investiga la habilidad de moderar ejercicio para observar el aumento de LCR -VEGF, clave en angiogénesis y neurogénesis. |
| Tonoli et al. | EC | 2015 | El propósito de este ensayo es examinar los efectos de ejercicio de alta intensidad en la función cognitiva y neurotrofinas en diabetes tipo 1. |
| Kloemeyer et al. | ECA | 2016 | Investiga los efectos de los cambios en fitness en la microestructura y volumen del hipocampo |
| Thomas-Adem et al. | EC Cruzado | 2016 | Trata de demostrar cambios en el volumen del hipocampo mediante un entrenamiento de ejercicio aeróbico además de la velocidad de dichos cambios. |
| Moon et al. | EC | 2016 | Investiga el aumento de Cathepsina B (proteína secretada en el músculo esquelético) y la importancia de esta en los beneficios cognitivos y neurogénicos de correr. |
| Shimada et al. | ECA | 2017 | Evalúa de manera objetiva y cuantitativa los efectos del ejercicio en la actividad cerebral en adultos sanos e intentar especificar las regiones que se activan. |
| Chan, Jessie et al. | ECA | 2017 | Trata de demostrar el aumento de Adiponectina (Biomarcador anti-depresivo que produce cambios en el hipocampo) mediante ejercicio físico en mujeres con síndrome de fatiga crónica |
| Almeida et al. | EC | 2017 | Trata de demostrar los cambios producidos en la neuroplasticidad, muerte celular, neurogénesis, cognición y función motora en ratones. |
| Brinkmann et al. | ECA cruzado 2X2 | 2017 | Evalúa los niveles de BDNF, VEGF e IGF realizando una comparativa entre un entrenamiento de cicloergómetro de 30 minutos y un videojuego deportivo (WiiFit) entre 2 grupos de pacientes con diabetes tipo 2. |

EC: ensayo clínico, ECA: ensayo clínico aleatorizado

y CREB (cAMP response element-binding) en el hipocampo, y su posible relación con la neurodegeneración. Para el estudio se empleó una muestra de 29 ratones de laboratorio divididos en 3 grupos, el grupo de rueda de resistencia o grupo RE (n=6), el grupo de rueda de ejercicio aeróbico o grupo AE (n=8), y el grupo control (n=15). Los grupos fueron expuestos a 7 días de ejercicio, tras los cuales fueron sometidos a una prueba de habilidad de aprendizaje, memoria espacial y retención conocida como Morris Water Maze (MWM), y tras ella se continuó el programa de ejercicio 7 días más, y se volvió a realizar el MWM test. En cuanto a los resultados obtenidos, se pudo observar un incremento tanto en los niveles de BDNF y CREB en los grupos RE y AE con respecto al grupo control ($p < 0,05$). Además, se observó una significativa correlación entre el aumento de BDNF y CREB y el volumen de trabajo tras los 14 días en el grupo AE ($p < 0,05$), mientras que no se pudo observar en el grupo RE ($p > 0,05$). Además de esto se pudo observar una facilitación en la retención del MWM test tras el programa de 14 días. Leavitt et al.(9) publicaron un ensayo clínico aleatorizado piloto en el año 2013 con la finalidad de observar y comprobar los beneficios del ejercicio aeróbico en pacientes con esclerosis múltiple que así mismo presentaban deterioro cognitivo y de la memoria. Para el estudio se seleccionaron 2 pacientes con los síntomas mencionados anteriormente y diagnosticados hace menos de 2 años en ambos casos. A

uno de los sujetos se le realizó un entrenamiento no aeróbico, y al otro un entrenamiento aeróbico. Para medir los volúmenes estructurales del hipocampo, núcleo caudado, tálamo y materia gris, se utilizó un 3T Siemens scanner, un sistema de resonancia magnética de alta definición. Para medir el deterioro de la memoria se utilizaron test de tipo verbal y no verbal. La eficiencia cognitiva fue evaluada mediante test de velocidad de procesamiento, mediante la función ejecutiva y también con el trabajo de la memoria. Se testó también el pico de consumo de oxígeno sometido al paciente. La intervención consistió en sesiones de 30 minutos, 3 días a la semana, durante 12 semanas. El ejercicio aeróbico consistió en un programa individualizado de resistencia gradual en cicloergómetro. El ejercicio no aeróbico consistió en un programa de estiramientos especializados para pacientes con esclerosis múltiple.

El sujeto que realizó el ejercicio aeróbico obtuvo un aumento de un 16,5% en el volumen del hipocampo, un aumento del 55,9% en la memoria verbal y un incremento de un 51,3% de la memoria no verbal. Además, se puede observar un aumento de la actividad funcional del hipocampo durante el período de descanso, sin embargo, en el ejercicio no aeróbico no se observan cambios significativos en el volumen del hipocampo, ni en la memoria verbal ni no verbal, ni en la conectividad funcional del hipocampo. Krogh et al.(10) evaluaron los efectos de una intervención de ejercicio aeróbico sobre los niveles de BDNF, Vascular endothelial growth factor (VEGF) e Insulin growth factor 1 (IGF-1) en pacientes con depresión. La muestra utilizada constaba de 41 participantes en el grupo de intervención y 38 participantes en el grupo control. Ambos grupos realizaron sesiones de 45 minutos, 3 días a la semana, durante 3 meses. El grupo de intervención realizó ejercicio aeróbico en cicloergómetro al 80% de su frecuencia cardíaca máxima, mientras que el grupo control realizó ejercicios de estiramientos y ejercicios de bajo impacto. Tras la intervención, los niveles de consumo de oxígeno aumentaron en el grupo de intervención y en el grupo control ($p < 0,05$). El volumen del hipocampo, los niveles de BDNF, VEGF e IGF-1 no difieren en ambos grupos, pero se halló una asociación positiva entre el volumen del hipocampo y la memoria verbal, y los cambios en el volumen del hipocampo con la sintomatología de la depresión. Aun así, esta asociación no es estadísticamente significativa por lo que no se puede concluir que haya un incremento en cuanto al volumen del hipocampo en personas con depresión gracias al ejercicio aeróbico. Vaughan et al.(11) analizan el efecto de un programa de ejercicio multimodal de 16 semanas en la función física, la neurocognición y los niveles de BDNF. Para el estudio se obtuvo una muestra de 49 mujeres entre 65 y 75 años, sin deterioro cognitivo y que no llevaran a cabo más de una

hora de ejercicio físico semanal. El grupo de intervención realizó una clase multimodal de 60 minutos 2 veces a la semana durante las 16 semanas de programa, que incluía ejercicio cardiovascular, fuerza y entrenamiento motor de la condición física. 25 participantes fueron seleccionados para el grupo de intervención y los otros 24 para el grupo control. Tras la recolección de los datos post-ejercicio, el grupo de intervención tuvo una significativa mejoría con respecto al grupo control en todos los tests realizados, tanto los cognitivos como los de carácter físico, y también en los controles de niveles de BDNF en plasma. En este estudio se concluye que un ejercicio físico de carácter multimodal proporciona mejores resultados que los unimodales, tanto a nivel cognitivo como físico y también en el aumento de los niveles de BDNF, lo que implica neurogénesis.

Muraswka-Cialowicz et al.(12) evalúan los cambios en los niveles de BDNF e Irisina, citoquina secretada por el músculo esquelético con efectos positivos en el metabolismo energético, en un programa de entrenamiento de Crossfit de 3 meses en población joven. En un principio el tamaño de la muestra era de 30 personas, pero hubo pérdida de sujetos y finalmente se redujo a 12 (7 hombres y 5 mujeres). Todos los sujetos eran sanos y no habían estado hospitalizados en los últimos 12 meses, y se abstuvieron de realizar cualquier actividad deportiva durante los 2 días anteriores a comenzar el programa.

El entrenamiento de Crossfit consistió en un programa de 3 meses con sesiones de entrenamiento de una hora 2 veces a la semana. En estas sesiones, durante 10-15 minutos se les asignaba una tarea por el instructor en la que debían realizar el número máximo de repeticiones, a la máxima velocidad posible y con la mayor intensidad. Tras esto, se realizaban 5 minutos de descanso y se repetía otro ejercicio en las mismas condiciones. Normalmente, el primer ejercicio consistía en un trabajo de fuerza, velocidad, potencia y resistencia, mientras que el segundo se centraba más en la capacidad aeróbica. En esta segunda fase se solía utilizar tanto el remoergómetro como el cicloergómetro o la cinta de correr. Tras terminar el segundo ejercicio, durante 5 minutos tenía lugar la fase de enfriamiento y estiramiento. El entrenamiento oscilaba entre un 85-90% del ritmo cardíaco máximo de los sujetos, calculado mediante la fórmula $220 - \text{edad sujeto}$. Para evaluar la influencia del trabajo de Crossfit se realizó una medición de BDNF y la Irisina antes y después del programa de entrenamiento, y también tras una semana. En cuanto a los resultados obtenidos se observaron cambios en los niveles de BDNF tras el programa de entrenamiento, más notables en los hombres que en las mujeres. En cuanto a los cambios en Irisina no existe un aumento significativo de la proteína, en mujeres disminuyó y en hombres no hubo diferencias.

Yang et al.(13) realizaron un ensayo clínico aleatorizado en 2015 con el fin de determinar si los niveles de líquido cefalorraquídeo (LCR) y VEGF variaban con el ejercicio en pacientes adultos con hidrocefálea crónica. Para la muestra del estudio se obtuvieron 17 pacientes que fueron seleccionados para dos grupos: el grupo de intervención (n=11) y el grupo control (n=6). Los pacientes del grupo de intervención fueron sometidos a un programa de ejercicios durante 20 minutos. Durante los primeros 5 minutos se les pidió utilizar la bicicleta de miembro superior, seguido de levantamiento de peso con bíceps, pesas de hombro y brazo y rotaciones externas de brazo con banda elástica. A los pacientes se les permitía tener un descanso de 2 a 5 minutos con el fin de controlar el ritmo cardíaco. Para la toma de la muestra de LCR y VEGF, se realizó punción lumbar para obtener muestras medulares durante 6 horas. En cuanto a los resultados tras la intervención, los niveles de LCR-VEGF mostraron aumentos episódicos tras la intervención, reflejando un aumento significativo a las 3 horas de la intervención, comparado con las muestras obtenidas 2 horas antes de la misma ($p < 0,05$). Los pacientes del grupo control mostraron fluctuaciones en cuanto a los niveles de LCR-VEGF durante su programa de no ejercicio. Sin embargo, los niveles del grupo de intervención fueron significativamente mayores que los del grupo control ($p < 0,05$).

Tonoli et al.(14) examinaron los efectos de un programa de ejercicio de alta intensidad en la función cognitiva y en las neurotrofinas en pacientes con diabetes tipo 1. 10 participantes entrenados, entre 18 y 44 años, se seleccionaron para el estudio (5 formaron parte del grupo experimental y los 5 restantes del grupo control). Una semana antes de empezar el programa los pacientes realizaron un test cognitivo y se les explicó en qué consistía el estudio. Todos los participantes fueron evaluados en 2 ocasiones, primero con un test médico para comprobar el estado cardiovascular y circulatorios y a continuación con un test físico en cicloergómetro de manera incremental, que termina cuando el ritmo cardíaco supere el 90% del máximo calculado. Tras los test iniciales, los sujetos realizan el ejercicio de alta intensidad basado en un entrenamiento en cicloergómetro; que comienza con un calentamiento de 2 minutos y se va incrementando hasta los 22 minutos que dura la prueba. Tras el ejercicio se analizan los niveles de BDNF, IGF-1, glucosa en sangre y suero sin insulina y se observa que hay un aumento significativo en los niveles de BDNF en el grupo experimental con respecto al grupo control ($p < 0,05$). Los niveles de IGF-1 fueron también significativamente más bajos en el grupo experimental que en el grupo control ($p < 0,05$), y, por último, los niveles de glucosa en sangre fueron mayores en el grupo experimental que en el grupo control ($p < 0,05$). Sin embargo, no se en-

contraron diferencias significativas entre los niveles de suero sin insulina en ambos grupos.

Kleemeyer et al.(15) investigan los efectos del fitness en la microestructura y el volumen del hipocampo. Para el estudio se emplean 57 sujetos, entre 59 y 75 años, que sean poco activos físicamente, diestros, sin enfermedades neurológicas, psiquiátricas ni cardiovasculares, sin contraindicaciones para entrenamientos de ejercicio y que puedan realizar una resonancia magnética. Durante los 6 meses de intervención de ejercicio de fitness y los 6 meses de mantenimiento siguientes, los pacientes fueron sometidos a cuestionarios, test cognitivos y motores, y resonancias magnéticas. Los 2 grupos en los que fueron distribuidos se obtuvieron de manera aleatoria entre los participantes y consistían en 1 grupo de entrenamiento de alta intensidad (AI) y otro de baja intensidad (BI), los cuales se ejercitaron en grupos de 6 personas. Los entrenamientos consistían en pruebas de cicloergómetro en el laboratorio, con sesiones de 25 minutos 2 veces a la semana la primera semana, 40 minutos la segunda semana y 55 la tercera. El grupo de alta intensidad se sometió a cargas del 80% de su límite ventilatorio anaeróbico, determinado en el pre-test. El de baja intensidad se sometió a una resistencia continua de 10 W de trabajo, independientemente del ritmo cardíaco. Durante las 21 últimas sesiones se integraron 5 intervalos de 2 minutos para aumentar las variaciones en los resultados del fitness. Tras esto, el grupo de baja intensidad solo aumentó de 60-70 a 80-90 ciclos por minuto, sin embargo, el de alta intensidad aumentó su límite ventilatorio anaeróbico en un 110%. En cuanto a los resultados obtenidos, se observaron cambios en ambos grupos, tanto en el consumo de oxígeno máximo como en la capacidad límite de ventilación anaeróbica y el consumo de oxígeno límite de la ventilación anaeróbica, pero estos cambios no son estadísticamente significativos entre ellos. Se observó además un cambio en la difusividad media del hipocampo, observado mediante resonancia magnética, relacionado con cambios en el volumen ($p < 0,05$). Por el contrario, la relación entre los cambios en el fitness y los cambios en volumen no fue significativa.

Thomas-Adam et al.(16) tuvieron como objetivo comprobar, mediante diferentes métodos de neuroimagen, cómo se comporta el volumen del hipocampo y la cognición cerebral tras una intervención de 6 semanas de ejercicio aeróbico. La muestra poblacional del estudio fue de 62 sujetos. De ellos, 54 fueron asignados aleatoriamente a 2 grupos de intervención, "Ejercitan primero" y "Descansan primero", los 8 restantes se identificarían como "Grupo de base" y fueron sometidos a un solo escaneo. Todos los participantes fueron sometidos a un evaluación cognitiva y deportiva antes de comenzar el programa. Los participantes del grupo "Descansan primero" fueron sometidos a un escáner

mediante resonancia magnética y enviados a casa durante 6 semanas manteniendo sus niveles de actividad física en la normalidad. Tras las 6 semanas, fueron escaneados, evaluados de nuevo y sometidos a un programa de ejercicio aeróbico supervisado en cicloergómetro durante 6 semanas, 5 días a la semana. Al terminar el programa fueron escaneados por tercera vez y sometidos de nuevo a la evaluación cognitiva y física. Los participantes del grupo "Ejercitan primero" fueron sometidos a una resonancia magnética y a un programa de ejercicio aeróbico supervisado en cicloergómetro durante 6 semanas, 5 días a la semana. Tras esto, fueron escaneados y evaluados de nuevo y enviados a casa durante 6 semanas manteniendo un nivel de actividad física dentro de la normalidad. Tras este período, fueron escaneados y evaluados por tercera vez. Los 8 participantes del grupo de base fueron escaneados y evaluados una sola vez. En relación con los resultados obtenidos en el estudio se determina que el ejercicio aeróbico provoca cambios en el estado físico pero no a nivel cognitivo. Además, se produce un aumento significativo en cuanto al volumen del hipocampo anterior de manera inmediata al entrenamiento ($p < 0,01$), pero, 6 semanas después de dicho programa, el hipocampo no muestra diferencias estadísticas con el escáner de base. En cuanto al tálamo, no mostró variaciones significativas en cuanto al volumen.

Moon et al(4) estudian si la Catepsina B (CTSB) secretora presenta beneficios neurogénicos y cognitivos. Para ello, analizan los niveles de la CTSB tras correr, en medios in vitro, tanto en ratones como en monos y humanos adultos sanos entre 19 y 34 años, asignados de manera aleatorizada a un grupo de entrenamiento y un grupo control. Para mostrar los cambios de CTSB en plasma se obtuvo una muestra de 6 a 8 ratones por grupo de ejercicio y grupo control. Tras una actividad física de 3, 14 o 30 días, se comprobó cómo aumentaban los niveles de CTSB en plasma. Se comprobó in vitro que tras correr aumenta la CTSB del hipocampo y la neurogénesis adulta. Para comprobar los efectos de la marcha sobre la CTSB se empleó una cinta ergómetro, realizando 4 meses de entrenamiento tanto en el caso de humanos como en monos. En ambos grupos hubo diferencias significativas entre el grupo de entrenamiento y el grupo control, aumentando los niveles de CTSB de manera significativa a favor del grupo control ($p < 0,01$). Además, los humanos se sometieron a un estudio de memoria, concluyendo que la relación entre CTSB y el recuerdo de la prueba era dependiente de la capacidad aeróbica. Esta relación concluye con una asociación entre la actividad aeróbica y el volumen del hipocampo. Estos hallazgos comprueban como factores periféricos inducidos por ejercicio pueden modificar y estimular la función cerebral. Shimada et al.(17) evaluaron los cambios producidos por

el ejercicio en la actividad cerebral en sujetos sanos, buscando determinar qué parte del cerebro se activa. Para ello utilizaron una muestra poblacional de 24 sujetos de entre 75 y 83 años distribuidos en un grupo de intervención y un grupo control. El grupo de intervención asistió a un programa de 90 minutos de sesión de ejercicio aeróbico, de fuerza, y fisioterapia dos veces por semana durante 3 meses, y el grupo control no realizó ninguna intervención. En ambos grupos se monitorizaron los cambios en el metabolismo de la glucosa del cerebro mientras caminaban, usando las pruebas de imagen PET (Positron emission tomography) y FDG (Fluorodeoxyglucose). Todos los sujetos completaron el experimento. En comparación con el grupo control, el grupo de intervención mostró un aumento en la longitud del paso derecho tras los 3 meses de programa. La evaluación mediante PET-FDG reveló aumentos significativos en el metabolismo de la glucosa regional en la corteza entorrinal posterior izquierda (lóbulo temporal, función de memoria) con un valor en el coeficiente de correlación de Pearson de $p < 0,01$, en las circunvoluciones temporales superiores izquierdas, con valor de $p < 0,05$, y la zona temporopolar superior derecha en el grupo de intervención con valor de $p < 0,01$. El grupo control, sorprendentemente, mostró cambios en el metabolismo de la glucosa en diferentes áreas como el área premotora izquierda y áreas motoras suplementarias ($p < 0,01$), asociación somatosensorial de la corteza izquierda y derecha ($p < 0,01$), y la corteza primaria visual derecha ($p < 0,01$) tras los 3 meses de programa. No se observan diferencias significativas en FDG entre los grupos.

Chan-Jessie et al.(18) estudian los efectos del Baduanjin Qigong en los niveles de la adiponectina y si esta está relacionada con los efectos antidepresivos del Qigong en mujeres con síndrome de fatiga crónica. En un estudio anterior, los autores ya demostraron el papel de la adiponectina en el alivio de la depresión promoviendo la neurogénesis cerebral. Para el estudio, se emplearon 108 sujetos del sexo femenino que se aleatorizaron en dos grupos, el experimental con 46 participantes y el control con 62. Todas debían ser menores de 50 años, con fatiga crónica y que no hayan practicado Qigong en los últimos 6 meses. Para el programa de Qigong se realizaron 16 sesiones en 9 semanas, cada sesión de 1 hora y media guiada por un profesional en el tema. En cuanto a los resultados tras la intervención, el grupo Qigong mostró un aumento en los niveles medios de Adiponectina instantáneamente después de la intervención en comparación con los niveles de base ($p < 0,05$). En cuanto a la sintomatología de ansiedad media, el grupo de intervención mostró una disminución notable con respecto al grupo control. La reducción de la sintomatología de depresión post-intervención fue también signifi-

cativamente mayor en el grupo Qigong ($p < 0,001$). Sin embargo, no se denotó una diferencia significativa de los niveles de adiponectina, ansiedad o depresión, entre el grupo Qigong y el grupo control a los 3 meses de la intervención.

Almeida et al.(19) analizaron los efectos celulares AL caminar en una rueda en la sustancia negra de ratas en estado de neurodegeneración. La muestra consta de 26 ratones de 9 meses de edad, los cuales fueron seleccionados para dos grupos; el grupo de entrenamiento (50-60% de la capacidad máxima de ejercicio, 5 días a la semana, 40 minutos al día durante 6 semanas) y el grupo sedentario. De los 26 ratones, 6 fueron excluidos porque no corrieron o pararon de correr, por lo que se tomaron solo 20 para el estudio; 10 para cada grupo. 5 ratones de cada grupo fueron expuestos a dimethyl sulfóxido (DMSO) y a poli-etilenglicol (PEG) y los otros 5 a Rotenona, por lo que finalmente quedan 4 grupos: DMSO sedentario, DMSO entrenado, Rotenona sedentario y Rotenona entrenado. Al terminar el protocolo de entrenamiento, a las ratas se les sometió a eutanasia y se les extirpó tanto el sóleo como el gastrocnemio con el fin de evaluar la adaptación músculo-esquelética al ejercicio, mediante actividad de citrato-sintasa. También se extirpó la sustancia negra, procesada con enzimas. En cuanto a los resultados obtenidos, se reflejan cambios en la actividad citrato-sintasa, indicando adaptación oxidativa en sóleo y gastrocnemio, en el grupo de entrenamiento. Además, el ejercicio físico atenúa los niveles de α -synucleína formada por la exposición a la rotenona. El ejercicio físico moderado en los animales expuestos a rotenona aumentó la autofagia durante la neurodegeneración y disminuyó la actividad proteosómica ($p < 0,05$). Además de esto, mejora la mitofagia tras la actividad física ($p < 0,05$). Los niveles de peróxido de hidrógeno aumentaron un 16% tras la exposición de la rotenona, sin embargo, la práctica del ejercicio físico previno el aumento en la producción de peróxido de hidrógeno ($p < 0,05$). El ejercicio físico, sin embargo, no modificó los cambios producidos en los niveles de Tropomyosin receptor kinase B (TRKB), que previamente habían disminuido un 45% tras la exposición de la rotenona.

Brinkmann et al.(20) compararon los efectos del ciclismo submáximo durante 30 minutos con los juegos exergaming (que combina ejercicio y videojuegos, también durante 30 minutos), con la idea de determinar si había algún cambio en factores séricos neurotróficos. Para la muestra se emplearon 8 hombres entre 67 y 75 años con diabetes tipo 2 no dependiente de insulina y con sobrepeso. Se dividieron en dos grupos en los que unos realizaban 30 minutos de ejercicio submáximo en cicloergómetro, mientras que los otros realizaban trabajo de exergaming, usando el Wii Fit

Plus de Nintendo y variando cada 5 minutos para mantener la atención del participante. Tras esto se propuso un intervalo de 7 días de "lavado" en el que se recomendó a los participantes que mantuvieran su ejercicio y su dieta de carbohidratos a niveles bajos, y tras 7 días de volvieron a realizar las pruebas físicas cambiando los participantes. Así, el grupo de intervención pasó a ser control y el control a ser intervención. En cuanto a los resultados podemos aclarar que tanto los niveles de BDNF como los de VEGF sufrieron un significativo aumento ($p < 0,05$) en cuanto al ejercicio submáximo de cicloergómetro, pero no tanto con respecto al exergaming, mientras que IGF-1 no sufrió ningún cambio en ningún modo de ejercicio.

DISCUSIÓN

Tras realizar un análisis de los resultados de estudio, se procede a realizar una comparación de los diferentes artículos en cuanto al tipo de estudio, metodología, tipos de entrenamientos utilizados, duración y la resolución de cada uno.

Todos los artículos incluidos en esta revisión son ensayos clínicos. La mayoría son investigaciones en fases avanzadas o estudios clínicos, a excepción del estudio de XX y de XY que se encuentran en las primeras fases de investigación ya que realizan estudios pre-clínicos en los que se experimenta con animales. Según el diseño metodológico, uno se considera además estudio piloto(9) y, otros dos, ensayos cruzados(16,20). El estudio piloto consiste en un ensayo con una muestra pequeña debido a que los participantes del ensayo debían poseer unas características específicas: en este caso que fueran pacientes mujeres con esclerosis múltiple y deterioro de la memoria asociado a ella, y que su enfermedad haya sido diagnosticada hace menos de 1 año y medio en ambas. Este tipo de ensayo, debido a la poca cantidad de participantes, no nos ofrece una calidad científica absoluta puesto que lo que ocurra en una muestra tan pequeña no siempre puede alcanzar la significancia estadística y no sería extrapolable. A pesar de esto, los resultados son positivos en cuanto a la hipótesis establecida previamente, lo que nos ofrece un paso a posibles y mayores estudios en el futuro.

En cuanto a los casos cruzados, son distintos con respecto al resto debido a que el grupo control y el grupo de intervención no los forman siempre los mismos participantes. Este tipo de estudios proporciona una primera intervención en la que existe un grupo control y un grupo de intervención. Tras esto, tiene lugar una fase de "lavado" que consiste en un período de tiempo que llevaría a que los resultados de la intervención anterior no afecten a la siguiente. Tras el período de lavado, tiene lugar la segunda intervención, en la que el previo grupo control pasa a ser ahora el grupo de

intervención, y viceversa. Este tipo de estudio nos proporciona un mayor contraste en cuanto a los resultados obtenidos, debido a que ambos grupos realizan la intervención, aumentando así la muestra de pacientes. Además, ofrece una gran validez científica debido a su metodología, variabilidad y precisión de resultados. Sin embargo, se resalta una incógnita que podría resultar negativa, y es el hecho de que los resultados pudieran ser modificados por los mismos participantes debido a que el trabajo que se realiza en casa pudiera ser diferente al realizado normalmente o que se dé a conocer la metodología del estudio y ellos mismo modifiquen su manera de trabajar debido a que saben el trabajo que realizó el grupo anterior.

En cuanto a la muestra, existen diferentes criterios selección de los participantes según el grupo de investigación. La diferencia fundamental la marcan los diseños de tipo pre-clínico, que incluyen muestras de ratones o monos, y de tipo clínico, que incluyen a sujetos con o sin patología relevante.

En algunos artículos(8,19) se utilizan ratones para la realización del estudio. En otro4 se utilizan tanto ratones como monos y humanos. El resto de los artículos, 11, utilizan humanos como población de estudio. El estudio de animales como metodología de investigación nos ofrece una visión más amplia debido a que podemos llegar un poco más lejos en este tipo de estudios. Son los llamados estudios pre-clínicos, que se realizan en primer lugar con animales, para observar los resultados y después probar en humanos.

Con respecto a los tamaños de muestra podemos encontrar una gran variedad: desde 2 participantes, siendo el artículo con la muestra más pequeña(9), hasta 108 participantes como la muestra más grande(18). En cuanto a la diferenciación por sexo, encontramos diferencias en artículos en los que el sexo de la muestra son únicamente mujeres(18) u hombres(20), y el resto que no difieren en cuanto a este aspecto. En cuanto a la edad de la muestra de los artículos, existe gran variedad. En bastantes artículos las edades de las muestras poblacionales son bastante avanzadas, mayores de 59 años(15,17,11,20) y otros artículos en los que las muestras no pasan de 50(18,4,14). La edad es un factor que, en ciertos tipos de estudios, es importante. Por ejemplo, en esta revisión se han utilizado artículos que en su mayoría utilizan personas de edad avanzada, en la que su estado de salud esté más deteriorado, y en algunos casos incluso el deterioro cognitivo es visible. De esta manera se pueden observar los cambios de los factores cerebrales o aumentos de volúmenes del hipocampo en este tipo de pacientes mejor, que en personas jóvenes que no han sufrido cambios. Respecto al estado de salud de los sujetos de estudio, podemos encontrar diferencias en cuanto a estudios que

utilizan en su muestra sujetos sanos(15,12,17,16,4,11) y sujetos con diferentes patologías como esclerosis múltiple(9), fatiga crónica(18), hidrocefalia crónica(13), diabetes tipo 114 o depresión(10,18). El hecho de que se utilicen participantes con enfermedades específicas nos ofrece tanto una cara positiva como una negativa. La cara negativa sería que la variabilidad en cuanto al número de participantes decrecería notablemente, sobre todo en los ensayos que estudian enfermedades de poca incidencia. A pesar de esto, se puede ver como positivo el estudio de patologías más específicas debido que nos podría ofrecer más información en cuanto al tratamiento o prevención de dicha enfermedad.

En cuanto a los tipos de entrenamiento utilizados en los diferentes artículos, encontramos gran variedad de modalidades deportivas o programas dirigidos. En algunos estudios se utiliza el cicloergómetro como método de entrenamiento aeróbico(9,16,10,20,14) teniendo como objetivo la mayoría de ellos comprobar el aumento del volumen del hipocampo, lo cual hablaremos más adelante, en otros estudios sin embargo se utiliza la marcha o correr sobre cinta para obtener los resultados(17,19,4,8). Otros artículos utilizan metodología deportiva más específica, como el fitness de alta y baja intensidad(15), programa de crossfit(12), el Baduanjin Qigong(18) o programas deportivos generales en el resto. Los que utilizan metodología deportiva nos ofrecen más especificidad de los resultados y posibles usos futuros como prevención o tratamiento mediante ese deporte.

Haciendo referencia a los resultados de las variables analizadas en cada estudio, podemos encontrar gran variación entre ellos. En la mayoría de los casos el resultado es positivo para lo que se buscaba en dicho ensayo. Podemos encontrar que en ciertos artículos se obtiene como resultado un aumento en el volumen del hipocampo tras la realización del programa de ejercicio(9,15,16). Además, estos artículos utilizan en su programa de ejercicio físico el ejercicio aeróbico como metodología de trabajo, y esto nos puede dar una referencia sobre este tipo de ejercicio. Existen estudios que demuestran que esta relación positiva entre el incremento del volumen del hipocampo y el ejercicio o la capacidad aeróbica es un factor común en la fisiología del ser humano(7). Otros ensayos que también buscaban resultados positivos en cuanto a los cambios en el volumen del hipocampo, sin embargo, aunque no pudieron observar el aumento del mismo, pudieron encontrar las asociaciones entre el volumen del hipocampo y la capacidad aeróbica(4), y la memoria verbal y los síntomas depresivos(10). Algunos artículos confirman que el ejercicio físico promueve la proliferación celular en diferentes partes del cerebro, entre ellas el hipocampo(21).

En otros artículos de la revisión se obtiene como resultado el aumento de los niveles de ciertos factores o proteínas que tienen relación con la neurogénesis cerebral, como son el BDNF, la adiponectina, VEGF, IGF-1, y la CTSSB. El factor más mencionado en los diferentes artículos es el BDNF, o Brain Derived Neurothrophic Factor, este, altamente relacionado con los cambios producidos en la actividad neurogénica tras el ejercicio físico(5). En la gran mayoría de los ensayos que mencionan este factor, buscan relacionar el ejercicio físico con el aumento del mismo, consiguiendo un resultado positivo en todos ellos(12,14,11,20,8). En el ensayo realizado por Krogh et al.(10) no se observa un aumento significativo de dicho factor. El hecho de la aparición de este factor durante el ejercicio nos proporciona una demostración bastante directa entre el ejercicio físico y la neurogénesis cerebral, debido a que sus funciones a nivel cerebral son bastante extensas y beneficiosas. Lo que varía de este factor es la duración en cuanto al aumento de sus niveles, y hay estudios que afirman que los niveles de BDNF en sangre se incrementan durante el ejercicio y duran unos minutos en ese estado. Sin embargo, otros estudios demuestran que pueden durar meses los niveles aumentados de dicho factor(5). El aumento de los niveles de BDNF implica una neurogénesis, que podría condicionar el deterioro cognitivo(11).

Se necesitarían más estudios que proporcionaran una base más fiable en cuanto a la duración de los aumentos de este factor, o más duración en sangre que proporciona, pero podemos decir, según los resultados obtenidos, que para un aumento de los niveles de BDNF es mejor la utilización de ejercicio de alta intensidad o ejercicios variados a más del 80% de la capacidad del sujeto, que la utilización de ejercicios de baja intensidad o de tipo aeróbico, que no consiguen aumentar tanto los niveles pero sí consiguen producir aumentos en el volumen del hipocampo.

En cuanto a los otros factores, se mencionan de manera menos frecuente pero todos ellos guardan relación con la neurogénesis cerebral asociada al ejercicio físico. Entre ellas la adiponectina, hormona secretada por adipocitos, induce y modula cambios neurogénicos en el hipocampo durante el ejercicio físico(3). En el artículo de Chan et al, se puede observar un aumento de dicha hormona al realizar ejercicio físico de baja intensidad. Este tipo de ejercicio se practica en China como método de tratamiento de la depresión, síntomas relacionados con pérdidas de la movilidad funcional en Parkinson(22) o mejorar la calidad del sueño en personas mayores(23). Su papel beneficioso en cuanto a la mejoría física es bien conocido por la población, sin embargo, gracias a los nuevos estudios sobre la adiponectina, nos ofrece una nueva visión sobre

este tipo de ejercicio, que puede afectar a nivel cerebral gracias a que produce un incremento en la proliferación celular en el cerebro atravesando la barrera hematoencefálica. Esto abre nuevas puertas a futuros ensayos con este tipo de metodología deportiva y con el papel de la adiponectina como mediador de la neurogénesis cerebral.

Otro factor mencionado en los artículos es el VEGF, el cual está demostrado que es un factor clave en la angiogénesis y la neurogénesis cerebral del hipocampo, además de ser considerado un componente crítico en la memoria. En nuestra muestra existen 2 artículos, en cuyos resultados se menciona un aumento de la VEGF tras la realización del programa de ejercicio(13), sin embargo hay otro artículo(10) en el que el VEGF no experimenta un aumento significativo. A pesar de esto, los resultados son positivos en cuanto a este factor de crecimiento, y su aparición se relaciona en ocasiones con el aumento de los niveles de BDNF, con lo que si su aparición es simultánea, podría dar paso a posibles estudios de estos factores y su relación directa con el ejercicio o como métodos de prevención ante enfermedades de carácter neurológico.

Además de los mencionados anteriormente, encontramos el IGF-1, o Insulin Growth Factor tipo 1, factor que se relaciona con el BDNF y los efectos producidos por el ejercicio en la función cognitiva, además de en el crecimiento y desarrollo del cerebro, la mielinización y la plasticidad cerebral(24). Este factor está altamente relacionado con la GH (Hormona del crecimiento) y sus efectos a nivel cerebral son similares. En nuestra muestra podemos encontrar cómo el IGF-1 produce un incremento en sus niveles durante el ejercicio de alta intensidad en paciente con diabetes tipo 1, así como el BDNF. Su relación puede proporcionarnos un conocimiento mayor sobre esta enfermedad y sus posibles causas, además de abrirnos una puerta hacia futuras investigaciones de esta patología relacionándola con el ejercicio, para intentar comprobar su relación y si este puede ser usado como método preventivo a esta dolencia.

CONCLUSIONES

En primer lugar cabe destacar los dos resultados principales que se repiten en esta revisión y que son los que más nos permiten acercarnos a los objetivos de la misma.

El primer resultado es el aumento en los niveles de BDNF, que, como ya se ha mencionado, tiene una función importante en la neurogénesis cerebral ya que promueve la diferenciación neuronal y la supervivencia de las poblaciones neuronales en zonas como el hipocampo. Este resultado está positivamente relacionado con un tipo de ejercicio según los datos analizados en la revisión, como es el ejercicio de alta intensidad. El margen de error encontrado entre la información obtenida es que la duración de los niveles de este factor

elevados no están del todo claros, por lo que no podemos establecer cuánto tiempo exacto se necesita hacer deporte para elevarlos ni cuánto tiempo se mantendrá así, pero nos aproxima un poco más a la prevención de enfermedades relacionadas con la degeneración neuronal, como el Parkinson.

El otro resultado analizado es el aumento del volumen del hipocampo. Esta parte del cerebro está altamente relacionada con la memoria, en especial con la memoria viso-espacial. Tras analizar los resultados obtenidos en los artículos de esta revisión, llegamos a la conclusión de que los aumentos en el volumen del hipocampo tienen una relación positiva con el ejercicio aeróbico. Tras relacionar ambos datos, podríamos tener como referencia el ejercicio de tipo aeróbico como un deporte preventivo a posibles deterioros cognitivos del hipocampo, pérdidas de memoria, e incluso una prevención temprana de la demencia, que cursa con pérdidas de memoria y deterioro cognitivo.

Es necesario mencionar que existen limitaciones a la hora de estudiar este tipo de factores y relacionarlos con el ejercicio, y se necesitarían más estudios de investigación para intentar demostrar que el ejercicio físico previene este tipo de lesiones neurológicas y si podrían llegar a ser algún día tratamiento para las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cotman CW, Berchtold NC. enhance brain health and plasticity. 2002;7.
2. Lista I, Sorrentino G. Biological Mechanisms of Physical Activity in Preventing Cognitive Decline. Cellular and Molecular Neurobiology. 2010;30(4):493-503.
3. Yau SY, Li A, Hoo RLC, Ching YP, Christie BR, Lee TMC, et al. Physical exercise-induced hippocampal neurogenesis and antidepressant effects are mediated by the adipocyte hormone adiponectin. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014;111(44):15810-5.
4. Moon HY, Becke A, Berron D, Becker B, Sah N, Benoni G, et al. Running-Induced Systemic Cathepsin B Secretion Is Associated with Memory Function. Cell Metabolism. 2016;24(2):332-40.
5. Hötting K, Röder B. Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. Neuroscience & Biobehavioral Reviews. noviembre de 2013;37(9):2243-57.
6. Erickson KI, Prakash RS, Voss MW, Chaddock L, Hu L, Morris KS, et al. Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. Hippocampus. 2009;19(10):1030-9.
7. Kvam S, Kleppe CL, Nordhus IH, Hovland A. Exercise as a treatment for depression: A meta-analysis. Journal of Affective Disorders. septiembre de 2016;202:67-86.
8. Suijo K, Inoue S, Ohya Y, Odagiri Y, Takamiya T, Ishibashi H, et al. Resistance Exercise Enhances Cognitive Function in Mouse. International Journal of Sports Medicine. 2012;34(04):368-75.
9. Leavitt VM, Cimigliaro C, Cohen A, Farag A, Brooks M, Wecht JM, et al. Aerobic exercise increases hippocampal volume and improves memory in multiple sclerosis: Preliminary findings. Neurocase. 2014;20(6):695-7.
10. Krogh J, Rostrup E, Thomsen C, Elfving B, Videbech P, Nordentoft M. The effect of exercise on hippocampal volume and neurotrophins in patients with major depression—A randomized clinical trial. Journal of Affective Disorders. 2014;165:24-30.

11. Vaughan S, Wallis M, Polit D, Steele M, Shum D, Morris N. The effects of multimodal exercise on cognitive and physical functioning and brain-derived neurotrophic factor in older women: a randomised controlled trial. *Age and Ageing*. 2014;43(5):623-9.

12. Murawska-Cialowicz E, wojna J, Zuwała-Jagiello J. Crossfit training changes brain-derived neurotrophic factor and irisin levels at rest, after wingate and progressive tests, and improves aerobic capacity and body composition of young physically active men and women. :11.

13. Yang J, Shanahan KJ, Shriver LP, Luciano MG. Exercise-induced changes of cerebrospinal fluid vascular endothelial growth factor in adult chronic hydrocephalus patients. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2016;24:52-6.

14. Tonoli C, Heyman E, Buysse L, Roelands B, Piacentini MF, Bailey S, et al. Neurotrophins and cognitive functions in T1D compared with healthy controls: effects of a high-intensity exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2015;40(1):20-7.

15. Kleemeyer MM, Kühn S, Prindle J, Bodammer NC, Brechtel L, Garthe A, et al. Changes in fitness are associated with changes in hippocampal microstructure and hippocampal volume among older adults. *NeuroImage*. 2016;131:155-61.

16. Thomas AG, Dennis A, Rawlings NB, Stagg CJ, Matthews L, Morris M, et al. Multi-modal characterization of rapid anterior hippocampal volume increase associated with aerobic exercise. *NeuroImage*. mayo de 2016;131:162-70.

17. Shimada H, Ishii K, Makizako H, Ishiwata K, Oda K, Suzukawa M. Effects of exercise on brain activity during walking in older adults: a randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation [Internet]*. 2017 [citado 20 de marzo de 2018];14(1).

18. Chan JSM, Li A, Ng S-M, Ho RTH, Xu A, Yao T-J, et al. Adiponectin Potentially Contributes to the Antidepressive Effects of Baduanjin Qigong Exercise in Women with Chronic Fatigue Syndrome-Like Illness. *Cell Transplantation*. marzo de 2017;26(3):493-501.

19. Almeida MF, Silva CM, Chaves RS, Lima NCR, Almeida RS, Melo KP, et al. Effects of mild running on substantia nigra during early neurodegeneration. *Journal of Sports Sciences*. 18 de junio de 2018;36(12):1363-70.

20. On behalf of the NeuroExercise Study Group, Devenney KE, Sanders ML, Lawlor B, Olde Rikkert MGM, Schneider S. The effects of an extensive exercise programme on the progression of Mild Cognitive Impairment (MCI): study protocol for a randomised controlled trial. *BMC Geriatrics [Internet]*. 2017 [citado 20 de marzo de 2018];17(1).

21. Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*. 2008;9(1):58-65.

22. Xiao CM, Zhuang YC. Effect of health Baduanjin Qigong for mild to moderate Parkinson's disease: Health qigong Baduanjin for PD patients. *Geriatrics & Gerontology International*. 2016;16(8):911-9.

23. Zheng G, Fang Q, Chen B, Yi H, Lin Q, Chen L. Qualitative Evaluation of Baduanjin (Traditional Chinese Qigong) on Health Promotion among an Elderly Community Population at Risk for Ischemic Stroke. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2015;2015:1-10.

24. Åberg D. Role of the Growth Hormone/Insulin-Like Growth Factor 1 Axis in Neurogenesis. En: Loche S, Cappa M, Ghizzoni L, Maghnie M, Savage MO (editores). *Endocrine Development [Internet]*. Basel: KARGER; 2009 [citado 21 de junio de 2018]. 63-76.

Fe de errores (en relación al número de Medicina Naturista, Vol. 13, Nº 1, 2019, págs. 38-42)

«Efectos de un programa de ejercicios abdominales hipopresivos: un estudio piloto»

Erratum to: «Effects an abdominal hypopressive exercises programme: a pilot study»

• Alejandra Alonso-Calvete [1]; Iria Da Cuña-Carrera [1]; Yoana González-González [1]
[1] Universidade de Vigo
Medicina naturista, Vol. 13, Nº 1, 2019, págs. 38-42

En este artículo (anterior revista) se ha detectado un error que consistió en la omisión involuntaria de las tablas que debían acompañar su contenido.

Las tablas que faltaron son las siguientes:

Tabla II. Mediciones antes y después para las variables cualitativas dicotómicas

| | Si | No | Prueba de McNeman |
|-------------------------------|------------|------------|-------------------|
| Diastasis inicial | 3 (20%) | 12(80%) | ,500 |
| Diastasis final | 1(6,7%) | 14 (93,3%) | |
| Competencia abdominal inicial | 7 (46,7) | 8 (53,3%) | ,031 * |
| Competencia abdominal final | 13 (86,7%) | 2 (13,3%) | |
| Competencia perineal Inicial | 4 (26,7%) | 11 (73,3%) | 1,000 |
| Competencia perineal final | 5 (33,3%) | 10 (66,7%) | |

*p<0,05: estadísticamente significativo

Tabla I. Mediciones antes y después para las variables cuantitativas.

| | Medi a | Desviaci ón estándar | Media de error estándar | Efecto entre momentos | |
|----------------------------------------------------|--------|----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|
| | | | | Z | Significancia |
| Perímetro abdominal en reposo inicial | 77,40 | 9,48533 | 2,44910 | | |
| Perímetro abdominal en reposo final | 74,53 | 9,97759 | 2,57620 | -3,329 | ,001* |
| Perímetro abdominal durante el hipopresivo inicial | 73,93 | 9,83773 | 2,54009 | | |
| Perímetro abdominal durante hipopresivo final | 71,33 | 9,97616 | 2,57583 | -3,314 | ,001* |
| Apnea inspiratoria inicial (s) | 31,40 | 10,6355 | 2,74608 | | |
| Apnea inspiratoria final (s) | 32,33 | 11,9861 | 3,09480 | -,346 | ,729 |
| Apnea espiratoria inicial (s) | 19,20 | 6,96112 | 1,79735 | | |
| Apnea espiratoria final (s) | 24,13 | 9,22626 | 2,38221 | -2,593 | ,010* |
| Distancia dedos-suelo inicial | 4,40 | 7,82 | 2,02 | | |
| Distancia dedos-suelo final | 3,07 | 7,09 | 1,83 | -1,225 | ,221 |

*p<0,05: estadísticamente significativo