

Original Article

Investigating the role of lifetime physical activity on brain health in people with multiple sclerosis: Evidence from magnetic resonance and diffusion imaging

Raof Negaresh^{1*}, Reza Gharakhanlou², Mohammad Ali Sahraeian³,
Maryam Abolhassani⁴, Robert motl⁵

¹ Department of Physical Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran

² Department of Exercise Physiology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Department of Neurology, Multiple Sclerosis Research Center, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁴ Department of Sport Medicine, Multiple Sclerosis Research Center, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵ Department of Kinesiology and Nutrition, University of Illinois, Chicago, IL, USA

Abstract

Background and Purpose: Lifestyle is one of the most important factors affecting human health. Lifetime physical activity can be one of the most important components of lifestyle that is beneficial for brain health in people with multiple sclerosis (MS). The aim of the current study was to investigate the role and relationship of current and lifetime physical activity with the volume and markers of myelin and axon loss in the hippocampus, thalamus, corpus callosum, and amygdala in individuals with MS.

Methods & Materials: Sixty individuals with MS (66% female, 77% relapsing-remitting MS) with a mean age of 37.3±9.3 years and a disability index of 2.2±1.1, participated in this study. Whole brain volume and regions of interest were assessed by magnetic resonance imaging (MRI) and myelin and axonal loss parameters were assessed by diffusion tensor imaging (DTI). In DTI imaging, fractional anisotropy (FA, an indicator of axonal loss) and mean diffusion (MD, an indicator of myelin loss) were assessed. Current and lifetime physical activity were assessed using an accelerometer and an adapted version of the Activity History Questionnaire, respectively. Moreover, Pearson correlation and partial correlation coefficients were used to estimate the relationship of physical activity parameters with MRI and DTI markers.

Results: The brain, hippocampus and corpus callosum volume of participants who were physically active more than 4 hours/week (high active participants) was significantly greater compared to other participants ($p<0.05$). Moreover, the FA parameter was significantly higher in the hippocampus and corpus callosum of active participants ($p<0.05$), while the MD parameter was significantly higher only in the corpus callosum of sedentary participants ($p<0.05$). There was a significant ($p<0.05$) positive correlation between lifetime total energy expenditure and brain ($r=0.29$), thalamus ($r=0.37$), hippocampus ($r=0.73$) and corpus callosum volume ($r=0.69$). Higher lifetime total energy expenditure was associated with improved markers of myelin and axonal loss in the hippocampus and corpus callosum ($p<0.05$). Current moderate to vigorous

* Corresponding Author's E-mail: raof.negaresh@cfu.ac.ir

<https://doi.org/10.48308/joeppa.2025.239108.1344>

Received: 09/03/2025

Revised: 24/04/2025

Accepted: 13/05/2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

physical activity was positively and significantly ($p<0.05$) associated with thalamus ($r=0.37$), hippocampus ($r=0.39$), corpus callosum volume ($r=0.45$) and markers of axonal loss in the corpus callosum ($r=0.75$).

Conclusions: The current study provides new evidence for the positive association between physical activity and brain volume and the prevention of myelin and axonal loss in individuals with MS. The present findings support performing physical activity for more than 4 hours per week at various intensities, especially moderate to vigorous intensity, as a means to improve brain health in individuals with MS as a disease-modifying treatment.

Keywords: Lifetime physical activity, diffusion tensor imaging, magnetic resonance imaging, multiple sclerosis

How to cite this article: Negaresh R, Gharakhanlou R, Sahraeian MA, Abolhassani M, motl R. Investigating the role of lifetime physical activity on brain health in people with multiple sclerosis: Evidence from magnetic resonance and diffusion imaging. *J Sport Exerc Physiol.* 2025;18 (3):106-129.

بررسی نقش فعالیت بدنی در طول عمر بر سلامت مغز افراد مبتلا به مالتیپل اسکلروزیس: یافته‌های برگرفته از تصویربرداری تشدید مغناطیسی و دیفیوژن

رئوف نگارش^{۱*}، رضا قراخلو^۲، محمدعلی صحرایان^۳، مریم ابوالحسن^۴، رابرت موتل^۵

^۱ گروه آموزش تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۱۴۶۶۵-۸۸۹ تهران، ایران

^۲ گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ گروه نرولوژی، مرکز تحقیقات مالتیپل اسکلروزیس، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

^۴ گروه پزشکی ورزشی، مرکز تحقیقات مالتیپل اسکلروزیس، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

^۵ گروه حرکت‌شناسی و تغذیه، دانشگاه ایلینویز، شیکاگو، ایلینویز، ایالات متحده آمریکا

چکیده

زمینه و هدف: سبک زندگی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سلامت انسان است. فعالیت بدنی در طول عمر می‌تواند یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های سبک زندگی باشد که برای سلامت مغز افراد مبتلا به مالتیپل اسکلروزیس (ام‌اس) سودمند است. هدف از این پژوهش بررسی نقش و همبستگی فعالیت بدنی کنونی و در طول عمر افراد مبتلا به ام‌اس با حجم و نشانگرهای زوال آکسون و میلین در هیپوکامپ، تالاموس، کورپوس کالوزوم و آمیگدال است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ۶۰ فرد مبتلا به ام‌اس (۶۶ درصد زن، ۷۷ درصد ام‌اس عودکننده-بهبودیابنده) با میانگین سن 37.9 ± 3.3 سال و نشانگر ناتوانی $2/2 \pm 1/1$ شرکت کردند. حجم کلی مغز و نواحی موردنظر به وسیله تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) و سنج‌های نشانگر زوال میلین و آکسون به وسیله تصویربرداری تنسور دیفیوژن (DTI) ارزیابی شد. در تصویربرداری DTI، ناهمسانگردی کسری (FA)، نشانگری از زوال آکسون‌ها) و متوسط نفوذ (MD، نشانگری از زوال میلین) ارزیابی شد. فعالیت بدنی کنونی و در طول عمر به ترتیب با استفاده از شتاب‌سنج و نسخه اقتباس‌شده پرسشنامه سابقه فعالیت اندازه‌گیری شد. همچنین از آزمون همبستگی پیرسون و ضرایب همبستگی جزئی برای برآورد همبستگی بین سنج‌های فعالیت بدنی و نشانگرهای MRI و DTI استفاده شد.

نتایج: حجم مغز، هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم در شرکت‌کنندگانی که بیش از چهار ساعت در هفته فعالیت بدنی داشتند (شرکت‌کنندگان فعال)، به‌طور معناداری بیشتر از سایر شرکت‌کنندگان بود ($P < 0/05$). همچنین سنج FA در هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم شرکت‌کنندگان فعال به‌طور معناداری بیشتر بود ($P < 0/05$)، در حالی که سنج MD تنها در ناحیه کورپوس کالوزوم در شرکت‌کنندگان بی‌تحرك به‌طور معنادار بیشتر بود ($P < 0/05$). همبستگی مثبت معناداری بین کل انرژی مصرفی در طول عمر و حجم کلی مغز ($r = 0/29$)، تالاموس ($r = 0/37$)، هیپوکامپ ($r = 0/73$) و کورپوس کالوزوم ($r = 0/69$) وجود داشت ($r < 0/05$). کل انرژی مصرفی بالاتر در طول عمر با بهبود نشانگرهای زوال میلین و آکسون در هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم همراه بود ($P < 0/05$). فعالیت بدنی متوسط تا شدید کنونی شرکت‌کنندگان همبستگی مثبت و معناداری با حجم تالاموس ($r = 0/37$)، هیپوکامپ ($r = 0/39$)، کورپوس کالوزوم ($r = 0/45$) و نشانگر زوال آکسون در کورپوس کالوزوم ($r = 0/75$) داشت ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: این پژوهش یافته‌های تازه‌ای درباره همبستگی مثبت بین فعالیت بدنی با حجم مغز و جلوگیری از زوال میلین و

* رایانامه نویسنده مسئول: raof.negaresh@cfu.ac.ir

آکسون در افراد مبتلا به ام‌اس ارائه می‌کند. یافته‌های حاضر از انجام فعالیت بدنی بیش از چهار ساعت در هفته با شدت‌های متنوع، به‌ویژه شدت متوسط تا شدید، جهت بهبود سلامت مغز افراد مبتلا به ام‌اس به‌عنوان یک درمان اصلاح‌کننده بیماری حمایت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تصویربرداری تنسور دیفیوژن، تصویربرداری تشدید مغناطیس، فعالیت بدنی در طول عمر، مالتیپل اسکلروزیس.

نحوه استناد به این مقاله: نگارش ر، قراخلو ر، صحرایان م ع، ابوالحسینی م، موتل ر. بررسی نقش فعالیت بدنی در طول عمر بر سلامت مغز افراد مبتلا به مالتیپل اسکلروزیس: یافته‌های برگرفته از تصویربرداری تشدید مغناطیسی و دیفیوژن. نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی. ۱۴۰۴؛ ۱۸(۳): ۱۰۶-۱۲۹.

مقدمه

سبک زندگی از مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر بر سلامت انسان در طول زندگی و فعالیت بدنی از عوامل مهم و تغییرپذیر سبک زندگی است (۱). با انقلاب صنعتی در قرون هجدهم و نوزدهم و در پی آن انقلاب فناوری در این سال‌ها، میزان فعالیت بدنی انسان (به‌طور ویژه فعالیت بدنی غیرورزشی) با شیب تندی کاهش یافته است (۱، ۲). ظهور فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی نیز می‌تواند این روند را مضاعف کند. این در حالی است که مشخص شده است فعالیت بدنی در طول عمر با کاهش مرگ‌ومیر، خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن مختلف، زوال عقل و ناتوانی در سنین پیری همراه است (۱). نتیجه کاهش فعالیت بدنی در جوامع انسانی شاید با افزایش هزینه‌های درمانی، مشکلات روانشناختی مانند افسردگی و چاقی همراه شود، درحالی‌که افزایش سطح فعالیت بدنی می‌تواند سودمندی سلامت فراوانی داشته باشد.

یکی از بیماری‌هایی که گسترش آن طی دهه‌های گذشته رو به افزایش بوده است، مالتیپل اسکلروزیس^۱ (ام‌اس) است که اکنون بیش از ۲/۵ میلیون نفر در سرتاسر جهان را درگیر کرده است (۳). ام‌اس یک بیماری خودایمن است که طی آن دستگاه ایمنی بدن به‌اشتباه با حمله به دستگاه عصبی مرکزی به از دست رفتن میلین‌های دستگاه عصبی مرکزی و در پی آن از دست دادن آکسون‌ها، کاهش حجم و عملکرد مغز منجر می‌شود (۴، ۵).

در آغاز گمان می‌رفت به‌علت حساسیت افراد مبتلا به ام‌اس به گرما، فعالیت بدنی می‌تواند در تشدید بیماری و افزایش خطر عود مؤثر باشد، از این‌رو پیشنهاد می‌شد که افراد مبتلا به ام‌اس از فعالیت بدنی اجتناب ورزند (۴، ۶). با افزایش پژوهش‌ها در زمینه فعالیت بدنی و ام‌اس، مشخص شد که دیدگاه و پیشنهادهای نخستین درست نبوده است. به‌تازگی

با بررسی ۴۰ کارآزمایی تصادفی کنترل‌شده و ۱۷۸۰ فرد مبتلا به ام‌اس نشان داد که فعالیت بدنی منظم با افزایش خطر عود بیماری، اثر نامطلوب یا عوارض جانبی همراه نیست (۷). به همین ترتیب، بسیاری از یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهند که فعالیت بدنی منظم با بهبود قدرت ماهیچه‌ای، آمادگی بدنی، عملکرد قلبی-تنفسی، توانایی راه رفتن و متغیرهای روانشناختی مانند خستگی و افسردگی همراه بود (۸-۱۰). شواهد نشان از زوال مغز و آتروفی بخش‌های مختلفی از مغز در بیماری ام‌اس است. برای نمونه مشخص شده است که آتروفی کورپوس کالوزوم یک نشانگر ساده پیش‌بینی‌کننده روند بیماری است (۱۱)، درحالی‌که آتروفی تالاموس و هیپوکامپ وابسته به ایجاد و تشدید روند بالینی بیماری ام‌اس است (۱۲). همچنین گزارش‌ها نشان از نقش مهم آتروفی آمیگدال بر اختلالات شناختی، افسردگی و بروز خستگی در افراد مبتلا به ام‌اس بود (۱۳). این یافته‌ها تأکید می‌کند که تغییرات حجم و عملکرد نواحی مختلف مغز می‌تواند یکی از اهداف مهم مطالعات حوزه فعالیت بدنی باشد. با این همه، باید توجه داشت که بسیاری از برتری‌های نهفته مورد انتظار از فعالیت بدنی، به دوره‌های زمانی طولانی نیاز دارد.

روش طلایی استاندارد تشخیص و بررسی روند ام‌اس، تصویربرداری تشدید مغناطیسی^۲ (MRI) است (۵، ۱۲، ۱۴). این شیوه تصویربرداری توانایی ارزیابی آتروفی مغز، نابهنجاری ماده خاکستری و سفید مغز و شناسایی ضایعات مغزی را که مهم‌ترین نشانگر بیماری هستند، دارد (۵، ۱۴). تغییرات حجم مغز یا نواحی خاصی از مغز به‌دنبال یک دوره کوتاه فعالیت بدنی دور از انتظار است، چندین پژوهش با هدف بررسی اثر فعالیت بدنی بر تغییرات حجم مغز و نواحی آن از روش MRI‌های مرسوم استفاده کردند،

سفید مغز در افراد مبتلا به ام‌اس همراه است. همچنین مشخص شد که فعالیت بدنی در طول عمر ارتباط نزدیکی با وضعیت سوخت‌وساز مغز دارد (۱۲).

تصویربرداری مرسوم به روش MRI دارای محدودیت‌ها و تنگناهای فراوانی است. برای نمونه داده‌های دقیقی درباره التهاب، وضعیت میلین‌زدایی و از دست رفتن آکسون‌ها ارائه نمی‌کند (۱۲، ۱۴). اکنون با استفاده از تصویربرداری‌های نوین که در اصطلاح MRI‌های غیرمرسوم نامیده می‌شوند، می‌توان بخشی از تنگناهای یادشده را مرتفع کرد. برای نمونه تصویربرداری تنسور دیفیوژن^۳ (DTI) که بر پایه نفوذپذیری مولکول‌های آب به بافت‌های مغز پایه‌گذاری شده است (۱۸)، می‌تواند داده‌های مهمی از ریزساختار بافت مغز ارائه دهد. از مهم‌ترین داده‌هایی که DTI در اختیار قرار می‌دهد تغییر در انتشار مولکول‌های آب از غشای آکسون‌ها و غلاف میلین است که به وسیله سنجه‌های ناهمسانگردی کسری^۴ (FA، نشانگری از زوال آکسون‌ها) و متوسط نفوذ^۵ (MD، نشانگری از زوال میلین) ویژگی می‌یابد (۱۸). با این همه، پژوهش‌هایی که به بررسی اثر فعالیت بدنی با استفاده از روش MRI‌های غیرمرسوم پرداخته‌اند، انگشت‌شمارند.

یافته‌های بسیاری بیانگر آن‌اند که فعالیت بدنی در طول عمر می‌تواند پیش‌بینی‌کننده شدت و روند بیماری‌ها در سنین بالاتر باشد (۱، ۱۹). با این همه، پژوهش‌های اولیه نشان داد که میزان فعالیت بدنی افراد مبتلا به ام‌اس کمتر از جمعیت عمومی است (۲۰)، اگرچه پژوهش‌های دیگر، امیدوارانه نشان دادند که دیدگاه مثبت به فعالیت بدنی در بین افراد مبتلا به ام‌اس رو به افزایش است (۲۰). بررسی عوامل خطرزای محیطی در افراد مبتلا به ام‌اس نشان داد که فعالیت بدنی وابسته به کاهش خطر ابتلا و شدت

اما همان‌طور که انتظار می‌رفت فعالیت بدنی کوتاه‌مدت (کمتر از شش ماه) نتوانسته اثر معناداری بر حجم مغز یا نواحی مختلف آن داشته باشد (۵، ۱۵). در مقاله مروری نظام‌مند نگارش و همکاران (۲۰۱۹) مشخص شد که بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در بیماران مبتلا به ام‌اس با هدف بررسی نقش فعالیت بدنی یا تمرین ورزشی بر دستگاه عصبی مرکزی، از برنامه‌های تمرینی کوتاه‌مدت استفاده کرده‌اند و در نتیجه بیشتر تأثیرات سودمند فعالیت بدنی را گزارش نکرده یا تأثیرات کوچکی را گزارش کرده‌اند (۵). برای نمونه گزارش شد که پس از ۲۴ هفته تمرین مقاومتی، تغییر معناداری در حجم مغز و ضایعات مغزی دیده نشد (۱۵). به همین ترتیب، ۲۴ هفته تمرین هوازی با شدت بالا نیز به تغییرات ساختاری معناداری در مغز افراد مبتلا به ام‌اس منجر نشد (۱۶). با این همه، در برخی پژوهش‌ها به اثر سودمند فعالیت بدنی و تمرین ورزشی اشاره شده است. برای نمونه در یک پژوهش مقدماتی با حجم نمونه کوچک گزارش شد که سه ماه تمرین هوازی با بهبود حجم هیپوکامپ در افراد مبتلا به ام‌اس همراه است (۱۷). در مجموع، پژوهش‌هایی که از مداخلات ورزشی در افراد مبتلا به ام‌اس استفاده کرده‌اند، بیشتر مدت زمان مداخله بین دو تا شش ماه را استفاده کرده‌اند که به نظر می‌رسد برای ایجاد تغییرات ساختاری در مغز، به‌ویژه تغییر حجم کل مغز یا نواحی آن، زمان کوتاهی باشد. برای غلبه بر این معضل، نیاز به پژوهش‌های طولانی‌مدت‌تر محسوس است. با این همه، پژوهش‌هایی که همبستگی فعالیت بدنی طول عمر با سلامت مغز را بسنجند نیز می‌توانند کمک شایان توجهی برای پوشش این شکاف علمی داشته باشند. پیش از این، مشخص شده بود که بالاتر بودن آمادگی هوازی با حجم بالاتر ماده خاکستری و یکپارچگی بالاتر ماده

بیماری ام اس است (۲۰، ۲۱). همچنین گزارش شد که میزان فعالیت بدنی کمتر با افزایش وزن و توده چربی همراه است که خطر ابتلا به ام اس را بالا می برد و با تشدید نشانه های بیماری همراه است (۶، ۲۱). بنابراین فعالیت بدنی در طول عمر شاید با بهبود نشانه های و روند ام اس همراه باشد. اگرچه شیوه نامه های فعالیت بدنی برای ام اس طراحی شده اند (۲۲، ۲۳)، اما ویژگی های یک برنامه فعالیت بدنی مناسب برای بهبود سلامت و عملکرد مغز در افراد مبتلا به ام اس مشخص نشده است، زیرا بیشتر این شیوه نامه ها دارای مجموعه ای از پیشنهاد های کلی هستند. از این رو این پرسش باقی است که آیا فعالیت بدنی در طول عمر، با سلامت مغز و به طور ویژه ساختار و ریزساختار مغز در افراد مبتلا به ام اس همبستگی دارد. همچنین مشخص نیست که کدام شدت فعالیت بدنی برای افراد مبتلا به ام اس مفیدتر است یا آیا می توان به افراد مبتلا به ام اس فعالیت بدنی با شدت شدید را پیشنهاد کرد. این در حالی است که تجارب علمی پیشین نشان داده است که شدت فعالیت بدنی متغیر مهمی است که بر سودمندی فعالیت بدنی تأثیر می گذارد (۱۲، ۲۴). بنابراین، برای پوشش شکاف علمی موجود درباره همبستگی فعالیت بدنی در طول عمر یا ساختار و ریزساختار مغز در افراد مبتلا به ام اس و تأثیر شدت های مختلف فعالیت بدنی، این پژوهش با هدف بررسی نقش فعالیت بدنی در طول عمر بر سلامت مغز افراد مبتلا به ام اس ارزیابی شده به وسیله 3D MRI و DTI در چهار ناحیه تالاموس، هیپوکمپ، کورپوس کالوزوم و آمیگدال طراحی شد.

روش پژوهش

نمونه های پژوهش: این پژوهش به تأیید کمیته اخلاق دانشگاه تربیت مدرس تهران

(IR.MODARES.REC.1398.042) رسیده است. همه مراحل و روند پژوهش بر پایه اعلامیه هلسینکی انجام شد. همه شرکت کنندگان پیش از آغاز پژوهش، رضایت نامه آگاهانه را تکمیل کردند. در این پژوهش، پس از فراخوان و انتشار آگهی های تبلیغاتی در درمانگاه تخصصی ام اس (بیمارستان سینا، تهران) و انجمن ام اس تهران، ۹۶ فرد مبتلا به ام اس به صورت داوطلبانه برای شرکت در پژوهش اعلام آمادگی کردند که پس از بررسی شرایط ورود و خروج از پژوهش، ۶۰ فرد مبتلا به ام اس تشخیص داده شده بر پایه سنجه های بازنگری شده مک دونالد (۲۵) به خدمت گرفته شدند. معیارهای ورود به پژوهش عبارت بود از: (الف) تشخیص ام اس بر پایه سنجه های پذیرفته شده، (ب) نبود پیشینه عود بیماری در شش ماه گذشته، (ج) عدم استعمال دخانیات، (د) سن بین ۲۲ تا ۶۵ سال، (ه) مقیاس وضعیت ناتوانی گسترده^۶ (EDSS) کمتر از ۶، (و) تمایل به مشارکت در پژوهش، و (ز) عدم ترس و اضطراب هنگام قرارگیری در مکان های تاریک. همچنین نشانگرهای خروج از پژوهش عبارت بودند از: (الف) توانایی تکمیل ارزیابی های حضوری، (ب) ابتلا به بیماری های جانبی مانند دیابت، (ج) پیشنهاد شده به عدم انجام MRI یا پیشینه ترس و اضطراب مفرط هنگام انجام MRI، (د) هرگونه اختلال عصبی و اختلال روانپزشکی، (ه) داشتن رژیم غذایی خاص مانند گیاه خواری، و (و) مصرف منظم دارو به جز داروهای رایج درمان بیماری و پیشنهاد شده توسط پزشک. میانه EDSS شرکت کنندگان ۲ (دامنه ۰ - ۵) و ۷۸/۳ درصد (۴۷ نفر) آنها، به ام اس عودکننده - بهبودیابنده و مابقی شرکت کننده به دیگر شکل های ام اس، مبتلا بودند. طول مدت بیماری شرکت کنندگان ۴/۷±۱/۷ سال بود. همچنین میانگین

روش های آزمایشگاهی: برای تعیین میزان فعالیت بدنی در طول عمر از نسخهٔ اقتباس شدهٔ پرسشنامهٔ سابقهٔ فعالیت^۷ (HLAQ) استفاده شد. HLAQ شامل دو بخش است: (الف) ارزیابی فعالیت بدنی اوقات فراغت در طول سال گذشته و (ب) ارزیابی فعالیت بدنی اوقات فراغت در پنج دورهٔ زمانی شامل ۱۴-۲۱، ۲۲-۳۴، ۳۵-۴۹، ۵۰-۶۴ و ۶۵-۸۰ سال. برای تعیین میزان فعالیت بدنی در طول عمر، شرکت کنندگان ابتدا حجم هفتگی فعالیت بدنی اوقات فراغت را به طور جداگانه برای سال گذشته و هر دورهٔ زمانی ذکر شده، گزارش کردند. بدین منظور شرکت کنندگان نوع فعالیت ها و فعالیت های از پیش تعریف شدهٔ رایج (مانند پیاده روی، دویدن و تمرین با وزنه) را همراه با تعداد سال، تعداد ماه در سال و تعداد ساعت در هفته را در هر یک از دورهٔ زمانی ذکر شده، گزارش کردند. بر پایهٔ میزان فعالیت بدنی در سال گذشته، شرکت کنندگان به سه طبقهٔ غیرفعال (فعالیت ۰-۱ ساعت در هفته)، متوسط (۲-۳ ساعت در هفته فعالیت) و بسیار فعال (بیشتر از چهار ساعت در هفته) تقسیم شدند. روی هم رفته داده های استخراج شده از HLAQ بر پایهٔ نشانگر سوخت و ساز^۸ (MET) و بر پایهٔ مطالعات پیشین (۲۶، ۲۷)، به دو طبقه شدت متوسط (۳ تا ۶ MET) و شدید ($6 < MET$) تقسیم شدند. گفتنی است که تنها فعالیت هایی با شدت $3 \leq MET$ در نظر گرفته شدند. پس از محاسبهٔ مجموع MET ساعت ها/هفته ای برای هر دورهٔ زمانی، میانگین فعالیت بدنی به دست آمد.

ارزیابی فعالیت بدنی با استفاده از شتاب سنج: شرکت کنندگان شتاب سنج ها را روی یک کمربند دور کمر به مدت هفت روز پیاپی و در طول ساعت های بیداری، به جز زمانی که شنا می کردند، حمام می کردند، یا دوش می گرفتند، بستند. داده های زمان

وزن $70/1 \pm 3/8$ کیلوگرم بود، در حالی که بر پایهٔ BMI، بیشتر شرکت کنندگان به عنوان افراد با وزن طبیعی ($23/3$ درصد) یا اضافه وزن ($21/6$ درصد) طبقه بندی شدند (جدول ۱). میانگین BMI برای مردان و زنان شرکت کننده در پژوهش به ترتیب $26/2 \pm 4/4$ و $26/7 \pm 2/2$ کیلوگرم بر مترمربع بود.

روش اجرای پژوهش: پس تعیین افراد واجد شرایط شرکت کننده در پژوهش با استفاده از معیارهای ورود و خروج و پیش از آغاز فرایند پژوهش، شرکت کنندگان در دو جلسهٔ حضوری به منظور آشنایی با اهداف و روند پژوهش شرکت کردند. ابتدا همهٔ شرکت کنندگان، پرسشنامه های جمعیت شناختی/بالینی، از جمله فعالیت بدنی خود گزارش شده، پرسشنامهٔ خستگی و پرسشنامهٔ اضطراب/افسردگی را زیر نظر یکی از پژوهشگران تکمیل کردند. برای ارزیابی EDSS از معاینهٔ عصبی انجام شده توسط متخصص مغز و اعصاب استفاده شد. پس از راهنمایی های لازم در جلسات آشناسازی دربارهٔ نحوهٔ استفاده از شتاب سنج جهت ارزیابی میزان فعالیت بدنی، شتاب سنج (GT1M، Acti-Graph، پناساکولا، فلوریدا، ایالات متحدهٔ آمریکا) به مدت هفت روز در اختیار شرکت کنندگان قرار گرفت. همچنین یک فایل آموزشی دربارهٔ نحوهٔ استفاده از شتاب سنج تهیه شد و در اختیار شرکت کنندگان قرار گرفت و یکی از پژوهشگران به طور مداوم با شرکت کنندگان همبستگی داشت تا دربارهٔ هرگونه پرسش یا مشکل دربارهٔ استفاده از شتاب سنج، راهنمایی ارائه دهد. پس از اتمام دورهٔ زمانی استفاده از شتاب سنج، شرکت کنندگان برای انجام آزمون های MRI به آزمایشگاه ملی نقشه برداری مغز (تهران، ایران) فراخوانده شدند. پیش از تصویربرداری، پزشک وضعیت شرکت کنندگان را بررسی و انجام MRI را تأیید کرد.

انجام شد. برای ارزیابی حجم کل مغز و نواحی موردنظر از تصاویر ساجیتال و کروئال T1-weighted و سکانس $MPRAGE (TR / TE / TI = 1100ms / 3/47 / 2000)$ با $FoV = 265mm$ ، ضخامت برش = یک میلی‌متر زمان و مدت زمان = چهار دقیقه و ۳۸ ثانیه) و تصاویر استاندارد آگزیزال T2-weighted با روش $space\ dark\ fluid (TR / TE / TI = 1800ms / 3/87 / 5000)$ ، ضخامت برش 0.9 میلی‌متر، $FoV = 230mm$ و در مدت زمان پنج دقیقه و ۴۲ ثانیه) استفاده شد. پس از حذف بافت‌های غیرمغزی، از FSL (FMRIB's Software Library) جهت تمایز مغز و جمجمه استفاده شد. ابزار FMRIB's Integrated Registration and Segmentation Tool (FIRST)) برای محاسبه حجم نواحی موردنظر استفاده شد (۲۹). گفتنی است که حجم تلاموس، هیپوکامپ و آمیگدال در ناحیه راست مغز محاسبه شد.

تصویربرداری دیفیوژن: برای پژوهش اطلاعات تکمیلی و جزئیات بیشتر در این مورد به پژوهش‌های پیشین مراجعه کنید (۱۲، ۳۰). به‌طور خلاصه، سنجه‌های $TE / TR = 92 / 9600ms$ با $read$ $FoV = 220$ میلی‌متر و اندازه وکسل $2*2*2$ میلی‌متر بدون گپ در مدت زمان پنج دقیقه و ۴۷ ثانیه (۳۰) جهت انتشار) برای انجام تصویربرداری به روش DTI در نظر گرفته شد. پردازش تصاویر توسط جعبه ابزار FSL صورت گرفت. برای به حداقل رساندن انحراف طبیعی گرادیان (سکانس‌های echo-planar imaging)، از ابزار FSL Linear Registration (FSLRT)) در فضای 3D TI همراه با ثبت تصاویر در بسته ANTs (Advanced Normalization Tools) استفاده شد (۳۰). روی هم‌رفته سنجه‌های FA و MD برای هر ناحیه پس از تبدیل با استفاده از الحاق سه خطی به فضای T1 3D و بر پایه تقسیم‌بندی تالامیک

استفاده از شتاب‌سنج برای همه شرکت‌کنندگان بررسی شد و تنها داده‌های شرکت‌کنندگانی که شتاب‌سنج را بیش از هشت ساعت بدون دوره‌های عدم انطباق استفاده کرده بودند، به‌عنوان داده‌های واجد شرایط در نظر گرفته شد تا در تحلیل نهایی گنجانده شوند. سازوکار عملکرد شتاب‌سنج به‌وسیله یک پیام الکتریکی متناسب با نیروی وارد بر آن در امتداد سه محور تولید بود. سیگنال شتاب از طریق یک مبدل ۱۲ بیتی آنالوگ به دیجیتال اخذ شد و در واحدهای گرانش (G's) بدون در نظر گرفتن حرکات مغایر با فعالیت‌های عادی انسان که توسط فیلتر از پیش تعبیه‌شده، تشخیص و رد می‌شد، ذخیره شد. در بین ۶۰ شرکت‌کننده واجد شرایط، ۳۵ نفر از آنها همه هفت روز از شتاب‌سنج استفاده کردند، درحالی‌که ۱۳ و ۸ شرکت‌کننده به‌ترتیب شش و پنج روز از شتاب‌سنج استفاده کردند. روی هم‌رفته چهار شرکت‌کننده سه روز یا کمتر از شتاب‌سنج استفاده کردند. داده‌های خام به‌دست‌آمده با استفاده از ActiLife بررسی و به‌عنوان تعداد فعالیت در دقیقه بیان شد. بر پایه نقاط برش پیشین ایجادشده برای افراد مبتلا به ام‌اس (۲۸)، فعالیت بدنی به‌دست‌آمده به سه طبقه (الف) رفتارهای (فعالیت‌های) کم‌تحرك (≥ 100 فعالیت در دقیقه)، (ب) فعالیت بدنی سبک (۱۷۲۲-۱۰۰ فعالیت در دقیقه) و (ج) فعالیت بدنی متوسط تا شدید (MVPA) (≤ 1722 فعالیت در دقیقه) تقسیم شد.

تصویربرداری تشدید مغناطیسی: برای پژوهش اطلاعات تکمیلی و جزئیات بیشتر در این مورد به پژوهش‌های پیشین مراجعه کنید (۱۲، ۱۴). به‌طور خلاصه، از یک اسکنر MRI زیمنس 3T (ساخت آلمان) برای کل بدن، با استفاده از کویل سر ۶۴ کاناله، جهت اخذ تصاویر MRI استفاده شد. اخذ تصاویر توسط یک اپراتور متخصص دستگاه MRI

FIRST محاسبه شد (۲۹).

خستگی و اضطراب/افسردگی: از مقیاس شدت خستگی^۹ (FSS) که شامل نه پرسش است و شدت خستگی را در مقیاسی بین یک تا هفت ارزیابی می‌کند، استفاده شد. نمره بالاتر در FSS، نشان‌دهنده خستگی بیشتر است (۹). افزون بر این، از مقیاس اضطراب و افسردگی بیمارستانی^{۱۰} (HADS) برای اندازه‌گیری افسردگی و اضطراب در مقیاس لیکرت استفاده شد. این مقیاس به‌طور مساوی از هفت گویه برای نشانه‌های افسردگی و اضطراب تشکیل شده است. نمرات بالاتر در HADS نشانه فراوانی بیشتر افسردگی و اضطراب است (۳۱).

تحلیل آماری: از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۵ برای تجزیه و تحلیل داده‌های استخراج شده استفاده شد. بر پایه داده‌های به‌دست‌آمده از فعالیت بدنی سال گذشته (بر پایه داده‌های HLAQ)، شرکت‌کنندگان در سه زیرگروه بسیار فعال، فعال متوسط و غیرفعال طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد، حجم کلی و نواحی موردنظر مغز، سنج‌های تصویربرداری، شدت خستگی و اضطراب/افسردگی شرکت‌کنندگان بین سه زیرگروه با استفاده از آزمون ANCOVA با کنترل جنسیت، سن، EDSS و نوع بیماری به عنوان کووریت، مقایسه شد. از مجذور اتا جزئی (η^2) به عنوان اندازه اثر در آزمون ANCOVA استفاده شد. در صورت لزوم، از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مشخص کردن محل اختلاف بین زیرگروه‌ها استفاده شد. از آزمون همبستگی پیرسون (product-moment) و ضرایب همبستگی جزئی برای برآورد همبستگی بین سنج‌های فعالیت بدنی و نشانگرهای MRI و DTI استفاده شد. در آزمون همبستگی جزئی همبستگی بین دو متغیر زمانی که سایر متغیرها ثابت‌اند، ارزیابی می‌شود، بنابراین، این آزمون با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از متغیرهای همبسته دیگر، ارتباط

مستقل بین دو متغیر را برآورد می‌کرد. از این‌رو، همبستگی جزئی برای جنسیت، سن، EDSS، نوع بیماری و مدت زمان استفاده از شتاب‌سنج، کنترل شد. سطوح همبستگی ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ به ترتیب به‌عنوان همبستگی ضعیف، متوسط و قوی تفسیر شدند (۳۲). سطح معناداری آماری در همه آزمون‌ها، $P < ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

نتایج

فعالیت بدنی: بر پایه داده‌های استخراج شده از شتاب‌سنج، میانگین رفتارهای کم‌تحرک، فعالیت با شدت کم و فعالیت با شدت متوسط تا شدید به ترتیب $۱۸ \pm ۱۲/۸$ و $۱۹۸/۶ \pm ۵۲/۹$ ، $۵۵۰/۹ \pm ۱۴۵/۱$ روز بود، درحالی‌که میانگین استفاده از شتاب‌سنج در شرکت‌کنندگان، $۷۵۹/۹ \pm ۱۵۶/۱$ دقیقه در روز بود. داده‌های اخذ شده از HLAQ نشان داد که میانگین فعالیت با شدت متوسط، شدید و انرژی کل مصرفی در شرکت‌کنندگان به ترتیب $۲۲/۶ \pm ۱۱/۴$ ، $۱۶/۳ \pm ۹/۵$ و $۳۸/۸ \pm ۱۸/۸$ MET ساعت/هفته بود. بر پایه فعالیت بدنی در سال گذشته، ۱۸/۳ درصد شرکت‌کنندگان به‌عنوان غیرفعال، ۳۵ درصد به‌عنوان فعال متوسط و ۴۶/۷ درصد به‌عنوان بسیار فعال طبقه‌بندی شدند. مقایسه شرکت‌کنندگان بر پایه طبقه‌بندی شکل‌گرفته نشان داد که تفاوتی در نشانگرهای جمعیت‌شناختی و بیماری وجود ندارد ($P > ۰/۰۵$)، درحالی‌که اختلاف معناداری بین زیرگروه‌های ایجاد شده در نشانگر شدت خستگی و نشانگر اضطراب/افسردگی وجود دارد (به ترتیب $P = ۰/۰۳۷$ ، $\eta^2 = ۰/۱۱۷$ و $P = ۰/۰۲۴$ ، $\eta^2 = ۰/۱۳۱$)، به‌نحوی که خستگی و فراوانی اضطراب/افسردگی در شرکت‌کنندگانی که به‌عنوان بسیار فعال طبقه‌بندی شده‌اند به‌طور معناداری از افراد غیرفعال کمتر بود ($P < ۰/۰۵$) (جدول ۱).

جدول ۱. نشانگرهای جمعیت‌شناختی، بیماری، خستگی و اضطراب/افسردگی به تفکیک میزان فعالیت در سال گذشته

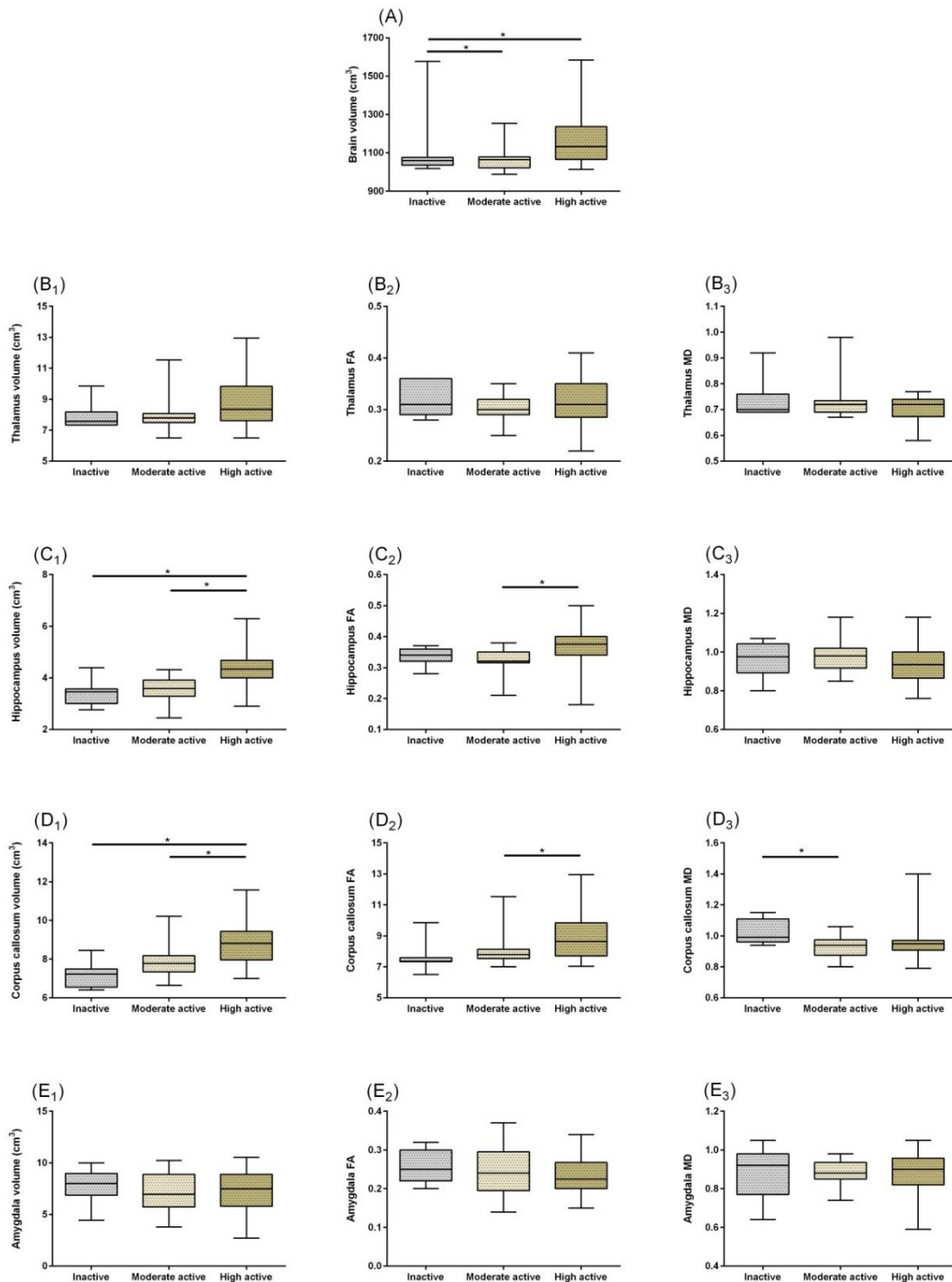
بسیار فعال	فعال متوسط	غیرفعال	مجموع	نشانگر
۲۰/۸	۱۴/۷	۶/۵	۴۰/۲۰	جنسیت (مرد/زن)
۳۶/۸±۱۰/۳	۳۷/۶±۷/۵	۳۷/۶±۱۰/۴	۳۷/۳±۹/۳	سن (سال)
۸/۲۰	۴/۱۷	۲/۹	۱۴/۴۶	نوع بیماری (RR/سایر)
۲۶/۸±۲/۴	۲۵/۸±۱/۷	۲۷/۴±۲/۸	۲۶/۶±۲/۳	BMI (کیلوگرم/سانتی‌متر ^۲)
۷۰/۲±۳/۵	۶۹/۱±۳/۵	۷۱/۶±۵/۱	۷۰/۱±۳/۸	وزن (کیلوگرم)
۲/۳±۰/۹	۲/۱±۱/۳	۲/۱±۱/۱	۲/۲±۱/۱	EDSS
۵/۱±۱/۶	۴/۷±۲	۳/۹±۱/۵	۴/۷±۱/۷	طول مدت بیماری (سال)
۳/۸±۱/۱	۳/۹±۰/۹	۴/۸±۰/۵	۴/۱±۱	شدت خستگی *
۶/۶±۰/۹	۶/۸±۰/۷	۷/۴±۰/۵	۶/۸±۰/۹	اضطراب/افسردگی *

* نشان‌دهنده تفاوت معنادار در آزمون ANCOVA ($P < 0.05$). بر پایه میزان فعالیت در یک سال گذشته، تنها شدت خستگی و نشانگر اضطراب/افسردگی بین شرکت‌کنندگان تفاوت داشت (به ترتیب $P = 0.037$, $\eta^2 = 0.117$ و $P = 0.024$, $\eta^2 = 0.131$ ، به نحوی که میزان خستگی و اضطراب/افسردگی در شرکت‌کنندگان غیرفعال به‌طور معناداری بیشتر از شرکت‌کنندگان دیگر بود ($P < 0.05$).
BMI: بیانگر توده بدن؛ RR: بیماری ام‌اس نوع عودکننده-بهبود یابنده؛ EDSS: مقیاس وضعیت ناتوانی گسترده

کورپوس کالوزوم ($r = 0.47$ ، همبستگی متوسط)، MD هیپوکامپ ($r = -0.41$ ، همبستگی متوسط) و MD کورپوس کالوزوم ($r = -0.33$ ، همبستگی متوسط) بود ($P < 0.05$). همچنین، میزان فعالیت شدید شرکت‌کنندگان در طول عمر با حجم تالاموس ($r = 0.43$ ، همبستگی متوسط)، حجم هیپوکامپ ($r = 0.79$ ، همبستگی قوی)، حجم کورپوس کالوزوم ($r = 0.62$ ، همبستگی قوی)، FA ($r = 0.35$ ، همبستگی متوسط) و MD ($r = -0.34$ ، همبستگی متوسط) هیپوکامپ و FA کورپوس کالوزوم ($r = 0.52$ ، همبستگی قوی) همبستگی معناداری دارد ($P < 0.05$) (جدول ۲). رویه‌رفته، حجم کل انرژی مصرفی در طول عمر همبستگی معناداری با حجم کل مغز ($r = 0.29$ ، همبستگی ضعیف)، حجم تالاموس ($r = 0.37$ ، همبستگی متوسط)، حجم هیپوکامپ ($r = 0.73$ ، همبستگی قوی)، حجم کورپوس کالوزوم ($r = 0.62$ ، همبستگی قوی)، FA ($r = 0.33$ ، همبستگی متوسط) هیپوکامپ و FA ($r = 0.31$ ، همبستگی متوسط) و MD ($r = -0.29$ ، همبستگی متوسط) کورپوس کالوزوم داشت ($P < 0.05$) (شکل ۲). کنترل آزمون همبستگی با جنسیت، سن، EDSS و نوع بیماری نتایج مشابهی را در پی داشت (جدول ۲).

همبستگی فعالیت بدنی در طول عمر با سلامت مغز: مقایسه بین زیرگروه‌های ایجادشده بر پایه داده‌های استخراج‌شده از HLAQ نشان داد که اختلاف معناداری بین حجم کل مغز ($r = 0.49$ ، $P = 0.049$ ، $\eta^2 = 0.107$)، هیپوکامپ ($r = 0.01$ ، $P = 0.34$ ، $\eta^2 = 0.001$) و کورپوس کالوزوم ($r = 0.284$ ، $P = 0.284$ ، $\eta^2 = 0.0284$) وجود دارد، در حالی که اختلاف معناداری بین زیرگروه‌ها برای حجم تالاموس ($r = 0.112$ ، $P = 0.075$ ، $\eta^2 = 0.0112$) و حجم آمیگدال ($r = 0.498$ ، $P = 0.026$ ، $\eta^2 = 0.026$) دیده نشد (شکل ۱). در ادامه، آزمون تعقیبی نشان از کمتر بودن معنادار حجم کل مغز، هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم در شرکت‌کنندگان غیرفعال نسبت به بسیار فعال داشت ($P < 0.05$). همچنین بررسی سنجه‌های دیفیوژن چهار ناحیه ارزیابی‌شده نشان‌دهنده تفاوت معنادار سنجه FA بین زیرگروه‌ها در هیپوکامپ ($r = 0.21$ ، $P = 0.136$ ، $\eta^2 = 0.0136$) و کورپوس کالوزوم ($r = 0.06$ ، $P = 0.175$ ، $\eta^2 = 0.006$) بود در حالی که سنجه MD تنها در ناحیه کورپوس کالوزوم ($r = 0.114$ ، $P = 0.04$ ، $\eta^2 = 0.0114$) تفاوت معناداری نشان داد (شکل ۱).

آزمون همبستگی نشان‌دهنده همبستگی معنادار بین میزان فعالیت متوسط شرکت‌کنندگان در طول عمر با حجم تالاموس ($r = 0.27$ ، همبستگی ضعیف)، حجم هیپوکامپ ($r = 0.53$ ، همبستگی قوی)، حجم



شکل ۱. مقایسه حجم مغز (A)، حجم و سنجه‌های دیفیوژن ناحیه تالاموس (B₁₋₃)، هیپوکامپ (C₁₋₃)، کورپوس کالوزوم (D₁₋₃) و آمیگدال (E₁₋₃)

* نشان‌دهنده اختلاف معنادار بین شرکت‌کنندگان ($P < 0.05$). آزمون ANCOVA نشان‌دهنده اختلاف معناداری بین حجم کل مغز ($\eta^2 = 0.107, P = 0.049$)، هیپوکامپ ($\eta^2 = 0.34, P = 0.001$) و کورپوس کالوزوم ($\eta^2 = 0.284, P = 0.001$) بود به نحوی که حجم کل مغز، هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم در شرکت‌کنندگان غیرفعال به‌طور معناداری کمتر از شرکت‌کنندگان بسیار فعال بود ($P < 0.05$). تفاوت معنادار سنجه FA بین زیرگروه‌ها در هیپوکامپ ($\eta^2 = 0.136, P = 0.021$) و کورپوس کالوزوم ($P = 0.006$)، $\eta^2 = 0.175$ دیده شد.

جدول ۲. همبستگی بین فعالیت بدنی در طول عمر با سنج‌های تصویربرداری تشدید مغناطیسی و دیفیوژن

کل انرژی مصرفی	مدل ۲		کل انرژی مصرفی	مدل ۱		فعالیت متوسط
	فعالیت شدید	فعالیت متوسط		فعالیت شدید	فعالیت متوسط	
حجم کل مغز	۰/۲۱	۰/۱۶	*۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۲۱	
حجم تالاموس	*۰/۳۸	۰/۲۵	*۰/۳۷	*۰/۴۳	*۰/۲۷	
FA (تالاموس)	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۸۰	
MD (تالاموس)	*-۰/۲۹	-۰/۲۶	-۰/۲۴	-۰/۲۳	-۰/۲۰	
حجم هیپوکامپ	*۰/۷۴	*۰/۵۲	*۰/۷۳	*۰/۷۹	*۰/۵۳	
FA (هیپوکامپ)	*۰/۳۲	۰/۲۲	*۰/۳۳	*۰/۳۵	۰/۲۵	
MD (هیپوکامپ)	*-۰/۴۲	*-۰/۴۰	*-۰/۴۲	*-۰/۳۴	*-۰/۴۱	
حجم کورپوس کالوزوم	*۰/۶۳	*۰/۴۶	*۰/۶۲	*۰/۶۶	*۰/۴۷	
FA (کورپوس کالوزوم)	*۰/۳۳	۰/۰۵	*۰/۳۱	*۰/۵۲	۰/۰۶	
MD (کورپوس کالوزوم)	*-۰/۲۹	*-۰/۳۳	*-۰/۲۹	-۰/۱۹	*-۰/۳۳	
حجم آمیگدال	-۰/۰۴	-۰/۱۳	-۰/۱۲	۰/۰۸	-۰/۸۸	
FA (آمیگدال)	-۰/۲۰	-۰/۱۹	-۰/۲۳	-۰/۱۷	-۰/۲۳	
MD (آمیگدال)	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۳	

* نشان‌دهنده همبستگی معنادار در آزمون همبستگی ($P < ۰/۰۵$). مدل ۱: آزمون همبستگی پیرسون (product-moment); مدل ۲: آزمون ضرایب همبستگی جزئی با کنترل جنسیت، سن، EDSS، نوع بیماری و مدت بیماری. آزمون همبستگی نشان‌دهنده همبستگی معنادار بین کل انرژی مصرفی در طول عمر با حجم کل مغز ($r = ۰/۲۹$)، حجم تالاموس ($r = ۰/۳۷$)، حجم هیپوکامپ ($r = ۰/۷۳$)، حجم کورپوس کالوزوم ($r = ۰/۶۲$)، FA ($r = ۰/۳۳$) و MD ($r = -۰/۴۲$) هیپوکامپ و FA ($r = ۰/۳۱$) و MD ($r = -۰/۲۹$) کورپوس کالوزوم بود ($P < ۰/۰۵$). FA: ناهمسانگردی کسری؛ MD: متوسط نفوذ

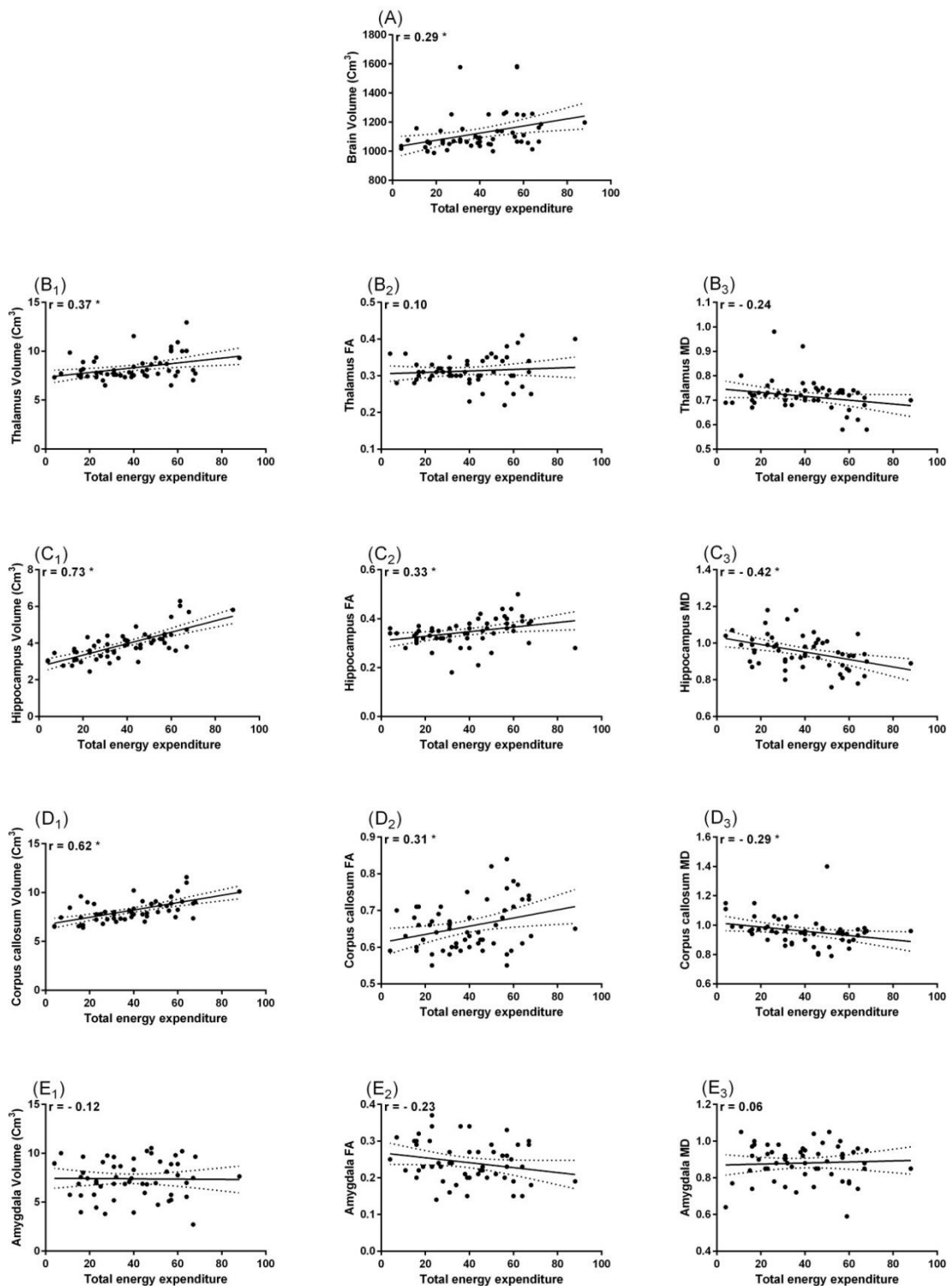
درحالی‌که فعالیت‌های متوسط تا شدید همبستگی معناداری با حجم تالاموس ($r = ۰/۳۷$)، همبستگی متوسط، حجم هیپوکامپ ($r = ۰/۳۹$)، همبستگی متوسط، حجم کورپوس کالوزوم ($r = ۰/۴۵$)، همبستگی متوسط و FA کورپوس کالوزوم ($r = ۰/۷۵$)، همبستگی قوی داشتند. کنترل آزمون همبستگی با جنسیت، سن، EDSS، نوع بیماری و مدت زمان استفاده از شتاب‌سنج نتایج مشابهی را در پی داشت (جدول ۳).

همبستگی فعالیت بدنی ارزیابی شده با شتاب‌سنج با سلامت مغز: نتایج آزمون همبستگی نشان از همبستگی معنادار بین فعالیت‌های کم‌تحرک شرکت‌کنندگان با FA ($r = -۰/۳۱$)، همبستگی متوسط و MD ($r = ۰/۴۵$)، همبستگی متوسط هیپوکامپ و MD کورپوس کالوزوم ($r = ۰/۲۸$)، همبستگی ضعیف دارد. همچنین فعالیت‌های سبک تنها همبستگی معناداری با MD آمیگدال ($r = ۰/۲۷$)، همبستگی ضعیف داشت،

جدول ۳. همبستگی بین فعالیت بدنی ارزیابی شده با شتاب‌سنج با سنج‌های تصویربرداری تشدید مغناطیسی و دیفیوژن

	مدل ۲			مدل ۱		
	فعالیت متوسط تا شدید	فعالیت سبک	کم تحرک	فعالیت متوسط تا شدید	فعالیت سبک	کم تحرک
حجم کل مغز	۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۱۲	۰/۰۶	-۰/۰۸	-۰/۰۹
حجم تالاموس	*۰/۳۸	-۰/۰۸	-۰/۱۳	*۰/۳۷	-۰/۰۵	-۰/۰۷
FA (تالاموس)	۰/۲۲	-۰/۱۱	-۰/۰۹	۰/۲۳	-۰/۱۲	-۰/۱۲
MD (تالاموس)	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۶
حجم هیپوکامپ	*۰/۴۰	-۰/۰۶	*-۰/۲۷	*۰/۳۹	-۰/۰۹	-۰/۲۴
FA (هیپوکامپ)	۰/۱۷	۰/۰۲	*-۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۰۱	*-۰/۳۱
MD (هیپوکامپ)	-۰/۰۳	-۰/۰۲	*۰/۴۴	-۰/۰۶	۰/۰۱	*۰/۴۵
حجم کورپوس کالوزوم	*۰/۴۶	۰/۰۵	-۰/۱۶	*۰/۴۵	۰/۰۲	-۰/۱۶
FA (کورپوس کالوزوم)	*۰/۷۴	-۰/۰۵	-۰/۱۰	*۰/۷۵	-۰/۰۵	-۰/۱۴
MD (کورپوس کالوزوم)	۰/۰۵	۰/۱۸	*۰/۲۸	۰/۰۵	۰/۱۹	*۰/۲۸
حجم آمیگدال	۰/۲۰	-۰/۱۲	-۰/۰۱	۰/۱۶	-۰/۱۱	-۰/۰۳
FA (آمیگدال)	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۰۵
MD (آمیگدال)	-۰/۰۳	*۰/۲۸	۰/۱۳	-۰/۰۲	*۰/۲۷	۰/۱۰

* نشان‌دهنده همبستگی معنادار در آزمون همبستگی ($P < ۰/۰۵$). مدل ۱: آزمون همبستگی پیرسون (product-moment); مدل ۲: آزمون ضرایب همبستگی جزئی با کنترل جنسیت، سن، EDSS، نوع بیماری، مدت بیماری و مدت زمان استفاده از شتاب‌سنج. آزمون همبستگی نشان داد که همبستگی معنادار بین FA هیپوکامپ ($r = -۰/۳۱$) و کورپوس کالوزوم ($r = ۰/۷۵$) به ترتیب با فعالیت‌های کم‌تحرک و فعالیت متوسط تا شدید وجود دارد. همبستگی معناداری بین MD هیپوکامپ ($r = ۰/۴۵$) و کورپوس کالوزوم ($r = ۰/۲۸$) با فعالیت‌های کم‌تحرک و MD آمیگدال ($r = ۰/۲۷$) با فعالیت‌های سبک وجود دارد. FA: ناهمسانگردی کسری؛ MD: متوسط نفوذ



شکل ۲. همبستگی میانگین انرژی مصرفی در طول عمر با حجم مغز (A)، حجم و سنجش‌های دیفیوژن ناحیه تالاموس (B₁₋₃).

هیپوکامپ (C₁₋₃)، کورپوس کالوزوم (D₁₋₃) و آمیگدال (E₁₋₃)

* نشان‌دهنده همبستگی معنادار در آزمون همبستگی ($P < 0.05$). همبستگی معنادار بین کل انرژی مصرفی در طول عمر با حجم کل مغز ($r = 0.29$)، حجم تالاموس ($r = 0.37$)، حجم هیپوکامپ ($r = 0.73$)، حجم کورپوس کالوزوم ($r = 0.62$)، FA ($r = 0.33$)، MD و ($r = -0.42$) هیپوکامپ و ($r = 0.31$) FA و ($r = -0.29$) MD کورپوس کالوزوم بود ($p < 0.05$).

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به دانش ما، این نخستین پژوهشی است که نقش فعالیت بدنی در طول عمر (خود گزارش شده) و فعالیت بدنی کنونی اندازه‌گیری شده توسط شتاب‌سنج را با حجم نواحی مختلف مغز (مانند کورپوس کالوزوم) و نشانگرهای زوال آکسون و میلین در افراد مبتلا به ام‌اس بررسی می‌کند. نتایج استخراج شده، روی هم رفته، اثر سودمند فعالیت بدنی در سلامت مغز، به‌طور ویژه در جلوگیری از آتروفی مغز، را تقویت می‌کنند. همچنین یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین فعالیت بدنی در طول عمر و فعالیت بدنی کنونی با حجم مغز و نشانگرهای زوال آکسون و میلین در نواحی خاصی از مغز بود که این همبستگی متأثر از شدت فعالیت بدنی بود.

برای تعیین حجم کلی مغز و نواحی موردنظر از تصویربرداری به روش 3D MRI استفاده شد و همبستگی آن با میزان فعالیت بدنی ارزیابی شد. این پژوهش نشان داد که مهم‌ترین نواحی تفاوت بین افراد فعال و غیرفعال مبتلا به ام‌اس مربوط به هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم است. پیش از این، پژوهشی که از پرسشنامه ورزش در اوقات فراغت گودین به‌عنوان ابزار پایش فعالیت بدنی استفاده کرده بود، گزارش کرد که فعالیت بدنی در حفظ حجم هیپوکامپ در افراد مبتلا به ام‌اس مؤثر است (۳۳). همچنین برخی یافته‌ها بر نقش سودمند تمرین هوازی طولانی‌مدت بر افزایش حجم هیپوکامپ در افراد مسن تأکید کرده‌اند، درحالی‌که یافته‌های مشابهی بر حجم تالاموس و کودیت گزارش نشد (۳۴). تحقیقات حیوانی در نمونه‌های آزمایشگاهی ام‌اس (EAE) نیز نشان داده‌اند که فعالیت بدنی منظم اثر حفاظتی بر هیپوکامپ در مقابل تغییرات ناشی از القای بیماری دارد، به‌طوری‌که به کاهش التهاب و زوال نورون‌ها در ناحیه هیپوکامپ منجر می‌شود (۳۵). نتیجه این فرایند می‌تواند با کاهش

آتروفی هیپوکامپ همراه باشد. تجمیع یافته این پژوهش با یافته‌های موجود، از حساسیت و تمرین‌پذیری هیپوکامپ به فعالیت بدنی در مقایسه با سایر نواحی مغز از جمله تالاموس، پشتیبانی می‌کند. به‌طور مشابه، پژوهش‌های پیشین درباره تأثیر فعالیت بدنی بر کورپوس کالوزوم نیز تمرین‌پذیری این ناحیه از مغز را تأیید کرده‌اند. برای نمونه پژوهش مروری انجام شده شواهد محکمی از نقش فعالیت بدنی هوازی و ارتقای آمادگی قلبی-تنفسی در ساختار و عملکرد کورپوس کالوزوم و افزایش یکپارچگی آن ارائه کرد (۱۱). در حقیقت، کورپوس کالوزوم یک هدف رایج در بیماری ام‌اس است که بیشتر ضایعات دمی‌لینه‌کننده و آتروفی را در مراحل اولیه بیماری نشان می‌دهد (۱۱، ۳۵). آسیب و اختلال در عملکرد این ناحیه از مغز می‌تواند پیامدهای فراوانی داشته باشد؛ از جمله اختلالات شناختی، کاهش کارکرد بدنی، عدم تعادل و حتی مشکلات خواب (۱۱، ۳۵).

یافته‌های این پژوهش هنگامی که شرکت‌کنندگان را بر پایه میزان فعالیت بدنی یک سال اخیر متمایز می‌کرد، نشان داد شرکت‌کنندگانی که دارای فعالیت بدنی بیش از چهار ساعت در هفته بودند، حجم کلی مغز، هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم بیشتری نسبت به سایر شرکت‌کنندگان، به‌ویژه نسبت به افراد غیرفعال (۰ - ۱ ساعت در هفته فعالیت بدنی)، داشتند. این نتایج با یافته‌های پیشین در افراد مبتلا به ام‌اس (۲۴، ۳۶) و سالمند (۳۷) همخوان بود که نشان می‌داد فعالیت بدنی منظم با سلامت مغز همبستگی دارد. این یافته‌ها، دیدگاه موجود در مورد نقش سودمند فعالیت بدنی بر حجم مغز و به‌طور ویژه در جلوگیری از آتروفی مغز را تقویت می‌کند (۵). این مسئله برای افراد مبتلا به ام‌اس اهمیت مضاعفی دارد، زیرا مشخص شده است که یکی از ویژگی‌های پاتولوژیک ام‌اس شامل آتروفی مغز، به‌طور ویژه آتروفی هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم است (۱۱)،

بهبود حجم تالاموس همراه نبود، درحالی که حجم هیپوکامپ افزایش معناداری را نشان داد (۳۴). یافته‌های پیشین ما نیز نشان داده بود که شش ماه تمرین ترکیبی در افراد مبتلا به ام اس تأثیر معناداری بر حجم تالاموس ندارد (۱۴). با این همه، برخی پژوهش‌ها نیز اثر فعالیت بدنی بر تالاموس را نشان داده است (۴۳)، از این رو تمرین‌پذیری و حساسیت تالاموس به فعالیت بدنی همچنان مورد تردید باقی می‌ماند.

تصویربرداری به روش DTI داده‌های مهمی درباره وضعیت آکسون و میلین ارائه می‌کند. بیشتر یافته‌های پژوهشی در ام اس تأیید کرده‌اند که در روند بیماری، سنجه FA و MD به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد که نشانه‌ای از زوال آکسون و میلین است (۱۸). عامل مداخله‌گیری که بتواند مانع این روند شود یا دست کم آن را کند سازد می‌تواند در نهایت بر حجم ناحیه موردنظر نیز تأثیر سودمندی داشته باشد. از این رو تغییرات ساختاری دیده‌شده در هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم بر اثر فعالیت بدنی شاید از تغییرات ریزساختاری آنها که با سنجه‌های DTI ارزیابی شده است، نشأت گرفته باشد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که سنجه FA در دو ناحیه هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم بین شرکت‌کنندگان متفاوت بود، به نحوی که سنجه FA شرکت‌کنندگانی که در طبقه بسیار فعال بودند، بالاتر از شرکت‌کنندگان دیگر بود. همچنین سنجه MD تنها در ناحیه کورپوس کالوزوم بین شرکت‌کنندگان تفاوت معناداری داشت، به نحوی که سنجه MD گروه غیرفعال بالاتر بود. روی هم رفته هیچ یک از سنجه‌های DTI دو ناحیه تالاموس و آمیگدال تفاوتی بین شرکت‌کنندگان نشان نداد. این یافته‌ها را می‌توان در راستا با نتایج حجم نواحی مختلف مغز تفسیر کرد. به همین ترتیب، عدم تفاوت در حجم دو ناحیه تالاموس و آمیگدال نیز می‌تواند تا اندازه‌ای ناشی از عدم تفاوت ریزساختاری این دو ناحیه باشد. پژوهش‌هایی که از فعالیت بدنی به عنوان مداخله استفاده کرده‌اند، بیشتر

(۱۲، ۱۴). گزارش‌های پیشین تأکید کرده است که افراد مبتلا به ام اس سالانه حدود یک درصد از حجم مغز خود را از دست می‌دهند (۳۸) و راهبردهای مقابله با کاهش حجم مغز می‌تواند به عنوان درمان‌های مکمل و بخشی از روند مدیریت بیماری، کمک سودمندی ارائه دهد.

پژوهش انجام‌شده در موش‌های مبتلا به EAE نشان داد که فعالیت بدنی می‌تواند با تغییرات مخرب ناشی از بیماری بر ریزساختار کورپوس کالوزوم مقابله کند که برآیند آن می‌تواند حفاظت نورونی و مقابله با آتروفی در ناحیه مذکور باشد (۳۵). در افراد مبتلا به ام اس تاکنون تحقیقی ساختار و حجم کورپوس کالوزوم را در ارتباط با فعالیت بدنی و تمرین ورزشی بررسی نکرده است. این پژوهش نیز نشان داد که این ناحیه از مغز می‌تواند به عنوان هدف پژوهشی آینده در حوزه پزشکی-ورزشی باشد. فعالیت بدنی با تغییر در توزیع خون به نواحی مختلف بدن از جمله مغز همراه است و شاید پرفیوژن هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم در هنگام یا به عنوان پاسخ سازگاران به فعالیت بدنی افزایش یابد که می‌تواند با آتروفی نواحی مذکور در مغز که در پی بیماری ام اس رخ می‌دهد مقابله کند (۳۹).

از دیگر یافته‌های این پژوهش عدم تفاوت حجم تالاموس و آمیگدال بین افراد بسیار فعال، فعال متوسط و غیرفعال بود. تالاموس و آمیگدال عملکردهای وسیعی دارند. به طور خلاصه تالاموس با انگیختگی، تنظیم درد، داده‌های حسی، گفتار، عملکردهای شناختی و خلق و خو همبستگی دارد (۴۰)، درحالی که آمیگدال در تنظیم اضطراب، پرخاشگری و حافظه دخیل است (۴۱). پیش از این، بررسی افراد مبتلا به ام اس نیز نشان داده بود که آمادگی قلبی-تنفسی ارزیابی‌شده با آزمون اکسیژن مصرفی بیشینه همبستگی مثبتی با حجم هیپوکامپ دارد، اما چنین همبستگی معناداری با ناحیه تالاموس دیده نشد (۴۲). از طرف دیگر، پژوهش انجام‌شده روی افراد سالمند نیز نشان داد که یک سال تمرین هوازی با

ناحیه کورپوس کالوزوم با فعالیت‌ها با شدت متوسط در طول عمر همبستگی داشت؛ اما زوال آکسون (سنجه FA) با فعالیت‌های شدید در طول عمر همبستگی دارد. به عبارتی، برای بهره‌مندی از فواید بیشتر فعالیت بدنی در افراد مبتلا به ام‌اس نیاز است تا فعالیت بدنی به نحوی برنامه‌ریزی شود که شدت‌های مختلف فعالیت بدنی را شامل شود.

هنگامی که فعالیت بدنی کنونی شرکت‌کنندگان بررسی و مشخص شد که رفتارها و فعالیت‌های بی‌تحرک همبستگی معناداری با ریزساختار نواحی هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم به‌ویژه زوال میلین (سنجه MD) دارد، به نحوی که افزایش رفتارهای بی‌تحرک با افزایش زوال میلین این دو ناحیه همراه بود. همچنین مشخص شد که حجم تالاموس همبستگی مثبتی با فعالیت متوسط تا شدید دارد. به‌طور مشابه مشخص شد که فعالیت‌های شدید در طول عمر نیز با حجم تالاموس همبستگی قوی‌تری در مقایسه با فعالیت‌ها با شدت متوسط داشت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که شاید برای اثرگذاری بر تالاموس نیاز است فعالیت بدنی با شدت بالا اجرا شود. به‌طور مشابه، دیده شد که حجم هیپوکامپ و کورپوس کالوزوم نیز با شدت‌های متوسط تا شدید فعالیت بدنی کنونی و در طول عمر همبستگی دارد. البته گفتنی است که همبستگی شدت فعالیت بدنی در طول عمر قوی‌تر بود که نشان‌دهنده اهمیت نیاز به زمان طولانی برای اثرگذاری بر ساختار مغز است.

سودمندی فعالیت بدنی در طول عمر و تفاوت‌های محسوس موجود بین فعالیت بدنی در طول عمر و فعالیت بدنی کنونی نشان می‌دهد که نه تنها آمادگی بدنی یا سطح فعالیت بدنی کنونی، بلکه همه رفتارها و فعالیت‌های بدنی انجام‌شده فرد در طول عمر می‌تواند بر سلامت مغز فرد تأثیر داشته باشد. به‌نظر می‌رسد که سلامت مغز فرد مبتلا به ام‌اس شاید برآیندی از آن چیزی است که در طول عمر انجام داده است اگرچه

افزایش در FA را در افراد مسن (۴۴) یا موش‌های آزمایشگاهی (۴۵) گزارش کرده‌اند. از طرفی، باید در نظر داشت که میلین‌زدایی طی بیماری ام‌اس شاید در نواحی‌ای رخ می‌دهد که بیشتر از ماده سفید تشکیل شده‌اند (۱۸)، بنابراین منطقی به‌نظر می‌رسد که بیشتر تفاوت مورد انتظار در ناحیه کورپوس کالوزوم رخ دهد. برای نمونه پژوهش پیشین ما، نشان داد که یک دوره تمرین بدنی نمی‌تواند با تغییرات ریزساختاری ارزیابی‌شده توسط DTI در تالاموس به‌عنوان بافتی که بخشی از ماده خاکستری طبقه‌بندی می‌شود، همراه باشد (۱۴).

یکی از متغیرهای مهم فعالیت بدنی و تمرین ورزشی، شدت فعالیت است. بررسی فعالیت بدنی در طول عمر بر پایه شدت فعالیت یا کل هزینه انرژی نشان می‌دهد که بیشترین میزان همبستگی با متغیرهای ساختاری و ریزساختاری نواحی ارزیابی‌شده به‌ترتیب مربوط به کل هزینه انرژی، فعالیت‌های شدید و روی‌هم‌رفته فعالیت‌ها با شدت متوسط است. این یافته‌ها مشابه به یافته‌های پیشین است که نشان دادند بیشترین همبستگی فعالیت بدنی در طول عمر با متابولیت‌های نواحی هیپوکامپ و تالاموس مربوط به کل هزینه انرژی در طول عمر است (۱۲). این یافته، تأکید می‌کند که هزینه انرژی در طول فعالیت بدنی، برای سلامت مغز، مهم‌تر از شدت فعالیت است. با این همه، با تجمیع یافته‌های مربوط به فعالیت بدنی کنونی و در طول عمر می‌توان استنباط کرد که سلامت مغز در افراد مبتلا به ام‌اس نیاز به تنوع فعالیت بدنی (دست‌کم از دید شدت فعالیت) دارد. برای نمونه مشخص شد که زوال میلین (سنجه MD) در ناحیه آمیگدال تنها با فعالیت‌های سبک کنونی همبستگی دارد؛ درحالی‌که زوال آکسون (سنجه FA) در ناحیه کورپوس کالوزوم تنها با فعالیت‌ها با شدت متوسط تا شدید کنونی همبستگی دارد. به همین ترتیب، درحالی‌که زوال میلین (سنجه MD) در

فعالیت‌های اخیر نیز از اهمیت زیادی برخوردارند. اگر تنها شدت فعالیت بدنی کنونی شرکت‌کنندگان مدنظر باشد، مشخص می‌شود که بیشترین همبستگی بین ساختار و ریز ساختار نواحی ارزیابی شده به ترتیب با شدت متوسط تا شدید و سپس با رفتارهای بی‌تحرك بود. این نشان می‌دهد که برای اثرگذاری بر سلامت مغز افراد مبتلا به ام اس باید پیشنهاد شود تا رفتارهای بی‌تحركی به حداقل برسد. رفتارهای بی‌تحرك به علت ناتوانی حرکتی، ضعف در اندامها، خستگی و عوامل روانشناختی مانند بالاتر بودن نرخ افسردگی در افراد مبتلا به ام اس بیشتر از جمعیت عمومی است (۴۶). از این رو، تنها تأکید بر اضافه کردن مداخله تمرین یا ورزشی برای کمک به افراد مبتلا به ام اس بهینه نیست و می‌توان با تغییر سبک زندگی و کاهش رفتارهای بی‌تحرك کارایی مداخلات درمانی را افزایش داد.

همبستگی شدت‌های مختلف فعالیت بدنی با سلامت مغز در این پژوهش دیده شد، با این همه، این همبستگی الگوی یکسانی را نشان نمی‌دهد، به طوری که حجم یا سنجه‌های میلیون‌زدایی برخی از نواحی مغز با شدت خاصی از فعالیت بدنی همبستگی داشت، در حالی که در نواحی دیگر این مورد متفاوت بود. برای نمونه در حالی که MD هیپوکامپ با هر دو شدت متوسط و شدید فعالیت بدنی همبستگی داشت، اما MD کورپوس کالوزوم تنها با فعالیت بدنی با شدت متوسط همبستگی داشت. این مسئله از نیاز به تنوع در شدت فعالیت بدنی برای به حداکثر رساندن سودمندی فعالیت بدنی در افراد مبتلا به ام اس پشتیبانی می‌کند. همچنین شایان توجه است که برخلاف پیشنهادهای محتاطانه راهنماهای فعالیت بدنی در افراد مبتلا به ام اس (۲۲، ۲۳) که بیشتر فعالیت بدنی سبک تا متوسط را پیشنهاد می‌دهند، در این پژوهش مشخص شد که سودمندی فعالیت بدنی شدید برای افراد مبتلا به ام اس منحصربه‌فرد است و نیاز است که در برنامه‌های درمانی و تمرینی افراد مبتلا به ام اس،

فعالیت بدنی شدید نیز در نظر گرفته شود. این پژوهش دارای تنگناهایی است؛ نخست، گمان می‌رفت که فعالیت بدنی بر سلامت مغز تأثیر می‌گذارد، به طور ویژه از طریق مقابله با آتروفی مغز و تغییرات ریز ساختار برخی نواحی مغز. با این همه، جهت علیت مشخص نبود، به عبارتی مشخص نیست که بالاتر بودن فعالیت بدنی به سلامت مغز و سنجه‌های ارزیابی منجر شده بود یا برعکس. بنابراین، به منظور بهبود یافته‌های پژوهشی درباره سودمندی نهفته فعالیت بدنی بر حجم مغز یا تغییرات ریز ساختاری آن، پژوهش‌های طولانی‌مدت و مداخله‌ای مورد نیاز است. تنگنای دیگر این بود که تغییرات ساختاری و ریزساختاری نشان‌دهنده سلامت مغز تنها در برخی نواحی مغز (تالاموس، هیپوکامپ، کورپوس کالوزوم و آمیگدال) ارزیابی شد، بنابراین وضعیت کلی و دقیق مغز را منعکس نمی‌کند. از طرفی، ساختارهای ارزیابی شده مغز نیز دارای بخش‌های مختلفی‌اند که شاید به فعالیت بدنی پاسخ متفاوتی دهد، در نتیجه یافته‌های کنونی منعکس‌کننده براین نواحی مختلف آنهاست و شاید تأثیر فعالیت بدنی در برخی از بخش‌های این نواحی وجود داشته باشد که نادیده گرفته شده است یا برعکس. الگوی ضایعات ایجاد شده در مغز افراد مبتلا به ام اس بسیار متنوع است. وجود ضایعات در یک ناحیه خاص می‌تواند دیمیالیناسیون، التهاب و آتروفی در آن ناحیه را تشدید کند (۴۷). از این رو، الگو و محل ضایعات در مغز شرکت‌کنندگان شاید بر نتایج حاصل از DTI تأثیر داشته باشد. محدودیت دیگر این پژوهش عدم ارزیابی برخی از نشانگرهای مؤثر مانند نوروتروفیک‌هاست که می‌توانند تأثیر فعالیت بدنی بر حجم و سنجه‌های ارزیابی شده را میانجی‌گری کنند. در این پژوهش، برای مقادیر مقایسه‌ای و مقایسه ضرایب همبستگی، گروه کنترل سالم در نظر گرفته نشد. ما تلاش کردیم برخی از متغیرها مانند جنسیت، سن، EDSS و نوع بیماری را کنترل کنیم که می‌تواند ارتباط حجم مغز یا سنجه‌های

پزشکی تهران، تهران، ایران با کد ۹۷-۰۳-۱۸۸-۴۰۳۰۲ ثبت شده است. همه مراحل و روند پژوهش بر پایه اعلامیه هلسینکی انجام گرفت. همه شرکت کنندگان پیش از آغاز پژوهش، رضایت نامه آگاهانه را تکمیل کردند. نویسندگان از همه شرکت کنندگان در این پژوهش و کسانی که در اجرای آن همکاری داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

حمایت مالی

این پژوهش بدون حمایت مالی انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی، اجرا و روند پژوهش، تحلیل یافته‌ها مشارکت داشتند.

تعارض منافع

مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Multiple Sclerosis
- ² Magnetic Resonance Imaging
- ³ Diffusion Tensor Imaging
- ⁴ Fractional Anisotropy
- ⁵ Mean Diffusivity
- ⁶ Expanded Disability Status Scale
- ⁷ History of Lifetime Activity Questionnaire
- ⁸ Metabolic Equivalent
- ⁹ Fatigue Severity Scale
- ¹⁰ Hospital Anxiety and Depression Scale

منابع

1. Pang B, Moullin JC, Thompson C, Thøgersen-Ntoumani C, Stamatakis E, McVeigh JA. Barriers and Facilitators to Participation in Vigorous Lifestyle Physical Activity in Adults Aged 55–75 Years: A Scoping Review. *Journal of Aging and Physical Activity*. 2024;32 (3):446-59. DOI: 10.1123/japa.2022-0405

DTI با فعالیت بدنی را مخدوش کند، اما شاید متغیرهای دیگری نادیده گرفته شده باشند. یکی از متغیرهایی که می‌تواند بر نتایج تأثیر بگذارد، داروهای مصرفی و روش‌های درمانی افراد شرکت‌کننده در این پژوهش است. افراد مبتلا به ام‌اس گستره متنوعی از دارو و روش‌های درمانی را استفاده می‌کنند، در نتیجه همگنی آن‌ها بر این اساس و از بین بردن آثار تداخلی آن‌ها، امکان‌پذیر نبود و از این‌رو، نیاز است به‌عنوان یک محدودیت در تعمیم نتایج در نظر گرفته شود.

به‌طور خلاصه، یافته‌های کنونی یافته‌های تازه‌ای برای همبستگی مثبت فعالیت بدنی در طول عمر و فعالیت بدنی کنونی با سلامت مغز از جمله حجم مغز، حجم هیپوکامپ، حجم کورپوس کالوزوم ارائه می‌دهند. همچنین نتایج استخراج‌شده از تصویربرداری به روش DTI، نقش بالاتر بودن فعالیت بدنی بر کاهش زوال میلین و آکسون را روشن می‌کند. داده‌های این پژوهش نشان داد که فعالیت بدنی با حجم بیشتر از چهار ساعت در هفته و به‌طور ویژه فعالیت شدید شاید سودمندی بیشتری برای حفظ سلامت مغز و جلوگیری از زوال میلین داشته باشد. با این همه، مشخص شد که شدت‌های مختلف فعالیت بدنی شاید تأثیر منحصر به فردی بر سلامت مغز داشته باشند و بهینه‌تر است که فعالیت بدنی برنامه‌ریزی‌شده گستره متنوعی از شدت فعالیت را شامل شود. گفتنی است که شیوه‌نامه‌های پیشین فعالیت بدنی برای افراد مبتلا به ام‌اس اغلب شدت متوسط و حجم کمتر فعالیت بدنی در هفته (حدود دو ساعت) را پیشنهاد کرده‌اند، بنابراین یافته‌های حاضر باید با احتیاط تفسیر شود و انجام تحقیقات بیشتر با تأکید بر طرح‌های طولی با مداخله ضرورت دارد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش توسط مرکز تحقیقات ام‌اس دانشگاه علوم

2. Woessner MN, Tacey A, Levinger-Limor A, Parker AG, Levinger P, Levinger I. The evolution of technology and physical inactivity: the good, the bad, and the way forward. *Frontiers in public health*. 2021;9:655491 DOI: 10.3389/fpubh.2021.655491.
3. Mirmosayyeb O, Shaygannejad V, Bagherieh S, Hosseinabadi AM, Ghajarzadeh M. Prevalence of multiple sclerosis (MS) in Iran: a systematic review and meta-analysis. *Neurological Sciences*. 2022;43:233-41. DOI: 10.1007/s10072-021-05750-w
4. Negaresh R, Motl RW, Mokhtarzade M, Dalgas U, Patel D, Shamsi MM, et al. Effects of exercise training on cytokines and adipokines in multiple sclerosis: a systematic review. *Multiple sclerosis and related disorders*. 2018; 24:91-100. DOI: 10.1016/j.msard.2018.06.008
5. Negaresh R, Motl R, Zimmer P, Mokhtarzade M, Baker J. Effects of exercise training on multiple sclerosis biomarkers of central nervous system and disease status: a systematic review of intervention studies. *European journal of neurology*. 2019;26 (5):711-21. DOI: 10.1111/ene.13929
6. Mokhtarzade M, Agha-Alinejad H, Motl RW, Negaresh R, Baker JS, Zimmer P. Weight control and physical exercise in people with multiple sclerosis: Current knowledge and future perspectives. *Complementary therapies in medicine*. 2019; 43:240-6. DOI: 10.1177/1352458507079445
7. Learmonth YC, P Herring M, Russell DI, Pilutti LA, Day S, Marck CH, et al. Safety of exercise training in multiple sclerosis: an updated systematic review and meta-analysis. *Multiple Sclerosis Journal*. 2023;29 (13):1604-31. DOI: 10.1177/13524585231204459
8. Snook EM, Motl RW. Effect of exercise training on walking mobility in multiple sclerosis: a meta-analysis. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2009;23 (2):108-16. DOI: 10.1177/1545968308320641
9. Negaresh R, Motl R, Mokhtarzade M, Ranjbar R, Majdinasab N, Khodadoost M, et al. Effect of short-term interval exercise training on fatigue, depression, and fitness in normal weight vs. overweight person with multiple sclerosis. *Explore*. 2019;15 (2):134-41. DOI: 10.1016/j.explore.2018.07.007.
10. Latimer-Cheung AE, Pilutti LA, Hicks AL, Ginis KAM, Fenuta AM, MacKibbin KA, et al. Effects of exercise training on fitness, mobility, fatigue, and health-related quality of life among adults with multiple sclerosis: a systematic review to inform guideline development. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2013;94 (9):1800-28. e3. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.04.020.
11. Loprinzi PD, Harper J, Ikuta T. The effects of aerobic exercise on corpus callosum integrity: systematic review. *The Physician and sportsmedicine*. 2020;48 (4):400-6. DOI: 10.1080/00913847.2020.1758545
12. Negaresh R, Gharakhanlou R, Sahraian MA, Abolhasani M, Motl RW, Zimmer P. Physical activity may contribute to brain health in multiple sclerosis: An MR volumetric and spectroscopy study. *Journal of Neuroimaging*. 2021;31 (4):714-23. DOI: 10.1111/jon.12869
13. Pitteri M, Genova H, Lengenfelder J, DeLuca J, Ziccardi S, Rossi V, et al. Social

- cognition deficits and the role of amygdala in relapsing remitting multiple sclerosis patients without cognitive impairment. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 2019; 29:118-23. DOI: 10.1016/j.msard.2019.01.030
14. Negaresh R, Gharakhanlou R, Sahraian MA, Abolhasani M, Zimmer P. The effect of home-based exercise on the thalamic pathology and metabolites concentration in people with multiple sclerosis: Evidence from magnetic resonance imaging, spectroscopy and diffusion. *Sport Physiology*. 2022;14 (54):117-46. DOI: 10.22089/spj.2021.9654.2087 [In Persian]
15. Kjølhede T, Siemonsen S, Wenzel D, Stellmann J-P, Ringgaard S, Pedersen BG, et al. Can resistance training impact MRI outcomes in relapsing-remitting multiple sclerosis? *Multiple Sclerosis Journal*. 2018;24 (10):1356-65. DOI: 10.1177/1352458517722645
16. Langeskov-Christensen M, Hvid LG, Nygaard MKE, Ringgaard S, Jensen HB, Nielsen HH, et al. Efficacy of high-intensity aerobic exercise on brain MRI measures in multiple sclerosis. *Neurology*. 2021;96 (2):e203-e13. DOI: 10.1212/WNL.0000000000011241
17. Leavitt V, Ciriugliaro C, Cohen A, Farag A, Brooks M, Wecht J, et al. Aerobic exercise increases hippocampal volume and improves memory in multiple sclerosis: preliminary findings. *Neurocase*. 2014;20 (6):695-7. DOI: 10.1080/13554794.2013.841951
18. Sbardella E, Tona F, Petsas N, Pantano P. DTI measurements in multiple sclerosis: evaluation of brain damage and clinical implications. *Multiple sclerosis international*. 2013;2013. DOI: 10.1155/2013/671730
19. Dhuli K, Naureen Z, Medori MC, Fioretti F, Caruso P, Perrone MA, et al. Physical activity for health. *Journal of preventive medicine and hygiene*. 2022;63 (2 Suppl 3): E150. DOI: 10.15167/2421-4248/jpmh2022.63.2S3.2756
20. Sandroff B, Dlugonski D, Weikert M, Suh Y, Balantrapu S, Motl R. Physical activity and multiple sclerosis: new insights regarding inactivity. *Acta Neurologica Scandinavica*. 2012;126 (4):256-62. DOI: 10.1111/j.1600-0404.2011.01634.x
21. Wesnes K, Myhr K-M, Riise T, Cortese M, Pugliatti M, Boström I, et al. Physical activity is associated with a decreased multiple sclerosis risk: The EnvIMS study. *Multiple Sclerosis Journal*. 2018;24 (2):150-7. DOI: 10.1177/1352458517694088.
22. Geidl W, Gobster C, Streber R, Pfeifer K. A systematic critical review of physical activity aspects in clinical guidelines for multiple sclerosis. *Multiple sclerosis and related disorders*. 2018; 25:200-7. DOI: 10.1016/j.msard.2018.07.039
23. Learmonth YC, Motl RW. Exercise training for multiple sclerosis: a narrative review of history, benefits, safety, guidelines, and promotion. *International journal of environmental research and public health*. 2021;18 (24):13245. DOI: 10.3390/ijerph182413245
24. Mokhtarzade M, Shamsi MM, Abolhasani M, Bakhshi B, Sahraian MA, Soudi S. Lifetime physical activity is associated with gut bacteria and brain health in people with multiple sclerosis: Focus on physical activity

- intensity. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 2022; 59:103639. DOI: 10.1002/ana.22366.
25. Polman CH, Reingold SC, Banwell B, Clanet M, Cohen JA, Filippi M, et al. Diagnostic criteria for multiple sclerosis: 2010 revisions to the McDonald criteria. *Annals of neurology*. 2011;69 (2):292-302. DOI: 10.1002/ana.22366.
26. Engeroff T, Vogt L, Fleckenstein J, Füzéki E, Matura S, Pilatus U, et al. Lifespan leisure physical activity profile, brain plasticity and cognitive function in old age. *Aging & mental health*. 2019;23 (7):811-8. DOI: 10.1080/13607863.2017.1421615
27. Jose KA, Blizzard L, Dwyer T, McKercher C, Venn AJ. Childhood and adolescent predictors of leisure time physical activity during the transition from adolescence to adulthood: a population-based cohort study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2011; 8:1-9 DOI: 10.1186/1479-5868-8-54.
28. Sandroff BM, Motl RW, Suh Y. Accelerometer output and its association with energy expenditure in persons with multiple sclerosis. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2012;49 (3). DOI: 10.1682/jrrd.2011.03.0063
29. Patenaude B, Smith SM, Kennedy DN, Jenkinson MJN. A Bayesian model of shape and appearance for subcortical brain segmentation. 2011;56 (3):907-22. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.02.046
30. Avants BB, Tustison NJ, Song G, Cook PA, Klein A, Gee JCJN. A reproducible evaluation of ANTs similarity metric performance in brain image registration. 2011;54 (3):2033-44. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2010.09.025
31. Snaith RP. The hospital anxiety and depression scale. *Health and quality of life outcomes*. 2003;1 (1):1-4. DOI: 10.1186/1477-7525-1-29
32. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*: routledge; 2013. DOI: 10.4324/9780203771587
33. Kalron A, Menascu S, Hoffmann C, Achiron A. The importance of physical activity to preserve hippocampal volume in people with multiple sclerosis: a structural MRI study. *Journal of Neurology*. 2020;267:3723-30. DOI: 10.1007/s00415-020-10085-1
34. Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basake C, Szabo A, Chaddock L, et al. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *PNAS*. 2011;108 (7):3017-22. DOI: 10.1073/pnas.1015950108
35. Abbasi M, Arghavanfar H, Hajinasab S, Nooraei A. Effects of aerobic exercise on demyelination and brain morphology in the cuprizone rat model of multiple sclerosis. *Metabolic Brain Disease*. 2024;39 (7):1283-90. DOI: 10.1007/s11011-024-01377-w
36. Savšek L, Stergar T, Strojnik V, Alojz I, Koren A, Špiclin Ž, et al. Impact of aerobic exercise on clinical and magnetic resonance imaging biomarkers in persons with multiple sclerosis: An exploratory randomized controlled trial. *Journal of rehabilitation medicine*. 2021;53 (4):2772. DOI: 10.2340/16501977-2814
37. Intzandt B, Vrinceanu T, Huck J, Vincent T, Montero-Odasso M, Gauthier CJ, et al. Comparing the effect of cognitive vs. exercise training on brain MRI outcomes in

- healthy older adults: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2021; 128:511-33. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2021.07.003
38. Filippi M, Rovaris M, Inglese M, Barkhof F, De Stefano N, Smith S, et al. Interferon beta-1a for brain tissue loss in patients at presentation with syndromes suggestive of multiple sclerosis: a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *The Lancet*. 2004;364 (9444):89-96. DOI: 10.1016/S0140-6736 (04)17271-1
39. Wilekens KA, Stillman CM, Waiwood AM, Kang C, Leckie RL, Peven JC, et al. Exercise interventions preserve hippocampal volume: A meta-analysis. *Hippocampus*. 2021;31 (3):335-47. DOI: 10.1002/hipo.23292
40. Torricco TJ, Munakomi S. *Neuroanatomy, thalamus*. 2019.
41. AbuHasan Q, Reddy V, Siddiqui W. *Neuroanatomy, amygdala*. 2019.
42. Morozumi T, Preziosa P, Meani A, Albergoni M, Margoni M, Pagani E, et al. Influence of cardiorespiratory fitness and MRI measures of neuroinflammation on hippocampal volume in multiple sclerosis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 2024;95 (1):29-36. DOI: 10.1136/jnnp-2023-331482
43. Morgan JA, Corrigan F, Baune BT. Effects of physical exercise on central nervous system functions: a review of brain region specific adaptations. *Journal of molecular psychiatry*. 2015. 13-3:1. DOI: 10.1186/s40303-015-0010-8
44. 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. *Behavioural brain research*. 2019; 373:112042. DOI: 10.1016/j.bbr.2019.112042
45. Islam MR, Luo R, Valaris S, Haley EB, Takase H, Chen YI, et al. Diffusion tensor-MRI detects exercise-induced neuroplasticity in the hippocampal microstructure in mice. *Brain Plasticity*. 2019;5 (2):147-59. DOI: 10.3233/BPL-190090.
46. Marrie RA, Cohen J, Stuve O, Trojano M, Sørensen PS, Reingold S, et al. A systematic review of the incidence and prevalence of comorbidity in multiple sclerosis: overview. *Multiple Sclerosis Journal*. 2015;21 (3):263-81. DOI: 10.1177/1352458514564491
47. Su L, Zhang Z, Gao C, Guo A, Zhang M, Shi X, et al. Brain lesion characteristics in Chinese multiple sclerosis patients: A 7-T MRI cohort study. *Annals of Clinical and Translational Neurology*. 2025;12 (2):300-10. DOI: 10.1002/acn3.52256