



Article Type: Research

The effect of eight weeks of Pilates training on brain-derived neurotrophic factor and cognitive function in women with multiple sclerosis aged 30-50 years

Goli Manouchehri¹, Seyedeh Manizheh Arabi^{*2}, Farzad Nazem³

1. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

3. Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 29/05/2026, Accepted: 01/08/2026, Published: 23/09/2026

* Corresponding Author: Seyedeh Manizheh Arabi, E-mail: m.arabi@basu.ac.ir,

How to Cite: Manouchehri, G., arabi, S. M. & Nazem, F. (2026). The effect of eight weeks of Pilates training on brain-derived neurotrophic factor and cognitive function in women with multiple sclerosis aged 30-50 years. *Research on Women's Sports*, 3(11), 17-42. <https://doi.org/10.22089/rws.2026.5150>

Extended Abstract

Background and Purpose

Multiple sclerosis (MS) is a chronic autoimmune and neurodegenerative disease affecting the central nervous system. Cognitive impairment is one of the most common and disabling features of MS and may appear even in the early stages of the disease. Executive functions, selective attention, working memory, and cognitive flexibility are frequently affected due to demyelination, axonal degeneration, and brain atrophy. Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) is a key neurotrophin involved in neuronal survival, synaptic plasticity, and cognitive processes, and reduced BDNF levels have been reported in individuals with MS. Although various exercise modalities have been investigated in MS, limited evidence exists regarding the effects of Pilates training on both neurotrophic factors and cognitive performance. Therefore, the present study aimed to examine the effects of eight weeks of Pilates training on plasma BDNF levels, selective attention, cognitive flexibility, and working memory in women with MS aged 30–50 years.

Methods

This study was a quasi-experimental trial with a pretest–posttest design including a control group. Thirty-two women with MS (EDSS < 5.0) were recruited from the MS Association of Hamedan and randomly assigned to a Pilates group (n = 16) or a control group (n = 16). Sample size was determined using G*Power software with an alpha level of 0.05 and statistical power of 80%.



Copyright: © 2023 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/>).

Inclusion criteria included the absence of regular exercise (score < 8 on the Beck Physical Activity Questionnaire), absence of severe psychological disorders (SCL-25 score < 50), mild cognitive impairment (MoCA score < 27), no relapse during the previous six months, non-pregnancy, non-smoking status, and no history of cardiovascular, metabolic, psychiatric, oncologic, or orthopedic disorders. Exclusion criteria included relapse during the study and inability to continue the exercise protocol.

The Pilates group performed a supervised program for eight weeks (two sessions per week, 60 minutes per session). Each session consisted of 10 minutes of warm-up, 40 minutes of main Pilates exercises using elastic bands and exercise balls, and 10 minutes of cool-down. Repetitions progressed from 10 repetitions during the first four weeks to 20 repetitions during the last four weeks.

Blood samples (5 ml) were collected 48 hours before and after the intervention under fasting conditions to measure plasma BDNF. Cognitive performance was assessed using the Wisconsin Card Sorting Test (cognitive flexibility), the Stroop test (selective attention), and the N-back test (working memory).

Data normality was examined using the Shapiro–Wilk test. Analysis of covariance (ANCOVA) was conducted controlling for pretest scores, age, and EDSS. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

ANCOVA results showed a significant difference between groups in plasma BDNF levels after the intervention ($p < 0.001$), with the Pilates group demonstrating a significant increase compared to the control group. In the Wisconsin Card Sorting Test, significant between-group differences were observed in perseverative errors ($p < 0.001$), number of correct responses ($p < 0.001$), and response time ($p < 0.001$). However, no significant difference was found between groups in the number of completed categories. In the Stroop test, significant reductions were observed in interference score ($p = 0.005$) and interference time ($p < 0.001$) in the Pilates group compared to the control group. In the N-back test, significant improvements were found in the number of correct responses ($p < 0.001$) and response time ($p < 0.001$) in the Pilates group compared to the control group.

Age showed a significant effect only on BDNF ($p = 0.026$), while EDSS did not show significant effects on most outcome variables. Overall, eight weeks of Pilates training led to significant improvements in plasma BDNF levels and several components of cognitive performance, including cognitive flexibility (except number of categories), selective attention, and working memory.

Conclusion

Eight weeks of supervised Pilates training significantly increased plasma BDNF levels and improved cognitive flexibility, selective attention, and working memory in women with multiple sclerosis aged 30–50 years. Significant improvements were observed in perseverative errors, number of correct responses, response time, interference score, interference time, and N-back performance, while the number of completed categories in the Wisconsin Card Sorting Test did not change significantly. These findings indicate that Pilates training may serve as an effective complementary intervention to enhance neurobiological markers and cognitive function in women with MS.

Keywords: Pilates, Brain-Derived Neurotrophic Factor, Cognitive Function, Multiple Sclerosis

Article Message

Eight weeks of supervised Pilates training significantly increased plasma brain-derived neurotrophic factor (BDNF) levels and improved several domains of cognitive performance in women with

multiple sclerosis aged 30–50 years. Compared with the control group, participants in the Pilates group showed significant improvements in perseverative errors, number of correct responses, response time, interference score, interference time, and N-back performance. No significant change was observed in the number of completed categories in the Wisconsin Card Sorting Test. These findings suggest that Pilates training may serve as a practical complementary intervention to enhance neurobiological markers and cognitive function in women with MS.

Ethical Considerations

The present study was approved by the Ethics Committee of Bu-Ali Sina University (Approval code: IR.BASU.REC.1403.040).

Authors' Contributions

Conceptualization: Seyedeh manizheh arabi, farzad nazem, goli manouchehri

Data Collection: goli manouchehri

Data Analysis: Seyedeh manizheh arabi, goli manouchehri

Manuscript Writing: Seyedeh manizheh arabi, farzad nazem

Review and Editing: Seyedeh manizheh arabi, farzad nazem, goli manouchehri

Responsible for funding: none

Literature Review: Seyedeh manizheh arabi, goli manouchehri

Project Manager: Seyedeh manizheh arabi

Any other Contributions: -

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this study.

Acknowledgments

The authors would like to sincerely thank all participants for their valuable time and cooperation in this study.



پژوهش در ورزش زنان

Journal homepage: <https://rws.ssric.ac.ir>



نوع مقاله: پژوهشی

تأثیر هشت هفته تمرین پیلاتس بر فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز و عملکرد شناختی زنان مبتلا به

اماس ۳۰ - ۵۰ سال

گلی منوچهری^۱، سیده منیژه عربی^{۱*}، فرزاد ناظم^۲

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

*نویسنده مسئول: سیده منیژه عربی، E-mail: m.arabi@basu.ac.ir

How to Cite: Manuchehri, G., arabi, S. M. & Nazem, F. (2026). The effect of eight weeks of Pilates training on brain-derived neurotrophic factor and cognitive function in women with multiple sclerosis aged 30-50 years. *Research on Women's Sports*, 3(11), 17-42. <https://doi.org/10.22089/rws.2026.5150>

چکیده

اماس، بیماری خودایمنی و نورودژنراتیو است که بر سیستم عصبی مرکزی تأثیر می‌گذارد و جنبه‌های مختلف کارکرد شناختی مانند انعطاف‌پذیری شناختی، حافظه کاری و توجه انتخابی می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد؛ بنابراین هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر هشت هفته تمرین پیلاتس بر سطح BDNF پلاسما، توجه، انعطاف‌پذیری شناختی و عملکرد اجرایی بیماران خانم ۳۰ تا ۵۰ سال مبتلا به اماس بود. مطالعه حاضر از نوع نیمه‌تجربی و طرح تحقیق پیش‌آزمون و پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بود. این مطالعه براساس هدف، جزو تحقیقات کاربردی بود. تعداد ۳۲ نفر در مطالعه حاضر شرکت کردند که به طور تصادفی به دو گروه کنترل (۱۶ نفر)، پیلاتس (۱۶ نفر) تقسیم شدند. پروتکل شانزده جلسه‌ای پیلاتس به مدت ۶۰ دقیقه دو جلسه در هفته انجام شد. قبل و بعد از مداخله سطح BDNF پلاسما، آزمون ویسکانسین، استروپ و ان‌بک بررسی شد. نتایج نشان داد که هشت هفته تمرین پیلاتس موجب بهبود معنادار سطح BDNF پلاسما ($p < 0.001$)، انعطاف‌پذیری شناختی شامل کاهش خطای درجاماندگی ($p < 0.001$)، افزایش تعداد پاسخ‌های صحیح ($p < 0.001$) و کاهش زمان کل آزمون ویسکانسین ($p < 0.001$) شد؛ با این حال، تغییر معناداری در تعداد طبقات تکمیل‌شده مشاهده نشد ($p = 0.401$). همچنین پیلاتس تأثیر معناداری بر شاخص‌های توجه انتخابی شامل نمره تداخل ($p = 0.005$) و زمان تداخل ($p < 0.001$) و نیز حافظه کاری شامل تعداد پاسخ‌های صحیح و میانگین زمان پاسخ ($p < 0.001$) داشت با توجه به نتایج



مثبت پیلاتس بر سطح BDNF و حافظه کاری، توجه انتخابی و انعطاف پذیری شناختی، پیشنهاد می شود که مربیان از این تمرینات در کلینیک های توانبخشی استفاده کنند.

واژگان کلیدی: پیلاتس، فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز، کارکرد شناختی، ام اس.

مقدمه

مالتیپل اسکلروزیس (ام اس)^۱ بیماری خودایمنی و نورودژنراتیو^۲ است که سیستم عصبی مرکزی را درگیر می کند و با دمیالیناسیون^۳ التهابی، تکثیر آستروگلیا^۴ و دژنراسیون^۵ آکسونی همراه است (ازکول^۶ و همکاران، ۲۰۲۰). این بیماری با طیف گسترده ای از پیامدهای عصبی و جسمانی همراه است؛ به طوری که یکی از دلایل تغییرات عصبی، کاهش سطح فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز (BDNF)^۷ است (نوسیتی، ۲۰۲۰). BDNF از مهم ترین نوروتروفین ها محسوب می شود که در محافظت عصبی، بازسازی نورونی و حفظ عملکرد شناختی نقش اساسی دارد (عباس پور و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین شواهد نشان داده اند که اختلال در سیگنال دهی BDNF می تواند با بروز اختلالات شناختی همراه باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶).

اختلال شناختی یکی از شایع ترین و ناتوان کننده ترین ویژگی بیماران مبتلا به ام اس است و در ۴۳ تا ۷۰ درصد آنها مشاهده می شود (دلوکا و همکاران، ۲۰۲۰). کارکردهای شناختی مختلف از جمله انعطاف پذیری شناختی، توجه انتخابی و حافظه کاری ممکن است تحت تأثیر ام اس قرار گیرند (بندیکت و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات بیان کرده اند که آسیب عصبی ناشی از ام اس می تواند منجر به طیفی از علائم اختلالات شناختی از جمله اختلال در انعطاف پذیری شناختی شود (بری و همکاران، ۲۰۱۸). از طرفی مطالعات نشان داده اند که سطح پایین BDNF باعث عملکرد ضعیف در کارکرد شناختی بیماران مبتلا به ام اس می شود (پاتانلا و همکاران، ۲۰۱۰). اختلال در این مؤلفه ها می تواند بر عملکرد روزمره و کیفیت زندگی بیماران مبتلا به ام اس تأثیر منفی در خورتوجهی داشته باشد (روئه و همکاران، ۲۰۱۳). عوامل متعددی مانند رژیم غذایی سالم، کنترل مناسب بیماری های همراه و ورزش منظم بدنی می تواند بر کارکرد شناختی بیماران مبتلا به ام اس تأثیر مثبت بگذارد (فنارا و همکاران، ۲۰۲۱).

فعالیت بدنی به عنوان یکی از راهکارهای غیردارویی مؤثر برای کاهش پیامدهای بیماری ام اس مدنظر قرار گرفته است. مطالعات نشان داده اند که ورزش می تواند موجب بهبود تعادل، خستگی و کارکرد شناختی در بیماران مبتلا به ام اس شود (سندروف و همکاران، ۲۰۱۸) همچنین گزارش شده است که فعالیت بدنی با افزایش سطح BDNF می تواند در بهبود

-
1. Multiple Sclerosis
 2. Neurodegenerative
 3. Demyelination
 4. Astroglia
 5. Degeneration
 6. Ozkul
 7. Brain-Derived Neurotrophic Factor

عملکرد عصبی و شناختی نقش داشته باشد (دینوف و همکاران، ۲۰۱۷). از طرفی بیشتر مطالعات انجام شده در بیماران مبتلا به ام اس بر تمرینات هوازی و مقاومتی متمرکز بوده‌اند و پژوهش‌های کمتری به بررسی اثر تمرینات پيلاتس پرداخته‌اند (رودریگز-مورا و همکاران، ۲۰۲۲). پيلاتس به عنوان یک روش تمرینی کم‌هزینه، ایمن و قابل اجرا، در برخی مطالعات با بهبود کیفیت زندگی، کاهش خستگی و ارتقای برخی شاخص‌های شناختی همراه بوده است (سانچز-لاسترا و همکاران، ۲۰۱۹)؛ برای مثال، عباسیانیک و همکاران (۲۰۲۰) بهبود وضعیت شناختی را بر کارکردهای شناختی از جمله سرعت پردازش اطلاعات، یادگیری کلامی و حافظه دیداری-فضایی، پس از تمرینات پيلاتس در بیماران مبتلا به ام اس گزارش کردند؛ در حالی که عباسیانیک و همکاران (۲۰۲۱) در آزمون شناختی، تفاوت معناداری در افراد مبتلا به ام اس که تمرینات پيلاتس دریافت کرده بودند، در مقایسه با گروه کنترل مشاهده نکردند. همچنین ازکول و همکاران (۲۰۲۰) اثرات مثبت ترکیب ورزش‌های هوازی و پيلاتس را در حافظه بلندمدت کلامی، ظرفیت راه رفتن، خستگی شناختی و کیفیت زندگی بیماران مبتلا به ام اس نشان دادند، اما در حافظه کوتاه مدت کلامی، حافظه دیداری-فضایی، روانی کلامی، سرعت پردازش، خستگی جسمی و روانی اجتماعی، خلق و خو و کیفیت زندگی در گروه‌های کنترل و ورزش تفاوتی پیدا نکردند. با وجود گزارش اثرات مثبت پيلاتس بر برخی شاخص‌های شناختی در بیماران مبتلا به ام اس، شواهد موجود همچنان محدود و ناهمگون است (ازاکباش و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات پیشین عمدتاً بر متغیرهایی نظیر سرعت پردازش اطلاعات، یادگیری کلامی، حافظه دیداری-فضایی، خستگی شناختی و کیفیت زندگی تمرکز داشته‌اند (عباسیانیک و همکاران، ۲۰۲۰)؛ در حالی که ابعاد اختصاصی عملکرد اجرایی شامل انعطاف‌پذیری شناختی، توجه انتخابی و حافظه کاری کمتر بررسی شده‌اند. علاوه بر این، نتایج پژوهش‌های پیشین درباره تأثیر پيلاتس بر عملکرد شناختی بیماران مبتلا به ام اس یکسان نبوده و یافته‌های متناقضی گزارش شده است. از سوی دیگر، با وجود شواهدی مبنی بر تأثیر فعالیت بدنی بر سطوح BDNF، تاکنون اثر تمرینات پيلاتس بر سطح BDNF همراه با ابعاد مذکور عملکرد شناختی در زنان مبتلا به ام اس به طور هم‌زمان بررسی نشده است. همچنین با توجه به شیوع بیشتر بیماری ام اس در زنان نسبت به مردان و احتمال تأثیر سن و جنسیت بر شاخص‌های شناختی و نوروتروفیک، بررسی این متغیرها در زنان ۳۰ تا ۵۰ سال مبتلا به ام اس ضروری به نظر می‌رسد (والتون و همکاران، ۲۰۲۰)؛ بنابراین هدف این مطالعه بررسی تأثیر هشت هفته تمرین پيلاتس بر سطح BDNF پلاسما، توجه انتخابی، انعطاف‌پذیری شناختی و حافظه کاری در زنان مبتلا به ام اس ۳۰ تا ۵۰ سال بود.

روش پژوهش

مطالعه حاضر از نوع نیمه تجربی و طرح تحقیق پیش‌آزمون و پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بود. این مطالعه براساس هدف، جزو تحقیقات کاربردی بود. این مطالعه روی زنان مبتلا به مولتیپل اسکلروزیس با مقیاس وضعیت ناتوانی گسترده^۱ (EDSS < 5.0) انجام شد. این زنان عضو انجمن ام اس ایران همدان بودند. با استفاده از نرم افزار جی‌پاور با سطح آلفای ۰/۰۵ و توان ۸۰ درصد، حجم نمونه ۳۲ نفر برآورد شد (دواسایامو همکاران، ۲۰۲۱). شرکت کنندگان به طور تصادفی به دو

1. Expanded Disability Status Scale

گروه کنترل (۱۶ نفر)، پیلاتس (۱۶ نفر) تقسیم شدند. معیارهای ورود آزمودنی‌ها به پژوهش شامل نداشتن ورزش منظم (امتیاز کمتر از ۸ در پرسشنامه فعالیت بدنی بک^۱)، نداشتن اختلال روانی (نمره کمتر از ۵۰ در پرسشنامه اختلال روانی^۲)، نداشتن اختلال شناختی خفیف (نمره کمتر از ۲۷ در پرسشنامه اختلال شناختی موکا^۳)، عود نداشتن بیماری در شش ماه گذشته، باردار نبودن، استفاده نکردن از دخانیات، نداشتن سابقه بیماری‌های قلبی-عروقی، متابولیک، سرطان و بیماری‌های ارتوپدی بود. معیارهای خروج آزمودنی‌ها از مطالعه نیز شامل عود بیماری در حین اجرای پژوهش، ناتوانی در اجرای برنامه‌های تمرینی و داشتن علائم بیماری بود (عباس‌پور و همکاران، ۲۰۲۰).

ابزارهای ارزیابی

اندازه‌گیری سطح BDNF پلاسما

نمونه‌گیری خون ۴۸ ساعت قبل و بعد از مداخله انجام شد. نمونه خون به صورت ناشتا از ورید بازویی و در حالت نشسته و در هر مرحله ۵ میلی‌لیتر خون از آزمودنی‌ها گرفته شد و سپس بلافاصله در لوله‌های سیترات حاوی EDTA^۴ (ماده ضد انعقاد) ریخته شد. برای جداسازی پلاسما نمونه‌های خون به مدت ۱۰ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس پلاسمای استخراج‌شده تا زمان تجزیه و تحلیل در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (PJ, 2019). برای سنجش متغیر بررسی‌شده، از روش استاندارد آزمایشگاهی انجمن شیمی بالینی آلمان (IFCC) بهره‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر مدل CRONIX801-AT و کیت‌های تشخیص آزمایشگاهی با دقت زیاد از شرکت Zellbio انجام گرفت. تمامی آزمایش‌ها روی نمونه‌های پلاسما خون صورت پذیرفت تا دقت و صحت نتایج تضمین شود.

-
1. Physical Activity Questionnaire Baecke
 2. Construct Validity and Reliability of Symptom Checklist-25
 3. Montreal Cognitive Assessment Screening test
 4. Ethylenediaminetetra-acetic Acid (EDTA)
- فصلنامه پژوهش در ورزش زنان، پاییز ۱۴۰۵، دوره ۰۳، شماره ۱۱

ابزارهای عملکرد شناختی

آزمون مرتب‌سازی کارت ویسکانسین^۱: این آزمون توسط گرانت و برگ^۲ (۱۹۴۸) برای ارزیابی انعطاف‌پذیری شناختی طراحی شد. در این آزمون ۶۴ کارت نشان داده می‌شود که روی آن‌ها یک تا چهار شکل به صورت مثلث، ستاره، دایره و بعلاوه در چهار رنگ قرمز، سبز، زرد و آبی وجود دارد. وظیفه شرکت‌کنندگان این است که براساس اصولی که بر کارت اصلی حاکم است، به جای‌گذاری سایر کارت‌ها اقدام کند. بعد از هر پاسخ، آزمودنی بازخورد درست یا نادرست دریافت می‌کند. به منظور نمره‌دهی این آزمون دو امتیاز متداول یعنی تعداد دسته‌های به‌دست‌آمده و تعداد خطاها محاسبه می‌شود (دیویدسون و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعات روان‌سنجی نشان داده‌اند که آزمون ویسکانسین از پایایی مطلوبی برخوردار است و ضرایب پایایی برای شاخص‌های اصلی آن بیش از ۹۰ درصد گزارش شده است (کپ و همکاران، ۲۰۲۱).

آزمون ان‌بک: این آزمون برای اولین بار توسط کرچنر^۳ (۱۹۸۵) به‌منظور سنجش حافظه کاری معرفی شد (اُون و همکاران، ۲۰۰۵). چنانچه محرک نشان داده‌شده با یک محرک ماقبل از خود مشابه باشد، شرکت‌کننده کلید (۹) را فشار می‌دهد و اگر مشابه نباشد، کلید (Z) را فشار می‌دهد. به منظور نمره‌دهی تعداد پاسخ‌های درست و میانگین زمان پاسخ استفاده شد. مطالعات نشان داده‌اند که آزمون N-back از پایایی مطلوبی برخوردار است و ضرایب پایایی برای برخی شاخص‌های آن بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۳ گزارش شده است (هیدارکان و کن، ۲۰۲۵).

آزمون استروپ: این آزمون توسط جان ریدلی استروپ^۴ (۱۹۳۵) برای اندازه‌گیری توجه انتخابی طراحی شد (رینبر و همکاران، ۲۰۱۷). این آزمون شامل سه مرحله است: مراحل اول و دوم شامل تلاش‌های هماهنگ است، در حالی که مرحله سوم که به‌عنوان تلاش‌های ناهماهنگ نامیده می‌شود، نام چهار رنگ اصلی است که روی صفحه نمایش کامپیوتر ظاهر می‌شود. شرکت‌کنندگان باید در سریع‌ترین زمان و با رنگ جوهر کلمات کلیدهای صفحه کلید را فشار دهند؛ به عنوان مثال، کلمه «قرمز» با رنگ دیگری (مثلاً سبز) نوشته می‌شود و شرکت‌کننده باید رنگ جوهر را تعیین کند. به‌منظور نمره‌دهی از نمره تداخل و زمان تداخل که از تفریق تعداد صحیح و زمان واکنش دو محرک همخوان و ناهمخوان به دست می‌آید، استفاده می‌شود. اعتبار این آزمون از طریق بازآزمایی در دامنه ۰/۸۰ تا ۰/۹۱ گزارش شده است (گورفاین و براون، ۲۰۰۷).

پروتکل تمرین

اصول اولیه پیلاتس در جلسه اول به بیماران آموزش داده شد. هر جلسه به مدت ۶۰ دقیقه برگزار شد که شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن، ۴۰ دقیقه تمرین اصلی و ۱۰ دقیقه سرد کردن بود. بخش گرم کردن با حرکات مرکزی و سگمنتال اندام‌ها در وضعیت خوابیده به پشت آغاز شد. در طول تمرینات پیلاتس از توپ‌های ورزشی و باندهای الاستیک استفاده شد. هریک از تمرینات در چهار هفته اول با ۱۰ تکرار و در چهار هفته دوم با ۲۰ تکرار انجام شد. شدت تمرین به صورت پیشرونده و

-
1. Wisconsin & Sorting Test (WCST)
 2. Grant And Berg
 3. Kirchner
 4. John Ridley Stroop

متناسب با توانایی و تحمل آزمودنی‌ها از طریق افزایش تعداد تکرارها و مقاومت باندهای الاستیک تنظیم شد. در پایان هر جلسه، تمرینات کششی، اصلاح وضعیت بدن و ۱۰ دقیقه تمرینات آرام‌سازی برای سرد کردن انجام شد (عباسیانیک و همکاران، ۲۰۲۰). پروتکل شانزده جلسه‌ای پیلاتس به مدت ۶۰ دقیقه دو جلسه در هفته با نظارت متخصص علوم ورزشی انجام شد که فعالیت‌های اصلی مداخله در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- تمرین‌های پیلاتس

Table 1- Pilates exercises

جلسه Session	فعالیت اصلی Main Activity	ست/تکرار Sets/Repetitions
1	کشش سرشانه به جلو، کشش سرشانه به عقب، کشش سرشانه تک دست هر طرف، کشش تک پا ایستاده به پهلو، کشش تک پا به عقب، کشش کبرا، کشش کودک، غلتاندن ران	1*10
2	کشش سر شانه از پشت سر به همراه پاشنه پنجه، میترال باکش، چرخش بازو، چرخش زانو، پیچ مورب، باز کردن بازوها، لانچ با کش	1*10
3	میترال با کش، نشر جلو و نشر جانب با کش، نشر خم با کش، نشر خم دست معکوس به حالت قایقی، پلانک، تیروکمان نشسته، بالابردن توپ تنیس، حرکت صدف	1*10
4	نشر جلو و جانب با کش، قایق نشسته با کش، نشر W خوابیده، تیروکمان خوابیده، حرکت دارت، پرس الماسی، حرکت پنجره، پیچ مورب	1*10
5	فلای ایستاده با کش، کات بازو با کش، نشر جانب تک دست با کش، پشت بازو با کش، پل باسن، زیگ زاگ در حالت خوابیده، پای خزنده، حرکت صدف	1*10
6	بلندکردن پاها صاف، کشش ستون فقرات به جلو، حرکت اره، کشش کبرا، ضربه تک پا، ضربه دو پا، پیچش ستون فقرات، دیپ باس	1*10
7	پشت بازو باکش، لانچ پهلو، لانچ عقب، اسکات پا جمع با کش، کیک بک رو استپ، ستاره، تیزر، کشش ستون فقرات به جلو	1*10
8	اسکات با کش، جلو سینه با کش، سرشانه تک دست، فوک آبی، دارت، گربه، حرکت صد، پیچش ستون فقرات	1*10
9	لانچ، پلانک، کیک بک با توپ، پل باسن رو پنجه، دیپ باس، ستاره دریایی نشسته، چرخش پا دایره وار، چرخش بازو	2*10
10	میترال با کش، اسکات با کش، سر شانه عقب جلو، کوهنورد، پلانک صخره‌ای، پل باسن با توپ، شکم روسی، پری دریایی	2*10
11	حرکت متقاطع، اره، گربه، پل باسن تک پا، کبرا، چرخش زانو، اسکات با توپ، دیپ باس	2*10
12	میترال با کش، لانچ پهلو، دارت، پیچ مورب، صد، پای خزنده، موج مکزیکی، چرخش مچ پا	2*10
13	بلند کردن پا صاف با کش، اره، حرکت متقاطع، پیچ ستون فقرات، لانچ با کش، کبرا، تیزر	2*10
14	میترال با کش، جلو بازو با کش در حالت اسکات، تیزر، پری دریایی، شنا، پلانک صخره‌ای، چرخش بازو، گربه	2*10
15	نشر جلو و جانب با کش، میترال با کش، چرخش بازو، دیپ باس، کبرا، ضربه تک پا، لانچ با کش، بالا بردن پا با توپ	2*10
16	حرکت میز، پرس الماسی، کشش گردن، شنا، صدف، لانچ با کش، پل باسن با توپ، چرخش بازو، بچه	2*10

روش اجرا

در ابتدا به مرکز انجمن اماس بیمارستان بعثت همدان مراجعه شد و با ارائه نامه دانشکده به پزشک انجمن اجازه دسترسی به اطلاعات صادر شد. سپس جلسه‌ای با بیماران که معیارهای ورود به پژوهش را داشتند، ترتیب داده شد که در آن جلسه پس از توضیح هدف پژوهش و طول مدت مداخله، بیمارانی که تمایل به شرکت داشتند، فرم رضایت‌نامه را تکمیل کردند. سپس از بیماران پرسشنامه اختلال شناختی Moca، اختلالات روانی و فعالیت بدنی برای ارزیابی اختلال شناختی، نداشتن اختلال روانی و فعالیت بدنی گرفته شد. ۳۲ نفر از بیماران واجد شرایط به طور تصادفی به دو گروه پیلاتس و کنترل تقسیم شدند. ۴۸ ساعت قبل و بعد از مداخله خون‌گیری انجام شد. همچنین عملکرد شناختی بیماران قبل و بعد از مداخله توسط آزمون‌های استروپ برای توجه، ان‌یک برای حافظه کاری و ویسکانسین برای انعطاف‌پذیری شناختی اندازه‌گیری شد. به‌منظور کنترل اثرات احتمالی یادگیری و خستگی شناختی، ترتیب اجرای آزمون‌های استروپ، ویسکانسین و ان‌یک بین شرکت‌کنندگان به صورت تصادفی تعیین شد. همچنین بین هر آزمون ۵ دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. برای گروه پیلاتس ۱۶ جلسه تمرین در باشگاه ورزشی توسط مربی پیلاتس انجام شد، اما گروه کنترل در برنامه ورزشی شرکت نکرد و در فهرست انتظار قرار داده شد و بعد از اتمام مداخله و گرفتن پس‌آزمون، تمرینات پیلاتس برای این گروه نیز اجرا شد. آزمون‌ها طی سه روز و هر روز از ساعت ۸ صبح تا ۱۴ انجام شد. تمامی جلسات در اتاقی ساکت و با نور کافی برگزار شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پیش‌فرض‌های آزمون آنکووا شامل نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. نتایج نشان داد که این پیش‌فرض‌ها برقرار بودند ($p > 0.05$). در بخش آمار توصیفی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها در جداول توصیفی گزارش شد و سپس در بخش آمار استنباطی برای بررسی اثربخشی تمرین ورزشی از آزمون آنکووا استفاده شد. همچنین به‌منظور بررسی تفاوت بین گروه‌ها، آزمون تعقیبی تعدیل‌شده بونفرونی^۱ اجرا شد. سطح معناداری در تمام تحلیل‌ها $p < 0.05$ بود و برای تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد.

نتایج

پیش از انجام تحلیل کوواریانس، پیش‌فرض‌های نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها برای همه متغیرهای پژوهش با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و آزمون لون بررسی شد. نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که توزیع داده‌های متغیر BDNF در گروه پیلاتس در پیش‌آزمون ($p = 0.937, W = 0.309$) و پس‌آزمون ($p = 0.079, W = 0.900$)، و در گروه کنترل در پیش‌آزمون ($p = 0.958, W = 0.623$) و پس‌آزمون ($p = 0.440, W = 0.947$) نرمال بود ($p > 0.05$). در آزمون ویسکانسین، متغیر تعداد طبقات در گروه پیلاتس در پیش‌آزمون ($p = 0.257, W = 0.931$) و پس‌آزمون ($p = 0.054, W = 0.889$)؛ و گروه کنترل در پیش‌آزمون ($p = 0.093, W = 0.904$) و پس‌آزمون ($p = 0.333, W = 0.939$)؛ و پس‌آزمون ($p = 0.059, W = 0.892$) و پس‌آزمون ($p = 0.065, W = 0.894$)؛ و گروه کنترل در پیش‌آزمون ($p = 0.082, W = 0.900$) و پس‌آزمون ($p = 0.122, W = 0.911$)؛ متغیر تعداد پاسخ صحیح در

1. Bonferroni Post-Hoc Adjustment

گروه پیلاتس در پیش‌آزمون ($p=0/461$, $W=0/948$) و پس‌آزمون ($p=0/160$, $W=0/919$) و گروه کنترل در پیش‌آزمون ($p=0/904$, $W=0/904$) و پس‌آزمون ($p=0/894$, $W=0/894$) و همچنین متغیر زمان پاسخ در گروه پیلاتس در پیش‌آزمون ($p=0/231$, $W=0/929$) و پس‌آزمون ($p=0/204$, $W=0/925$) و گروه کنترل در پیش‌آزمون ($p=0/937$, $W=0/937$) و پس‌آزمون ($p=0/311$, $W=0/937$) همگی از توزیع نرمال برخوردار بودند ($p>0/05$).

در آزمون استروپ، نمره تداخل گروه پیلاتس در پیش‌آزمون ($p=0/073$, $W=0/897$) و پس‌آزمون ($p=0/952$, $W=0/952$) و گروه کنترل در پیش‌آزمون ($p=0/437$, $W=0/947$) و پس‌آزمون ($p=0/403$, $W=0/944$) و در زمان تداخل گروه پیلاتس در پیش‌آزمون ($p=0/415$, $W=0/945$) و پس‌آزمون ($p=0/499$, $W=0/951$) و گروه کنترل در پیش‌آزمون ($p=0/333$, $W=0/939$) و پس‌آزمون ($p=0/390$, $W=0/943$) نیز نرمال بودند ($p>0/05$).

در آزمون ان‌بک، تعداد پاسخ صحیح گروه پیلاتس در پیش‌آزمون ($p=0/394$, $W=0/943$) و پس‌آزمون ($p=0/967$, $W=0/967$) و گروه کنترل در پیش‌آزمون ($p=0/839$, $W=0/970$) و پس‌آزمون ($p=0/846$, $W=0/970$) و همچنین میانگین زمان پاسخ گروه پیلاتس در پیش‌آزمون ($p=0/537$, $W=0/953$) و پس‌آزمون ($p=0/427$, $W=0/946$) و گروه کنترل در پیش‌آزمون ($p=0/147$, $W=0/916$) و پس‌آزمون ($p=0/149$, $W=0/917$) از توزیع نرمال برخوردار بودند ($p>0/05$).

نتایج آزمون لون نیز نشان داد که پیش‌فرض همگنی واریانس‌ها بین دو گروه پیلاتس و کنترل برای متغیر BDNF ($p=0/124$, $F=2/503$) و در آزمون ویسکانسین متغیر تعداد طبقات ($p=0/157$, $F=2/103$)، خطای درجاماندگی ($p=0/357$, $F=0/875$)، تعداد پاسخ صحیح ($p=0/838$, $F=0/043$) و زمان پاسخ ($p=0/227$, $F=1/520$)، در آزمون استروپ متغیر نمره تداخل ($p=0/119$, $F=2/577$) و زمان تداخل ($p=0/444$, $F=0/601$) و در آزمون ان‌بک متغیر تعداد پاسخ صحیح ($p=0/633$, $F=0/232$) و میانگین زمان پاسخ ($p=0/329$, $F=0/983$) برقرار بود ($p>0/05$).

ویژگی‌های دموگرافیک شرکت‌کننده‌ها

اطلاعات توصیفی شامل سن، EDSS، مدت زمان بیماری و شاخص توده بدنی مربوط به آزمودنی‌ها به تفکیک گروه در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- میانگین $\pm$ انحراف استاندارد ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها به تفکیک گروه‌ها

Table 2- Mean $\pm$ standard deviation of demographic characteristics of subjects by group

گروه Group	تعداد Number	سن (سال) Age	EDSS (نمره)	مدت زمان بیماری (سال) Duration of illness	شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع) BMI	اختلال روانی SCL-25 Mental disorder	اختلال شناختی moca Cognitive impairment	فعالیت بدنی بک Back physical activity
پیلاتس Pilates	16	41.44 $\pm$ 5.12	3.50 $\pm$ 1.09	8.37 $\pm$ 2.72	24.50 $\pm$ 5.22	47.06 $\pm$ 4.41	18.56 $\pm$ 3.86	6.25 $\pm$ 1.12
کنترل Control	16	44.31 $\pm$ 4.24	3.44 $\pm$ 1.15	9.12 $\pm$ 2.28	27.44 $\pm$ 3.38	45.75 $\pm$ 5.34	16.87 $\pm$ 3.16	5.75 $\pm$ 0.86

به منظور بررسی اثر تمرین پیلاتس بر سطح BDNF پلاسما از آزمون آنکوا (تحلیل کوواریانس) با در نظر گرفتن متغیرهای کووریت پیش آزمون، سن و EDSS استفاده شد که نتایج آن در جداول (۳) ارائه شده است.

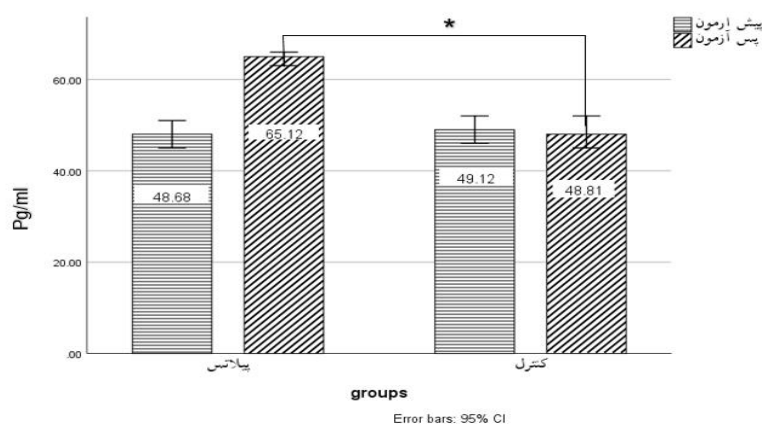
جدول ۳- نتایج آزمون تحلیل کوواریانس متغیر BDNF

Table 3- Results of the analysis of covariance for plasma BDNF

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معناداری	اندازه اثر
Source	Sum squares	df	Mean squares	F	p	η
مدل کلی	2646.85	4	661.714	79.719	< 0.001*	0.922
Corrected Model						
گروه	1796.86	1	1796.86	216.47	< 0.001*	0.889
Group						
پیش آزمون	434.36	1	434.36	52.330	< 0.001*	0.660
Pre-test						
سن	46.36	1	46.36	5.58	0.026*	0/171
Age						
EDSS	2.74	1	2.74	0.331	0.570	0.012
Error	224.114	27	8.30			
خطا						
کل	106725.00	32				
Total						

BDNF
(pg/ml)

تحلیل کوواریانس (جدول ۳) نشان داد که اختلاف معناداری بین گروه‌ها در متغیر BDNF وجود داشت. شکل (۱) نشان می‌دهد که با توجه به معنادار شدن اثر گروه در آزمون کوواریانس، آزمون تعقیبی تعدیل شده بونفرونی به منظور یافتن تفاوت بین دو گروه استفاده شد. نتایج آزمون نشان داد که گروه پیلاتس ($65/12 \pm 3/42$) نسبت به گروه کنترل ($48/81 \pm 6/14$) افزایش معناداری در پس آزمون داشت ($\text{Sig.} < 0/001$).



شکل ۱- مقایسه گروه‌ها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون BDNF

Figure 1- Comparison of groups in BDNF pre-test and post-test

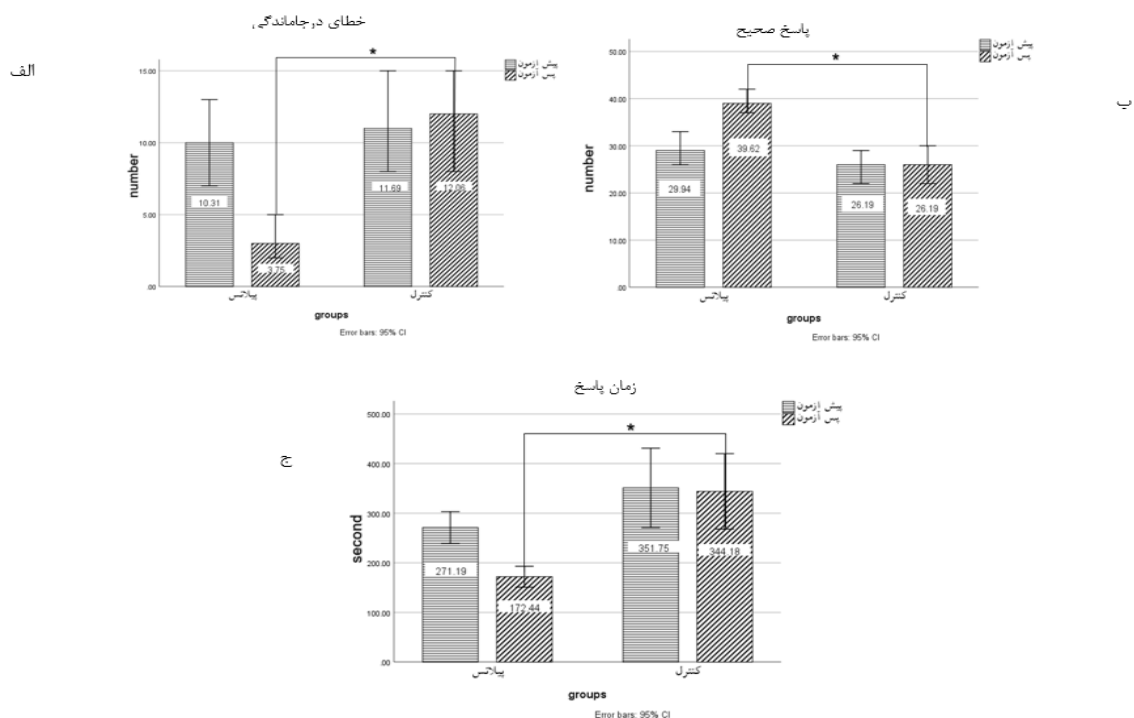
نتایج تحلیل کوواریانس (جدول ۴) در متغیر انعطاف‌پذیری شناختی نشان داد که اختلاف معناداری بین گروه‌ها در آزمون ویسکانسین (خطای درجاماندگی، تعداد پاسخ صحیح، زمان پاسخ) وجود داشت. همان‌طور که در شکل (۲-الف) نشان داده شده است، با توجه به معنادار شدن اثر گروه در آزمون کوواریانس، آزمون تعقیبی تعدیل‌شده بونفرونی به منظور یافتن تفاوت بین دو گروه استفاده شد. نتایج آزمون نشان داد که در پس‌آزمون خطای درجاماندگی آزمون ویسکانسین گروه پیلاتس ($3/75 \pm 3/19$) نسبت به گروه کنترل ($12/06 \pm 6/63$) کاهش معناداری در پس‌آزمون داشت ($\text{Sig.} < 0/001$). شکل (۲-ب) نشان می‌دهد که در خرده‌مقیاس تعداد پاسخ صحیح گروه پیلاتس افزایش معناداری در پس‌آزمون ($39/62 \pm 4/47$) در مقایسه با گروه کنترل ($26/19 \pm 7/81$) داشت ($\text{Sig.} < 0/001$). همچنین شکل (۲-ج) نشان می‌دهد که گروه پیلاتس کاهش معناداری در پس‌آزمون زمان پاسخ آزمون ویسکانسین ($172/44 \pm 39/77$) در مقایسه با گروه کنترل ($344/18 \pm 142/96$) داشت ($\text{Sig.} < 0/001$).

جدول ۴- نتایج آزمون تحلیل کوواریانس متغیر انعطاف‌پذیری شناختی

Table 4- Results of the analysis of covariance for cognitive flexibility

ویسکانسین Wisconsin card							
0.046	0.860	0.324	1.078	4	4.312	مدل کلی Corrected Model	تعداد طبقات Number of categories (n)
0.026	0.401	0.727	2.420	1	2.420	گروه Group	
0.014	0.541	0.383	1.275	1	1.275	پیش‌آزمون Pre-test	
0.000	0.996	0.000	8.012	1	8.012	سن Age	
0.010	0.599	0.284	0.945	1	0.945	EDSS	
			3.330	27	89.907	خطا Error	
				32	353.00	کل Total	
0.723	< 0.001*	17.65	247.170	4	988.678	مدل کلی Corrected Model	خطای درجاماندگی Perseverative error (n)
0.531	< 0.001*	30.57	428.058	1	428.058	گروه Group	
0.488	< 0.001*	25.70	359.862	1	359.862	پیش‌آزمون Pre-test	
0.023	0.433	0.63	8.858	1	8.858	سن	

Age							
0.007	0.658	0.20۲	2.802	1	2.802	EDSS	
				27	378.041	خطا Error	
				32	3367.00	کل Total	تعداد پاسخ صحیح Correct response (n)
0.623	< 0.001*	11.16	414.57	4	1658.27	مدل کلی Corrected Model	
0.521	< 0.001*	29.33	1089.06	1	1089.06	گروه Group	
0.154	0.035*	4.93	182.90	1	182.90	پیش‌آزمون Pre-test	
0.026	0.401	0.73	27.05	1	27.05	سن Age	
0.000	0.918	0.011	0.396	1	0.396	EDSS	
				27	1002.45	خطا Error	
				32	37311.00	کل Total	
0.989	< 0.001*	581.35	139947.80	4	559791.22	مدل کلی Corrected Model	زمان پاسخ Response time (ms)
0.906	< 0.001*	261.64	62983.95	1	62983.95	گروه Group	
0.980	< 0.001*	1325.33	319044.71	1	319044.71	پیش‌آزمون Pre-test	
0.001	0.905	0.014	3.46	1	3.46	سن Age	
0.066	0.179	1.90	457.43	1	457.43	EDSS	
				27	6499.65	خطا Error	
				32	2701502.00	کل Total	



شکل ۲- مقایسه گروه‌ها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون ویسکانسین: الف) مقایسه گروه‌ها در خرده‌مقیاس خطای در جا ماندگی؛ ب)

مقایسه گروه‌ها در خرده‌مقیاس پاسخ صحیح؛ ج) مقایسه گروه‌ها در خرده‌مقیاس زمان پاسخ

Figure 2- Comparison of groups in the Wisconsin pre-test and post-test: A) Comparison of groups in the retention error subscale; B) Comparison of groups in the correct response subscale; C) Comparison of groups in the response time subscale

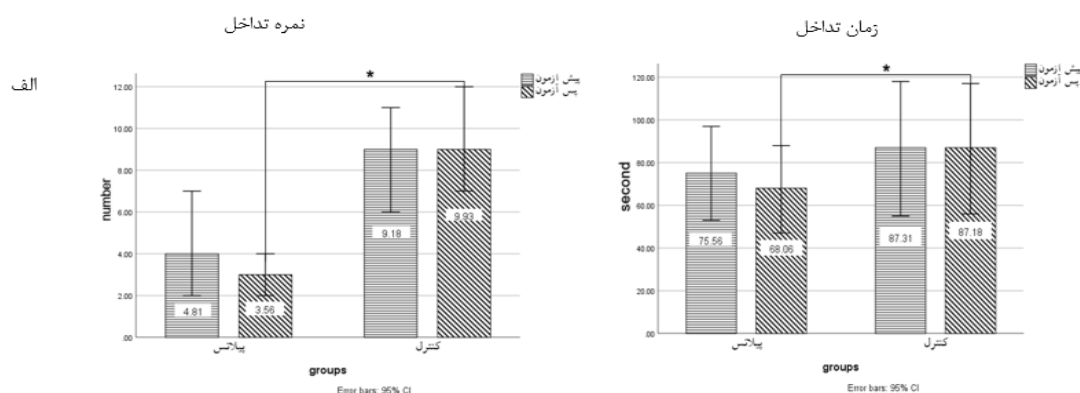
نتایج تحلیل کوواریانس (جدول ۵) در متغیر توجه انتخابی نشان داد که اختلاف معناداری بین گروه‌ها در آزمون استروپ (نمره تداخل و زمان تداخل) وجود داشت. همان‌طور که در شکل (۳-الف) مشاهده می‌شود، با توجه به معنادار شدن اثر گروه در آزمون کوواریانس، آزمون تعقیبی تعدیل‌شده بونفرونی به‌منظور یافتن تفاوت بین دو گروه اجرا شد. نتایج آزمون نشان داد که در پس‌آزمون نمره تداخل آزمون استروپ گروه پیلاتس ($3/56 \pm 2/39$) نسبت به گروه کنترل ($9/93 \pm 5/05$) کاهش معناداری در پس‌آزمون داشت ($\text{Sig.} = 0/005$). همچنین در ارتباط با زمان تداخل شکل (۳-ب) نشان می‌دهد که گروه پیلاتس کاهش معناداری در پس‌آزمون زمان تداخل استروپ ($68/06 \pm 38/62$) در مقایسه با گروه کنترل ($87/18 \pm 57/02$) داشت ($\text{Sig.} < 0/001$).

جدول ۵- نتایج آزمون تحلیل کوواریانس متغیر توجه انتخابی

Table 5- Results of the analysis of covariance for selective attention

استروپ Stroop test						مدل کلی Corrected	نمره تداخل
0.800	< 0.001*	27.07	158.88	4	635.51		

						Model	Interference score
0.261	0.005*	9.54	55.99	1	55.99	گروه Group	
0.621	< 0.001*	44.17	259.29	1	259.29	پیش‌آزمون Pre-test	
0.134	0.051	4.17	24.49	1	24.49	سن Age	
0.018	0.485	0.502	2.94	1	2.94	EDSS	
			5.87	27	158.59	خطا Error	
				32	2252.00	کل Total	
0.998	< 0.001*	3219.77	18479.13	4	73916.54	مدل کلی Corrected Model	زمان تداخل interference time (s)
0.735	< 0.001*	75.06	430.79	1	430.79	گروه Group	
0.998	< 0.001*	11380.69	65316.92	1	65316.92	پیش‌آزمون Pre-test	
0.017	0.506	0.454	2.60	1	2.60	سن Age	
0.007	0.663	0.195	1.12	1	1.12	EDSS	
			5.73	27	154.96	خطا Error	
				32	266892.00	کل Total	



شکل ۳- مقایسه گروه‌ها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون استروپ: الف) مقایسه گروه‌ها در خرده‌مقیاس نمره تداخل؛ ب) مقایسه گروه‌ها در خرده‌مقیاس زمان تداخل

Figure 3- Comparison of groups in the Stroop pre-test and post-test: A) Comparison of groups in the interference score subscale; B) Comparison of groups in the interference time subscale

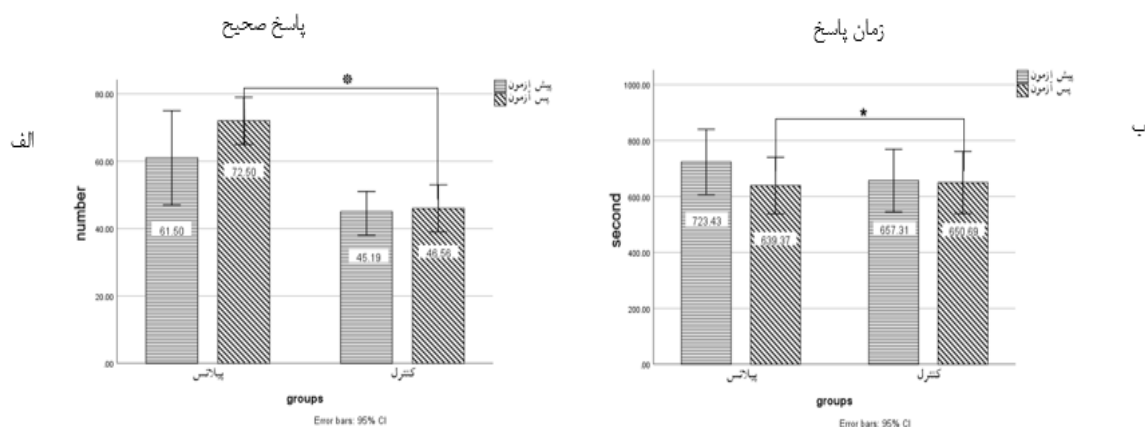
نتایج تحلیل کوواریانس (جدول ۶) در متغیر حافظه کاری نشان داد که اختلاف معناداری بین گروه‌ها در آزمون ان‌بک (تعداد پاسخ صحیح، زمان پاسخ) وجود داشت. همان طور که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود، با توجه به معنادار شدن اثر گروه در آزمون کوواریانس، آزمون تعقیبی تعدیل‌شده بونفرونی به منظور یافتن تفاوت بین دو گروه اجرا شد. نتایج آزمون نشان داد که در پس‌آزمون تعداد پاسخ صحیح ان‌بک، گروه پیلاتس ($72/50 \pm 13/90$) نسبت به گروه کنترل ($46/56 \pm 12/74$) افزایش معناداری در پس‌آزمون داشت ($\text{Sig.} < 0/001$). همچنین در زمان پاسخ، شکل (۴-ب) نشان می‌دهد که گروه پیلاتس کاهش معناداری در پس‌آزمون ($639/37 \pm 189/22$) در مقایسه با گروه کنترل ($650/69 \pm 207/80$) داشت ($\text{Sig.} < 0/001$).

جدول ۶- نتایج آزمون تحلیل کوواریانس متغیر حافظه کاری

Table 6- Results of the analysis of covariance for working memory

ان‌بک N-back test						
0.940	0.000*	106.11	2518.76	4	10075.04	مدل کلی Corrected Model
0.702	0.000*	63.67	1511.42	1	1511.42	گروه Group
0.875	0.000*	189.68	4502.65	1	4502.65	پیش‌آزمون Pre-test
0.001	0.893	0.018	0.438	1	0.438	سن Age
0.108	0.081	3.28	77.85	1	77.85	EDSS
			23.74	27	640.93	خطا Error
				32	124123.00	کل Total
0.993	0.000*	994.46	294453.12	4	1177812.47	مدل کلی Corrected Model
0.817	0.000*	120.89	35795.19	1	35795.19	گروه Group
0.993	0.000*	3972.82	1176321.43	1	1176321.43	پیش‌آزمون Pre-test
0.006	0.693	0.160	47.28	1	47.28	سن Age
0.064	0.184	1.86	549.83	1	549.83	EDSS
			296.09	27	7994.50	خطا Error

کل	14499897.00	32
Total		



شکل ۴- مقایسه گروه‌ها در پیش آزمون و پس آزمون ان‌بک: الف) مقایسه گروه‌ها در خرده‌مقیاس پاسخ صحیح؛ ب) مقایسه گروه‌ها در خرده‌مقیاس زمان پاسخ

Figure 4- Comparison of groups in the pre-test and post-test of the N-back: A) Comparison of groups in the correct response subscale; B) Comparison of groups in the response time subscale.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر هشت هفته تمرین پیلاتس بر سطح BDNF پلاسما، توجه، انعطاف‌پذیری شناختی و عملکرد اجرایی بیماران خانم ۳۰ تا ۵۰ سال مبتلا به ام‌اس بود. نتایج این مطالعه نشان داد که تمرین پیلاتس تأثیر معناداری بر سطح BDNF پلاسما، انعطاف‌پذیری شناختی (خطای درجاماندگی، تعداد پاسخ صحیح و زمان کل به جز تعداد طبقات)، توجه (نمره تداخل و زمان تداخل) و حافظه کاری (تعداد پاسخ صحیح و میانگین زمان پاسخ) داشت. در این میان، افزایش BDNF پلاسما به عنوان یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های عصبی-زیستی زیربنای بهبودهای شناختی مشاهده شده، نیازمند تفسیر دقیق‌تر در چارچوب شواهد پیشین است.

در این راستا نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمرینات پیلاتس سبب افزایش معنادار سطح پلاسمای BDNF در زنان مبتلا به ام‌اس شد. این یافته با مجموعه‌ای از مطالعات پیشین همخوانی دارد که اثر مثبت فعالیت‌های ورزشی هوازی و تمرینات ترکیبی بر افزایش بیان BDNF و بهبود عملکرد نوروها را گزارش کرده‌اند (بنی‌طالبی و همکاران، ۲۰۲۰؛ عباس‌پور و همکاران، ۲۰۲۰). با این وجود، وجه تمایز مطالعه حاضر نسبت به مطالعات پیشین با پروتکل‌های تمرین هوازی با شدت متوسط تا بالا، استفاده از تمرین‌های پیلاتس بود که ماهیت آن مداخله‌ای با شدت پایین تا متوسط است و تأکید آن نیز بر کنترل عضلات مرکزی، دقت در اجرای حرکت و تنفس آگاهانه است. نتیجه مطالعه حاضر نشان داد که این نوع مداخله نیز احتمالاً می‌تواند باعث افزایش معنادار سطح BDNF شود. این یافته نشان می‌دهد که ماهیت هدفمند و مبتنی بر کنترل عصبی-عضلانی نیز احتمالاً می‌تواند مکانیسم‌های نوروتروفیک را فعال کند و صرفاً شدت تمرین عامل

تعیین کننده افزایش BDNF نیست. مطالعات مروری نیز تأیید می کنند که مداخلات ورزشی با دامنه وسیعی از شدت و مدت مانند برنامه های مداخله ای هشت هفته ای، می تواند موجب افزایش BDNF شود (آندرئو-کاراوکا و همکاران، ۲۰۲۵؛ روئیز-گونزالز و همکاران، ۲۰۲۱) و اثربخشی پیلاتس نیز در این راستا توجیه شدنی است. از منظر مکانیسم های عصبی-زیستی، احتمالاً انقباض های مکرر و کنترل شده عضلانی در تمرین های پیلاتس، همانند دیگر فعالیت های ورزشی از طریق بیان ژن BDNF وابسته به کلسیم و مسیرهای پیام رسانی CREB و MAPK موجب افزایش سطح BDNF شده است (ونز و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین احتمالاً تمرینات پیلاتس با فعال سازی سیستم عصبی خودمختار و افزایش جریان خون مغزی ناشی از حرکت، بستر مناسبی برای ترشح فاکتورهای نوروتروفیک از جمله BDNF از نورون ها و سلول های اندوتلیال فراهم می کند. به علاوه ویژگی های منحصربه فرد تمرینات پیلاتس یعنی هماهنگی دقیق تنفس با حرکت، توجه متمرکز بر اجرای صحیح الگوهای حرکتی و بازخورد حسی-حرکتی مستمر احتمالاً می تواند از طریق مسیرهای قشر پیش پیشانی و مخچه، مسیرهای دوپامینرژیک و سروتونرژیک را تعدیل کند و به طور غیرمستقیم سطوح BDNF را افزایش دهد (روئیز-گونزالز و همکاران، ۲۰۲۱). به نظر می رسد، تمرینات پیلاتس به عنوان فعالیت ورزشی ملایم اما مداوم، می تواند مکانیسم های عصبی زیستی مرتبط با افزایش شاخص های نوروتروفیک را فعال کند. توجه به این نکته حائز اهمیت است که افزایش BDNF صرفاً پیامد مجزای فیزیولوژیک نیست، بلکه می تواند بستر عصبی لازم برای بهبود سایر کارکردهای شناختی از جمله انعطاف پذیری شناختی، توجه و حافظه کاری را نیز فراهم آورد؛ چراکه BDNF از طریق تقویت پلاستیسیته سیناپسی و تسهیل نورونز در نواحی پیش پیشانی و هیپوکامپ، نقش کلیدی در این عملکردهای شناختی ایفا می کند. در ادامه هر کدام به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمرینات پیلاتس در زنان مبتلا به ام اس، موجب بهبود معنادار برخی شاخص های انعطاف پذیری شناختی شامل کاهش خطای درجاماندگی، افزایش تعداد پاسخ های صحیح و کاهش زمان کل آزمون ویسکانسین شد. این یافته با پژوهشی هم راستا است که تأثیر مثبت تمرینات پیلاتس بر کارکردهای شناختی از جمله انعطاف پذیری شناختی در سالمندان مبتلا به اختلال شناختی خفیف گزارش کرده است (گوارینو و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعه حاضر نیز این اثر را در جمعیت زنان مبتلا به ام اس نشان داد که در نتیجه می تواند به گسترش شواهد موجود کمک کند. شواهد روزافزونی از مطالعات تصویربرداری عصبی نشان داده اند که فعالیت بدنی منظم از طریق بهبود عملکرد قشر پیش پیشانی، به ویژه شکنج پیشانی میانی و تحتانی و تقویت فرایندهای اجرایی وابسته به مدارهای پیشانی-آهیانه موجب ارتقای انعطاف پذیری شناختی می شود (اریکسون و همکاران، ۲۰۱۵؛ استیلین و همکاران، ۲۰۱۶). نکته قابل تأمل آن است که در این مطالعات، اغلب از تمرینات هوازی با شدت متوسط تا بالا استفاده شده است؛ در حالی که پیلاتس به عنوان مداخله ای با شدت پایین تر اما با بار شناختی بالا، در حین اجرا شامل تمرکز، کنترل حرکات، هماهنگی و تنظیم مداوم وضعیت بدن، توانسته است نتایج مشابهی ایجاد کند. این امر نشان می دهد که چالش های شناختی نهفته در خود تمرین و نه صرفاً شدت متابولیک آن می توانند محرک اصلی انعطاف پذیری شناختی باشند. از منظر مکانیسم های احتمالی تأثیر پیلاتس بر انعطاف پذیری شناختی می توان به این نکته اشاره کرد که تمرین های پیلاتس به دلیل نیاز به کنترل وضعیت بدنی، هماهنگی چندعضوی و تغییر مداوم الگوهای حرکتی، باعث افزایش فعالیت شبکه عصبی قشر پیشانی-آهیانه ای و

همچنین مخچه می‌شود که نقش زیادی در انعطاف‌پذیری شناختی دارند (ولکر-ریهگ و نیمن، ۲۰۱۳)؛ به عبارت دیگر، احتمالاً بازداری از یک حرکت نادرست و انتخاب آگاهانه الگوی حرکتی صحیح در پیلاتس، هم‌ارز شناختی بازداری از یک پاسخ ذهنی غالب و تغییر به یک طبقه‌بندی جدید در آزمون ویسکانسین محسوب می‌شود و هر دو به یکپارچگی قشر پیش‌پیشانی وابسته هستند. همچنین پیلاتس با تأکید بر تنفس آگاهانه و کاهش تنش عضلانی، احتمالاً می‌تواند از طریق کاهش سطح کورتیزول و تعدیل سیستم عصبی خودمختار، بستر فیزیولوژیک مطلوبی برای عملکرد شناختی فراهم کند (گوارینو و همکاران، ۲۰۲۰)؛ با این حال، در مطالعه حاضر تغییر معناداری در تعداد طبقات آزمون ویسکانسین مشاهده نشد. این تفاوت ممکن است نشان دهد که برخی مؤلفه‌های پیچیده‌تر انعطاف‌پذیری شناختی به زمان مداخله طولانی‌تر یا برنامه‌های تمرینی ترکیبی نیاز دارند. یافته‌های مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که اثر ورزش بر مؤلفه‌های شناختی می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند مدت و شدت تمرین، ویژگی‌های شرکت‌کنندگان، سطح ناتوانی و ابزارهای ارزیابی شناختی قرار گیرد (بانگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ ریکر و همکاران، ۲۰۲۲).

یکی دیگر از یافته‌های مطالعه حاضر، تأثیر معنادار تمرین پیلاتس بر توجه انتخابی در بیماران خانم مبتلا به ام‌اس بود. این یافته با مطالعاتی که اثر مثبت فعالیت بدنی بر بهبود فرایندهای توجهی را به طور خاص در بیماران مبتلا به ام‌اس گزارش کرده‌اند، همسوست (بریکن و همکاران، ۲۰۱۴؛ بری و همکاران، ۲۰۱۸)؛ با این وجود، وجه تمایز مطالعه حاضر نسبت به مطالعات گذشته، استفاده از تمرین پیلاتس به عنوان یک روش تمرینی با شدت تمرینی پایین تا متوسط در مقایسه با پروتکل‌های تمرین هوازی با شدت متوسط تا بالا است که نتایج مطالعه حاضر نشان داد این نوع مداخله هم می‌تواند در توجه انتخابی بیماران مبتلا به ام‌اس تغییر درخورتوجهی ایجاد کند. از منظر مکانیسم‌های عصبی-شناختی، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فعالیت بدنی منظم از طریق افزایش سطح انتقال‌دهنده‌های عصبی، به‌ویژه دوپامین و نوراپی‌نفرین، باعث بهبود برانگیختگی قشر مغز و تسهیل فرایندهای توجهی می‌شود. این اثر از طریق فعال‌سازی هسته لوکوس سروتونوس و مسیرهای مزوکورتیکال دوپامینرژیک صورت می‌گیرد که هر دو نقش کلیدی در گزینش محرک‌های هدف در حضور محرک‌های مزاحم ایفا می‌کنند (مک‌موریس و هیل، ۲۰۱۲؛ لین و کوئو، ۲۰۱۳). همچنین پیلاتس با تأکید ویژه بر تمرکز مطلق بر لحظه حال و اجرای دقیق الگوهای حرکتی تحت کنترل آگاهانه، در حقیقت نوعی تمرین توجهی محسوب می‌شود (کادول و همکاران، ۲۰۱۰). ویژگی منحصر به فرد تمرین پیلاتس احتمالاً باعث می‌شود که بیمار نه تنها از نظر بدنی فعال باشد، بلکه به طور مستمر شبکه توجه پیشانی-آهیانه ای خود را نیز درگیر کند و توانایی خود را در نادیده گرفتن محرک‌های نامربوط تقویت کند. علاوه بر این، همان طور که ذکر شد، افزایش BDNF ناشی از فعالیت بدنی احتمالاً می‌تواند از طریق تقویت پلاستیسیته سیناپسی و ارتباطات عصبی، یکی از مکانیسم‌های احتمالی بهبود عملکرد شناختی باشد (سفیس و همکاران، ۲۰۲۳)؛ با این حال، میزان تأثیر تمرینات ورزشی بر توجه ممکن است تحت تأثیر عواملی مانند نوع و شدت تمرین، وضعیت شناختی اولیه شرکت‌کنندگان و میزان خستگی بیماران قرار گیرد؛ به طوری که برخی مطالعات اثرات متفاوتی را در مؤلفه‌های مختلف توجه گزارش کرده‌اند (موتل و پیلوتی، ۲۰۱۲). با توجه به اینکه اختلال در توجه از مشکلات شناختی شایع در بیماران مبتلا به ام‌اس است و می‌تواند بر فعالیت‌های روزمره و کیفیت زندگی آنان تأثیر بگذارد (کیاراولوتی و دلوکا، ۲۰۰۸)، بهبود این مؤلفه پس از تمرین پیلاتس می‌تواند اهمیت بالینی داشته باشد.

نتیجه دیگر این مطالعه نشان داد که تمرینات پیلاتس موجب بهبود معنادار حافظه کاری در بیماران مبتلا به اماس، شامل افزایش تعداد پاسخ‌های صحیح و کاهش میانگین زمان پاسخ شد. این یافته با مطالعاتی که تأثیر مثبت فعالیت‌های ورزشی، به‌ویژه تمرینات هوازی و ذهن-جسم، بر عملکرد حافظه کاری در جمعیت‌های مختلف بالینی و سالم را گزارش کرده‌اند، همسوست (کیاراولوتی و دلوکا، ۲۰۰۸؛ سندروف و همکاران، ۲۰۱۶)؛ با این حال، نکته قابل تأمل آن است که بیشتر شواهد موجود مربوط به تمرینات هوازی با شدت متوسط تا بالا هستند؛ در حالی که مطالعه حاضر از پیلاتس که مداخله‌ای با شدت پایین‌تر اما با ماهیت شناختی-حرکتی است، استفاده شد که نتایج نشان داد این نوع مداخله توانسته است بهبود قابل‌مقایسه‌ای با سایر مداخله‌های ورزشی ایجاد کند. این یافته از منظر بالینی نیز حائز اهمیت است؛ زیرا حافظه کاری به‌عنوان یکی از آسیب‌پذیرترین کارکردهای شناختی در بیماران مبتلا به اماس شناخته می‌شود که تأثیر مستقیمی بر توانایی بیماران در انجام فعالیت‌های روزمره، پیروی از دستورات درمانی و حفظ استقلال عملکردی دارد و بهبود آن حتی در حد متوسط نیز می‌تواند پیامدهای بالینی معناداری به همراه داشته باشد (کیاراولوتی و دلوکا، ۲۰۰۸). از منظر مکانیسم‌های عصب‌شناختی، مهم‌ترین مکانیسم بهبود حافظه کاری احتمالاً می‌تواند افزایش سطح BDNF ناشی از انقباض‌های مکرر و کنترل‌شده عضلانی باشد. BDNF از طریق اتصال به گیرنده TrkB و فعال‌سازی مسیرهای پیام‌رسانی درون‌سلولی مانند MAPK و PI3K، باعث تقویت پلاستیسیته سیناپسی وابسته به فعالیت، افزایش بقای نورون‌ها و تسهیل فرایندهای تقویت طولانی‌مدت در هیپوکامپ و قشر پیش‌پیشانی می‌شود. این‌ها فرایندهای زیربنای عصبی یادگیری و حافظه محسوب می‌شوند (گوته و همکاران، ۲۰۱۴). از طرف دیگر، هر جلسه تمرین پیلاتس نیاز به حفظ توالی حرکات، به‌خاطر سپردن الگوهای چندمرحله‌ای و جا به جایی بین وضعیت‌های مختلف بدنی دارد که مستلزم درگیری حافظه کاری است. این فرایند احتمالاً باعث افزایش فعالیت مدارهای پیشانی-هیپوکامپی می‌شوند که زیربنای حافظه کاری هستند (موریارتی و همکاران، ۲۰۱۹)؛ با این حال، برخی مطالعات با نمونه‌های کوچک یا طراحی‌های متفاوت اثرات ضعیف یا نامشهودی بر حافظه کاری گزارش کرده‌اند (اتنیر و چنگ، ۲۰۰۹). گاهی نیز به دلیل تفاوت در آزمون‌های حافظه کاری یا شرایط آزمایشی (مثلاً آزمون‌های کامپیوتری در مقابل آزمون‌های کاغذی) نتایج قابل‌قیاس نیستند.

پیام مقاله

پژوهش حاضر نشان داد که هشت هفته تمرینات پیلاتس می‌تواند بهبودی در خورتوجهی را در سطح BDNF پلاسما و عملکردهای شناختی شامل حافظه کاری، توجه انتخابی و انعطاف‌پذیری شناختی در زنان مبتلا به اماس ایجاد کند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که حتی یک مداخله با شدت پایین تا متوسط و مبتنی بر کنترل عصبی-عضلانی و نه صرفاً تمرینات هوازی پرفشار، احتمالاً قادر به فعال‌سازی مسیرهای نوروتروفیک و ارتقای کارکردهای اجرایی در این جمعیت بالینی است. دلیل اهمیت این یافته آن است که بسیاری از بیماران مبتلا به اماس به دلیل خستگی مزمن، تحمل نکردن تمرینات پرفشار و محدودیت‌های حرکتی، قادر به پیروی از پروتکل‌های هوازی سنتی نیستند و پیلاتس می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مؤثر، ایمن و پایدار برای این گروه عمل کند. تلفیق دو ویژگی بارز پیلاتس یعنی بار شناختی بالا (نیاز به تمرکز،

توالی‌یابی و کنترل آگاهانه حرکت) در کنار بار متابولیک پایین تا متوسط، آن را به گزینه‌ای منحصربه‌فرد برای توان‌بخشی شناختی در بیماران مبتلا به ام‌اس تبدیل می‌کند.

تفسیر یافته‌های این مطالعه باید در چارچوب محدودیت‌های آن صورت گیرد. اندازه نمونه محدود و انتخاب صرف زنان ۳۰ تا ۵۰ سال، تعمیم‌پذیری نتایج را به جمعیت مردان، سایر گروه‌های سنی و بیماران با سطوح ناتوانی بالاتر محدود می‌کند. همچنین مدت هشت‌هفته‌ای مداخله نسبتاً کوتاه است و مشخص نیست که آیا اثرات مشاهده‌شده در دوره‌های طولانی‌تر پایدار می‌ماند، تشدید می‌شود یا به اثر سقف می‌رسد. علاوه بر این، فقدان گروه‌های مقایسه فعال (مانند تمرین هوازی یا مقاومتی) امکان قضاوت درمورد برتری نسبی پیلاتس نسبت به سایر انواع تمرین را فراهم نمی‌کند. نکته دیگر آنکه در مطالعه حاضر تنها یک شاخص نوروتروفیک شامل سطح BDNF پلاسما اندازه‌گیری شد و ارزیابی تغییرات در سایر نوروتروفین‌ها و واسطه‌های التهابی می‌توانست تصویر کامل‌تری از مکانیسم‌های زیربنایی ارائه دهد. با توجه به این محدودیت‌ها، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده نمونه‌های بزرگ‌تر و متنوع‌تری از بیماران (شامل هر دو جنس، دامنه سنی وسیع‌تر و سطوح مختلف ناتوانی) بررسی شوند و دوره‌های مداخله طولانی‌تر (۱۲ تا ۲۴ هفته) با امکان پیگیری پس از قطع تمرین به کار گرفته شود. همچنین مقایسه مستقیم پیلاتس با سایر انواع تمرین (هوازی، مقاومتی و ترکیبی) در قالب کارآزمایی‌های تصادفی کنترل‌شده با گروه‌های فعال، می‌تواند به روشن‌سازی اثرات اختصاصی هر نوع تمرین بر مؤلفه‌های مختلف شناختی کمک کند. این طرح‌های مقایسه‌ای به‌ویژه برای مؤلفه‌هایی که در مطالعه حاضر تغییر معنادار نبودند مانند تعداد طبقات آزمون ویسکانسین به‌عنوان شاخصی از انعطاف‌پذیری شناختی سطح بالاتر، ضروری است. علاوه بر این، اندازه‌گیری‌های طولی BDNF و سایر فاکتورهای نوروتروفیک مانند NGF، GDNF و IGF-1 همراه با نشانگرهای التهابی و تصویربرداری عصبی عملکردی، می‌تواند دیدگاه جامع‌تری از سازوکارهای عصبی ایجاد کند.

ملاحظات اخلاقی

مجوز اخلاقی این پژوهش از کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه دانشگاه بوعلی سینا اخذ شد (کد مصوبه: IR.BASU.REC.1403.040).

مشارکت نویسندگان

ایده‌پردازی: سیده منیژه عربی، فرزاد ناظم و گلی منوچهری

جمع‌آوری داده‌ها: گلی منوچهری

تحلیل داده‌ها: سیده منیژه عربی و گلی منوچهری

نوشتن مقاله: سیده منیژه عربی و فرزاد ناظم

بازبینی و ویرایش: سیده منیژه عربی، فرزاد ناظم و گلی منوچهری

مرور ادبیات: سیده منیژه عربی و گلی منوچهری

مدیر پروژه: سیده منیژه عربی

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تعارض منافی در ارتباط با این پژوهش ندارند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان صمیمانه از همه شرکت کنندگان به دلیل وقت ارزشمند و همکاری‌شان در این مطالعه تشکر می‌کنند.

منابع

- Abasiyanik, Z., Ertekin, O., Kahraman, T., Yigit, P., & Ozakbas, S. (2020). The effects of clinical Pilates training on walking, balance, fall risk, respiratory, and cognitive functions in persons with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Explore (NY)*, 16(1), 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2019.07.010>
- Abasiyanik, Z., Yiğit, P., Özdoğan, A. T., Kahraman, T., Ertekin, Ö., & Özakbaş, S. (2021). A comparative study of the effects of yoga and clinical Pilates training on walking, cognition, respiratory functions, and quality of life in persons with multiple sclerosis: a quasi-experimental study. *Explore*, 17(5), 424–429. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2020.07.013>
- Abbaspoor, E., Zolfaghari, M., Ahmadi, B., & Khodaei, K. (2020). The effect of combined functional training on BDNF, IGF-1, and their association with health-related fitness in the multiple sclerosis women. *Growth Hormone & IGF Research*, 52, 101320. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2020.101320>
- Andreu-Caravaca, L., Ramos-Campo, D. J., Moncada-Jiménez, J., Abellán-Aynés, O., & Rubio-Arias, J. Á. (2025). Immediate and short-term effect of physical exercise on BDNF in multiple sclerosis patients: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 15(1), 19696. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04675-0>
- Banitalebi, E., Ghahfarrokhi, M. M., Negaresh, R., Kazemi, A., Faramarzi, M., Motl, R. W., & Zimmer, P. (2020). Exercise improves neurotrophins in multiple sclerosis independent of disability status. *Mult Scler Relat Disord*, 43, 102143. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2020.102143>
- Barry, A., Cronin, O., Ryan, A. M., Sweeney, B., O'Toole, O., Allen, A. P., Clarke, G., O'Halloran, K. D., & Downer, E. J. (2018). Impact of short-term cycle ergometer training on quality of life, cognition and depressive symptomatology in multiple sclerosis patients: a pilot study. *Neurol Sci*, 39(3), 461–469. <https://doi.org/10.1007/s10072-017-3230-0>
- Benedict, R. H., Amato, M. P., DeLuca, J., & Geurts, J. J. (2020). Cognitive impairment in multiple sclerosis: clinical management, MRI, and therapeutic avenues. *The Lancet Neurology*, 19(10), 860–871. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(20\)30277-5](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(20)30277-5)
- Briken, S., Gold, S., Patra, S., Vettorazzi, E., Harbs, D., Tallner, A., Ketels, G., Schulz, K., & Heesen, C. (2014). Effects of exercise on fitness and cognition in progressive MS: a randomized, controlled pilot trial. *Multiple Sclerosis Journal*, 20(3), 382–390. <https://doi.org/10.1177/1352458513507358>
- Caldwell, K., Harrison, M., Adams, M., Quin, R. H., & Greeson, J. (2010). Developing mindfulness in college students through movement-based courses: effects on self-regulatory self-efficacy, mood, stress, and sleep quality. *Journal of American College Health*, 58(5), 43. <https://doi.org/10.1080/07448480903540481>
- Cefis, M., Chaney, R., Wirtz, J., Méloux, A., Quirié, A., Leger, C., Prigent-Tessier, A., & Garnier, P. (2023). Molecular mechanisms underlying physical exercise-induced brain BDNF overproduction. *Front Mol Neurosci*, 16, 1275924. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2023.1275924>
- Chiaravalloti, N. D., & DeLuca, J. (2008). Cognitive impairment in multiple sclerosis. *Lancet Neurol*, 7(12), 1139–1151. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(08\)70259-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70259-X)
- Davidson, P. S., Gao, F. Q., Mason, W. P., Winocur, G., & Anderson, N. D. (2008). Verbal fluency, Trail Making, and Wisconsin Card Sorting Test performance following right frontal lobe tumor resection. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 30(1), 18–32. <https://doi.org/10.1080/13803390601161166>
- DeLuca, J., Chiaravalloti, N. D., & Sandroff, B. M. (2020). Treatment and management of cognitive dysfunction in patients with multiple sclerosis. *Nature Reviews Neurology*, 16(6), 319–332. <https://doi.org/10.1038/s41582-020-0355-1>

- Devasahayam, A. J., Kelly, L. P., Williams, J. B., Moore, C. S., & Ploughman, M. (2021). Fitness shifts the balance of BDNF and IL-6 from inflammation to repair among people with progressive multiple sclerosis. *Biomolecules*, 11(4), 504. <https://doi.org/10.3390/biom11040504>
- Dinoff, A., Herrmann, N., Swardfager, W., & Lancot, K. L. (2017). The effect of acute exercise on blood concentrations of brain-derived neurotrophic factor in healthy adults: a meta-analysis. *Eur J Neurosci*, 46(1), 1635–1646. <https://doi.org/10.1111/ejn.13603>
- Erickson, K. I., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2015). Physical activity, brain, and cognition. *Current opinion in behavioral sciences*, 4, 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2015.01.005>
- Etnier, J. L., & Chang, Y.-K. (2009). The effect of physical activity on executive function: a brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31(4), 469–483. <https://doi.org/10.1123/jsep.31.4.469>
- Fanara, S., Aprile, M., Iacono, S., Schiro, G., Bianchi, A., Brighina, F., Dominguez, L. J., Ragonese, P., & Salemi, G. (2021). The Role of Nutritional Lifestyle and Physical Activity in Multiple Sclerosis Pathogenesis and Management: A Narrative Review. *Nutrients*, 13(11), 3774. <https://doi.org/10.3390/nu13113774>
- Gorfein, D. S., & Brown, V. R. (2007). Saying no to inhibition: The encoding and use of words. <https://doi.org/10.1037/11587-006>
- Gothe, N. P., Kramer, A. F., & McAuley, E. (2014). The effects of an 8-week Hatha yoga intervention on executive function in older adults. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 69(9), 1109–1116. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu095>
- Guarino, A., Forte, G., Giovannoli, J., & Casagrande, M. (2020). Executive functions in the elderly with mild cognitive impairment: A systematic review on motor and cognitive inhibition, conflict control and cognitive flexibility. *Aging & Mental Health*, 24(7), 1028–1045. <https://doi.org/10.1080/13607863.2019.1584785>
- Hepdarcı, I., & Can, S. (2025). Psychometric characteristics of the n-back task: Construct validity across age and stimulus type, internal consistency, test-retest and alternate forms reliability. *Current Psychology*, 44(3), 2050–2059. <https://doi.org/10.1007/s12144-025-07318-9>
- Kopp, B., Lange, F., & Steinke, A. (2021). The reliability of the Wisconsin card sorting test in clinical practice. *Assessment*, 28(1), 248–263.
- Lin, T.-W., & Kuo, Y.-M. (2013). Exercise benefits brain function: the monoamine connection. *Brain sciences*, 3(1), 39–53. <https://doi.org/10.3390/brainsci3010039>
- McMorris, T., & Hale, B. J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: a meta-analytical investigation. *Brain and cognition*, 80(3), 338–351. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.09.001>
- Moriarty, T. A., Mermier, C., Kravitz, L., Gibson, A., Beltz, N., & Zuhl, M. (2019). Acute aerobic exercise based cognitive and motor priming: practical applications and mechanisms. *Frontiers in Psychology*, 10, 2790. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02790>
- Motl, R. W., & Pilutti, L. A. (2012). The benefits of exercise training in multiple sclerosis. *Nat Rev Neurol*, 8(9), 487–497. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2012.136>
- Nociti, V. (2020). What is the role of Brain derived neurotrophic factor in Multiple Sclerosis neuroinflammation. *Neuroimmunol. Neuroinflammation*, 7(3), 291–299. <https://doi.org/10.20517/2347-8659.2020.25>
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 26, 1–12. <https://doi.org/10.1002/hbm.20131>
- Ozakbas, S., Yigit, P., Cinar, B. P., Limoncu, H., Kahraman, T., & Kösehasanoğulları, G. (2017). The Turkish validation of the brief international cognitive assessment for multiple sclerosis (BICAMS) battery. *BMC Neurology*, 17(1), 208. <https://doi.org/10.1186/s12883-017-0993-0>
- Ozkul, C., Guclu-Gunduz, A., Eldemir, K., Apaydin, Y., Yazici, G., & Irkeç, C. (2020). Combined exercise training improves cognitive functions in multiple sclerosis patients with cognitive impairment: A

- single-blinded randomized controlled trial. *Mult Scler Relat Disord*, 45, 102419. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2020.102419>
- Patanella, A. K., Zinno, M., Quaranta, D., Nociti, V., Frisullo, G., Gainotti, G., Tonali, P. A., Batocchi, A. P., & Marra, C. (2010). Correlations between peripheral blood mononuclear cell production of BDNF, TNF-alpha, IL-6, IL-10 and cognitive performances in multiple sclerosis patients. *J Neurosci Res*, 88(5), 1106–1112. <https://doi.org/10.1002/jnr.22276>
- PJ, D. (2019). Aquatic exercise with Swedish massage increases neurotrophic factors and decreases interleukin-6 (IL-6) in relapsing remitting multiple sclerosis. *Biology of Exercise*, 15(1). <https://doi.org/10.4127/jbe.2019.0155>
- Ribner, A. D., Willoughby, M. T., Blair, C. B., & Investigators, F. L. P. K. (2017). Executive function buffers the association between early math and later academic skills. *Frontiers in Psychology*, 8, 869. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00869>
- Rieker, J. A., Reales, J. M., Muiños, M., & Ballesteros, S. (2022). The effects of combined cognitive-physical interventions on cognitive functioning in healthy older adults: a systematic review and multilevel meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 838968. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.838968>
- Rodríguez Murúa, S., Farez, M. F., & Quintana, F. J. (2022). The immune response in multiple sclerosis. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, 17(1), 121–139. <https://doi.org/10.1146/annurev-pathol-052920-040318>
- Ruiz-Gonzalez, D., Hernandez-Martinez, A., Valenzuela, P. L., Morales, J. S., & Soriano-Maldonado, A. (2021). Effects of physical exercise on plasma brain-derived neurotrophic factor in neurodegenerative disorders: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Neurosci Biobehav Rev*, 128, 394–405. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.05.025>
- Sánchez-Lastra, M. A., Martínez-Aldao, D., Molina, A. J., & Ayán, C. (2019). Pilates for people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 28, 199–212. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2019.01.006>
- Sandroff, B. M., Motl, R. W., Reed, W. R., Barbey, A. K., Benedict, R. H. B., & DeLuca, J. (2018). Integrative CNS Plasticity With Exercise in MS: The PRIMERS (PRocessing, Integration of Multisensory Exercise-Related Stimuli) Conceptual Framework. *Neurorehabil Neural Repair*, 32(10), 847–862. <https://doi.org/10.1177/1545968318798938>
- Sandroff, B. M., Motl, R. W., Scudder, M. R & ,DeLuca, J. (2016). Systematic, evidence-based review of exercise, physical activity, and physical fitness effects on cognition in persons with multiple sclerosis. *Neuropsychology Review*, 26(3), 271–294. <https://doi.org/10.1007/s11065-016-9324-2>
- Stillman, C. M., Cohen, J., Lehman, M. E., & Erickson, K. I. (2016). Mediators of physical activity on neurocognitive function: a review at multiple levels of analysis. *Frontiers in human Neuroscience*, 10, 626. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00626>
- Voelcker-Rehage, C., & Niemann, C. (2013). Structural and functional brain changes related to different types of physical activity across the life span. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(9), 2268–2295. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.01.028>
- Walton, C., King, R., Rechtman, L., Kaye, W., Leray, E., Marrie, R. A., Robertson, N., La Rocca, N., Uitdehaag, B., & van Der Mei, I. (2020). Rising prevalence of multiple sclerosis worldwide: Insights from the Atlas of MS. *Multiple Sclerosis Journal*, 26(14), 1816–1821. <https://doi.org/10.1177/1352458520970841>
- Wang, Y., Liu, H., Zhang, B.-S., Soares, J. C., & Zhang, X. Y. (2016). Low BDNF is associated with cognitive impairments in patients with Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 29, 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2016.05.023>
- Wens, I., Keytsman, C., Deckx, N., Cools, N., Dalgas, U., & Eijnde, B. O. (2016). Brain derived neurotrophic factor in multiple sclerosis: effect of 24 weeks endurance and resistance training. *European Journal of Neurology*, 23(6), 1028–1035. <https://doi.org/10.1111/ene.12976>

Young, J., Angevaren, M., Rusted, J., & Tabet, N. (2015). Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. Cochrane Database of Systematic Review, (4). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005381.pub4>