



The Role of Physical Exercise in Neuromuscular Performance in Elderly Individuals with Multiple Sclerosis: A Literature Review and Research Directions

Amir Hossein Saffar Kohneh Quchan^{1✉} , Golrokh Mohammadi² , Mohammad Reza Kordi³

1. **Corresponding Author**, Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: amirsaffar@ut.ac.ir
2. Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: golrokhmohammadi@ut.ac.ir
3. Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mrkordi@ut.ac.ir

Received: 28 June 2025 ; **Received:** 11 August 2025 ; **Accepted:** 29 August 2025

ABSTRACT

Multiple Sclerosis (MS) is an autoimmune disease of the central nervous system. It is typically diagnosed between the ages of 20 and 50. Data on the natural course of MS indicate that the population of elderly individuals living with the disease is increasing, with approximately 30% of people with MS now classified as older adults. Neuromuscular performance in elderly individuals with MS is significantly compromised due to the combined effects of disease progression, age-related musculoskeletal decline, and physical inactivity. Exercise training, particularly when appropriately tailored and supervised, is a powerful non-pharmacological intervention to mitigate these impairments. Taken together, the available evidence strongly supports incorporating aerobic, resistance, and especially combined exercise regimens into comprehensive rehabilitation strategies for elderly individuals with MS. Future research should focus on refining the intensity, frequency, and progression of such programs, as well as exploring their long-term effects on functional outcomes, cognitive health, and disease progression in this expanding demographic.

Keywords: *Aerobic Exercise, Combined Exercise, Resistance Training, Elderly*

Cite this article: Quchan, A. H. S. K, Mohammadi, G, Kordi, M. R. (2025). The Role of Physical Exercise in Neuromuscular Performance in Elderly Individuals with Multiple Sclerosis: A Literature Review and Research Directions. *Journal of Healthy ageing and exercise*, 1 (2), 1-12. DOI: [10.22059/jhae.2025.399656.1009](https://doi.org/10.22059/jhae.2025.399656.1009)

Copyright © 2025: Journal of Healthy Ageing and Exercise. This open-access article is available under the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) International License, which allows for the copying and redistribution of the material only for noncommercial purposes, provided that the original work is properly cited.

Publisher: University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Multiple Sclerosis (MS) is a chronic autoimmune disease of the central nervous system, typically diagnosed between the ages of 20 and 50. However, demographic and clinical trends reveal a rising prevalence of older adults living with MS, with estimates suggesting that approximately 30% of people with MS are now over the age of 60. In this aging population, neuromuscular function is substantially compromised due to a synergistic effect of disease progression, age-related musculoskeletal decline, and reduced physical activity. Consequently, exercise-based interventions have gained attention as non-pharmacological strategies to mitigate these deficits and promote functional independence.

Objective

This review summarizes the effects and underlying mechanisms of aerobic, resistance, and combined training on neuromuscular function in older adults with MS. It further highlights current gaps in the literature and outlines directions for future research and clinical implementation.

Key Mechanisms and Findings

Resistance training has emerged as a core modality in neurorehabilitation for aging individuals with MS. Beyond improvements in muscle strength, it enhances neuromuscular coordination, balance, and reduces fatigue. From a neurobiological standpoint, resistance training may stimulate dopaminergic, serotonergic, and noradrenergic systems, thereby contributing to mood regulation and cognitive function. Additionally, it promotes neuroplasticity and neurogenesis in brain areas such as the hippocampus and motor cortex. Myokine release (e.g., IL-6, BDNF, irisin) from skeletal muscle during resistance exercise facilitates muscle-brain crosstalk and may modulate MS-related neuroinflammation. Furthermore, anabolic hormone responses (e.g., testosterone, GH, IGF-1) support muscular and neural tissue repair.

Optimal resistance training for this population includes 2–3 sessions per week on non-consecutive days, starting with low to moderate intensity (40–60% 1RM) and progressing up to 60–80% 1RM, 1–3 sets of 8–12 repetitions per major muscle group.

Aerobic training, meanwhile, offers both peripheral and central benefits. Physiologically, it improves cardiovascular fitness and muscular endurance. Neurologically, aerobic exercise has been shown to elevate levels of neurotransmitters, enhance brain connectivity (particularly interhemispheric and

attentional networks), and increase cerebral blood flow. These adaptations are thought to underlie observed improvements in motor function, cognitive performance, and emotional well-being. Functional brain imaging supports these effects, showing increased connectivity in regions related to attention, memory, and motor control after aerobic exercise interventions. Effective aerobic regimens typically involve 20–40 minutes of moderate-intensity activity (40–60% HRR or Borg scale 11–13) such as walking, cycling, or aquatic exercise, performed 2–3 times per week.

Combined training, integrating both aerobic and resistance modalities, is increasingly recognized for its multifaceted impact. This approach targets both central and peripheral limitations caused by MS and aging. Aerobic components facilitate cardiovascular and neuroplastic improvements, while resistance components strengthen muscular function and postural control. When prescribed correctly, combined training is feasible and safe in older adults with MS. Recommended protocols include 15–30 minutes of moderate aerobic activity alongside 1–3 sets of resistance exercises targeting major muscle groups, 2–3 times per week. Program individualization, professional supervision, and gradual progression are critical for accommodating disease heterogeneity, fatigue levels, and physical limitations.

Gaps and Research Directions

Despite promising evidence, several critical gaps remain. Firstly, most exercise studies in MS have focused on younger adults, with limited data available specifically for older populations. Secondly, optimal exercise dosage (frequency, intensity, duration) and long-term effects, particularly of combined training protocols, remain unclear. Third, neurobiological mechanisms—especially those related to systemic inflammation, myokine signaling, and neuroplasticity—are underexplored in this subgroup. Moreover, adherence and sustainability of exercise interventions in older adults with MS are poorly studied, despite being key to long-term functional outcomes.

Future research should prioritize randomized controlled trials in aging MS populations, investigate individualized and home-based exercise protocols, and include biomarkers to elucidate underlying mechanisms. Longitudinal studies examining functional independence, fall risk reduction, and quality of life are also warranted.

Conclusion

Aerobic, resistance, and combined exercise interventions offer substantial benefits for neuromuscular function in older adults with MS through a range of physiological and neurobiological mechanisms. While current evidence

supports their implementation as part of comprehensive rehabilitation strategies, more targeted research is required to refine prescriptions and enhance clinical translation. Developing safe, scalable, and tailored exercise programs could play a pivotal role in preserving autonomy and quality of life in this growing clinical population)

Footnotes

Funding: This study received no funding from public, commercial, or non-profit Organizations.

Authors' contribution: All authors contributed to the design, implementation, and writing of all parts of the present study.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict.

Acknowledgments: We thank all the researchers who contributed to the writing of this article.

نقش فعالیت ورزشی بر عملکرد عصبی-عضلانی در سالمندان مبتلا به مالتیپل اسکلروزیس: مرور پیشینه و جهت گیری های پژوهشی

امیرحسین صفار کهنه قوچان^۱ , گلرخ محمدی^۲ , محمدرضا کردی^۳

۱. نویسنده مسؤول، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: amirsaffar@ut.ac.ir

۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: golrokhmohamadii@gmail.com

۳. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mrkordi@ut.ac.ir

دریافت: ۷ تیر ۱۴۰۴؛ بازنگری: ۲۰ مرداد ۱۴۰۴؛ پذیرش: ۷ شهریور ۱۴۰۴

چکیده

مالتیپل اسکلروزیس (MS) نوعی بیماری خود ایمنی سیستم عصبی مرکزی است. این بیماری به طور معمول در بازه سنی ۲۰ تا ۵۰ سال تشخیص داده می شود. داده های مربوط به سیر طبیعی بیماری ام اس حاکی از آن است که جمعیت سالمندان مبتلا به این بیماری در حال افزایش است، به طوری که حدود ۳۰ درصد از افراد مبتلا به MS، اکنون در رده سالمندان طبقه بندی می شوند. عملکرد عصبی-عضلانی در سالمندان مبتلا به ام اس، به طور قابل توجهی تحت تأثیر ترکیبی از اثرات پیشرفت بیماری، کاهش عضلانی-اسکلتی مرتبط با افزایش سن و کم تحرکی جسمانی، تضعیف شده است.

تمرینات ورزشی، به ویژه زمانی که به طور مناسب طراحی و تحت نظارت باشند، یک مداخله غیردارویی قدرتمند برای کاهش این اختلالات محسوب می شوند. در مجموع، شواهد موجود به شدت از ادغام رژیم های ورزشی هوازی، قدرتی و به ویژه ترکیبی در راهبردهای جامع توانبخشی برای سالمندان مبتلا به MS حمایت می کند.

تحقیقات آینده باید بر اصلاح شدت، تناوب و پیشرفت چنین برنامه هایی متمرکز شود و همچنین اثرات بلندمدت آن ها بر پیامدهای عملکردی، سلامت شناختی و پیشرفت بیماری در این جمعیت در حال گسترش را مورد بررسی قرار دهد.

کلید واژه ها: فعالیت ورزشی هوازی، فعالیت ورزشی ترکیبی، فعالیت ورزشی مقاومتی، سالمندی

استناد: صفار کهنه قوچان، امیرحسین؛ محمدی، گلرخ و کردی، محمدرضا (۱۴۰۴). نقش فعالیت ورزشی بر عملکرد عصبی-عضلانی در سالمندان مبتلا به مالتیپل اسکلروزیس:

مرور پیشینه و جهت گیری های پژوهشی. نشریه سالمندی سالم و ورزش، ۱ (۲)، ۱-۱۲. DOI: 10.22059/jhae.2025.399656.1009

حق چاپ © ۱۴۰۴، نشریه سالمندی سالم و ورزش. این مقاله با دسترسی آزاد تحت مجوز بین المللی Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) منتشر شده

است. این مجوز اجازه کپی و بازتوزیع مطالب را تنها برای مقاصد غیرتجاری می دهد، به شرطی که به اثر اصلی به درستی استناد شود.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

مالتیپل اسکلروزیس^۱ (MS) یک بیماری خود ایمنی در سیستم عصبی مرکزی است (۱). به طور معمول، بیماری MS بین سنین ۲۰ تا ۵۰ سالگی تشخیص داده می‌شود. داده‌های مربوط به سیر طبیعی بیماری MS نشان می‌دهد که میانگین زنده ماندن بیمار ۳۸ سال پس از تشخیص است (۲). علاوه بر این، با ظهور درمان‌های تعدیل کننده بیماری، طول عمر افراد مبتلا به MS در سه تا چهار دهه گذشته به طور چشمگیری افزایش یافته است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند حدود ۳۰ درصد افراد مبتلا به MS در دوره‌ی سالمندی هستند و بیش از ۶۵ سال سن دارند (۲). پیامدهای تحلیل‌برنده عصبی در افراد مبتلا به MS از طریق تغییراتی که در انتقال عصبی در سراسر سیستم عصبی مرکزی و محیطی مشاهده می‌شود، مشهود است (۳). این تغییرات در نهایت عملکرد عصبی-عضلانی را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ یعنی همان تعامل بین عصب و عضله که مسئول عملکرد حرکتی است (۴). مشابه آنچه در افراد مبتلا به MS مشاهده می‌شود فرآیندهای زیستی مرتبط با پیری نیز با پیامدهای تحلیل‌برنده عصبی متعددی همراه هستند که در نهایت عملکرد جسمانی و کیفیت زندگی افراد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵). در سالمندان، عامل افزایش سن و بیماری MS - هر دو - به طور مستقل و متقابل باعث کاهش عملکرد عصبی-عضلانی می‌شوند (۶). این اختلالات شامل کاهش قدرت و توان عضلانی، افت نرخ تولید نیرو، تغییر در نوع و نسبت تارهای عضلانی (کاهش تارهای نوع II) و اختلال در توانایی سیستم عصبی برای فعال‌سازی مؤثر عضلات، به‌ویژه در اندام‌های تحتانی است. این شرایط می‌تواند با بروز سارکوپنیا^۲ - که نوعی کاهش وابسته به سن در توده، قدرت و عملکرد عضلانی است - تشدید شود؛ حالتی که شیوع بالاتری نیز در سالمندان مبتلا به MS گزارش شده است (۶، ۷). از جمله ویژگی‌های زیستی دوران سالمندی که ممکن است پیشرفت MS را تسریع یا تشدید کنند، می‌توان به التهاب مزمن مرتبط با افزایش سن^۳، افزایش استرس اکسیداتیو^۴، کاهش ظرفیت ترمیم میلین و عصب زایی، زوال تدریجی عملکرد نورون‌های حرکتی، کاهش فعالیت بدنی و کاهش عملکرد سیستم ایمنی اشاره کرد. هم‌افزایی این عوامل می‌تواند منجر به تسریع ناتوانی، افت عملکرد جسمانی و کاهش کیفیت زندگی در این گروه از بیماران شود (۸، ۹).

فعالیت ورزشی نقش مهمی در بهبود و حفظ عملکرد عصبی-عضلانی در سالمندان مبتلا به MS ایفا می‌کند (۱۰). در حالی که برخی از پزشکان در ابتدا به دلیل نگرانی در مورد خستگی و افزایش دمای بدن، فعالیت ورزشی را توصیه نمی‌کردند، پژوهش‌های جدید نشان می‌دهد که فعالیت بدنی می‌تواند عوارض بی‌حرکتی را کاهش دهد، خستگی را بهبود بخشد و قابلیت‌های عملکردی را افزایش دهد. فعالیت ورزشی منظم، از جمله تمرینات هوازی و مقاومتی، می‌تواند منجر به بهبود تعادل، توانایی راه رفتن، استقامت در راه رفتن و کیفیت کلی زندگی شود (۱۰-۱۲). اگرچه پژوهش‌های جدید نقش فعالیت ورزشی در بیماران MS را بسیار مهم دانسته‌اند، اما هنوز در مورد نوع و شدت مناسب فعالیت ورزشی اتفاق نظر وجود ندارد. همچنین پژوهش‌هایی که تأثیر فعالیت ورزشی را در سالمندان مبتلا به MS بررسی کرده‌اند بسیار اندک است. بنابراین مقاله حاضر به مرور شواهد موجود درباره نقش فعالیت ورزشی بر عملکرد عصبی عضلانی در سالمندان مبتلا به MS پرداخته است؛ سپس به حوزه‌های مهمی که نیازمند پژوهش‌های آینده در زمینه فعالیت ورزشی و سالمندی سالم در افراد مبتلا به MS هستند، اشاره می‌کند.

نقش فعالیت ورزشی مقاومتی بر عملکرد عصبی عضلانی افراد مبتلا به MS

تمرین مقاومتی^۵ (RE) که به آن تمرین قدرتی نیز گفته می‌شود، به عنوان مداخله‌ای امیدوارکننده برای مقابله با افت عملکرد عصبی-عضلانی در سالمندان مبتلا به MS مطرح شده است. شواهد نشان می‌دهد که RE می‌تواند منجر به بهبود قابل توجهی در قدرت عضلانی شود، به‌ویژه در عضلات اندام تحتانی که برای انجام وظایفی مانند راه رفتن، جابه‌جایی، و بالا رفتن از پله حیاتی هستند (۱۳). این بهبودها

¹ Multiple sclerosis

² Sarcopenia

³ Inflammaging

⁴ Oxidative stress

⁵ Resistance Training

تا حدی ناشی از افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی، افزایش سطح مقطع تارهای عضلانی، و بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی است (۱۴). علاوه بر سازگاری‌های عضلانی، تمرین مقاومتی به بهبود تعادل و کنترل وضعیت بدنی نیز کمک می‌کند - که این دو از جنبه‌های حیاتی عملکرد عصبی-عضلانی در بیماران مبتلا به MS به‌ویژه سالمندان محسوب می‌شوند، چرا که این افراد در معرض خطر افتادن و شکستگی قرار دارند (۱۵). همچنین، شواهد نشان می‌دهد که RE می‌تواند موجب سازگاری‌های نوروپلاستیک^۱ شود. این تمرینات با فعال‌سازی مکرر مسیرهای عصبی-عضلانی، ممکن است بازسازی و سازمان‌دهی مجدد سیستم عصبی مرکزی^۲ را حمایت کرده و به حفظ عملکرد حرکتی در افراد مبتلا به MS کمک کند (۱۶). علاوه بر این، مطالعات نشان داده‌اند که RE می‌تواند خستگی عضلانی را که یکی از علائم شایع و ناتوان‌کننده در MS است، با بهبود عملکرد میتوکندری کاهش دهد (۱۷). این تأثیرات می‌تواند به افزایش توان انجام فعالیت بدنی مداوم و به تعویق انداختن کاهش عملکرد در سالمندان مبتلا به MS کمک کند (۱۷). بنابراین به نظر می‌رسد RE یکی از مؤلفه‌های کلیدی در توان‌بخشی مبتنی بر فعالیت ورزشی برای سالمندان مبتلا به MS محسوب می‌شود. در مجموع، فواید این نوع تمرین فراتر از بهبود قدرت عضلانی بوده و شامل ارتقاء عملکرد عصبی-عضلانی، بهبود تعادل، کاهش خستگی و افزایش توان عملکردی در زندگی روزمره است. از نظر ساز و کارهای نورویولوژیک، تمرین مقاومتی با فعال‌سازی مسیرهای عصبی حرکتی و بهبود انتقال‌دهنده‌های عصبی^۳ مانند دوپامین، نوراپی‌نفرین^۴ و سروتونین^۵، می‌تواند در بهبود خلق‌و‌خو، عملکرد شناختی و کاهش علائم خستگی در بیماران مبتلا به MS مؤثر باشد. همچنین شواهد نشان می‌دهند که این تمرینات با افزایش پلاستیسیته عصبی و تحریک عصب‌زایی در نواحی خاصی از مغز مانند هیپوکامپ و قشر حرکتی، بر بازآرایی شبکه‌های عصبی تأثیرگذارند. علاوه بر این، RE موجب آزادسازی مایوکاین‌ها^۶ (مانند IL-6، BDNF، و Irisin) (از عضلات اسکلتی می‌شود که نقش مهمی در ارتباط متقابل میان عضله و مغز^۷ دارند و می‌توانند فرایندهای التهابی مرتبط با بیماری MS را تعدیل کنند (۱۸، ۱۹). از منظر هورمونی نیز، ترشح هورمون‌هایی مانند تستوسترون، هورمون رشد، و فاکتور رشد شبه‌انسولین^۸ در پاسخ به RE، به بهبود بازسازی بافت عضلانی و عصبی کمک می‌کند. ترکیب تمرین مقاومتی در مراقبت‌های چند وجهی^۹ با ارتقاء سلامت مغز، کاهش التهاب سیستمیک و افزایش استقلال عملکردی همراه است و می‌تواند کیفیت زندگی سالمندان مبتلا به MS را به شکل معنی‌داری بهبود دهد (۲۰).

توصیه های کاربردی برای طراحی تمرین مقاومتی برای سالمندان مبتلا به MS

RE برای سالمندان مبتلا به MS، در صورتی که در محیطی ساختاریافته و تحت نظارت انجام شود، ایمن و قابل اجرا است. این برنامه‌ها معمولاً شامل تمریناتی با شدت کم تا متوسط هستند که با پیشرفت تدریجی و بر اساس سطح ناتوانی، بیماری‌های همراه و وضعیت خستگی انجام می‌شوند (۲۱). **جدول ۱**، دستورالعمل و راهنمایی کلی برای طراحی تمرینات مقاومتی برای این گروه از سالمندان را ارائه می‌دهد.

¹ Neuroplastic adaptations

² Central nervous system reorganization

³ Neurotransmitters

⁴ Norepinephrine

5 Serotonin

⁶Myokines

⁷ Muscle-Brain Crosstalk

⁸ Insulin-like growth factor 1

⁹ Multidisciplinary care

جدول ۱. مولفه های طراحی تمرین برای سالمندان مبتلا به MS

مؤلفه	توصیه
تواتر	۳-۲ روز در هفته، در روزهای غیر متوالی برای ریکاوری بهتر عضلات (۲۲)
شدت	شروع تمرین برای مبتدیان با شدت کم تا متوسط (حدود ۴۰ تا ۶۰٪ یک تکرار بیشینه (1RM))، به تدریج با توجه به تحمل فرد، افزایش شدت تا ۶۰ تا ۸۰٪ 1RM (۲۳)
ست	آغاز با ۱-۲ ست برای هر حرکت و با توجه به میزان تحمل فرد، افزایش تدریجی به ۲-۳ ست (۱۴)
تکرار	۸-۱۲ تکرار، تمرکز بر اجرای آرام و کنترل شده برای فعال سازی بهتر عصبی-عضلانی (۱۴)
استراحت	۱-۲ دقیقه استراحت بین هر ست (۲۲)
نوع فعالیت ورزشی	تمرکز بر استفاده از حرکات چندمفصلی و عملکردی که عضلات اصلی بدن را درگیر می کنند.
پیشرفت	افزایش تدریجی میزان بار تمرین؛ از طریق افزودن وزنه، افزایش تعداد ست ها یا کاهش زمان استراحت - به شرط آنکه پاسخ فردی مناسب باشد و عوارضی مانند خستگی بیش از حد یا تشدید علائم بیماری مشاهده نشود.

نقش فعالیت ورزشی هوازی بر عملکرد عصبی عضلانی افراد مبتلا به MS

تمرین هوازی^۱ (AE) که مدت هاست به دلیل فواید قلبی-عروقی شناخته شده، در سال های اخیر به طور فزاینده ای به دلیل تأثیرات مثبت آن بر عملکرد عصبی-عضلانی در افراد مبتلا به MS — از جمله سالمندان — مورد توجه قرار گرفته است. شواهد نوظهور از نقش مؤثر تمرینات هوازی در بهبود عملکرد عصبی-عضلانی حمایت می کنند. تمرین منظم هوازی با بهبود در متابولیسم هوازی، فراخوانی واحدهای حرکتی، و کارایی عصبی-عضلانی همراه است این سازگاری ها به ویژه در سالمندان مبتلا به MS ارزشمند هستند، چرا که در این گروه، هر دو عامل اختلال در هدایت عصبی و نارسایی عملکرد میتوکندری به کاهش استقامت و محدودیت های عملکردی منجر می شوند (۲۴). AE با بهبود نوروپلاستیسیته^۲، می تواند به بهبود روند میلین سازی مجدد و حفظ یکپارچگی سیناپسی کمک کنند. مطالعات تصویربرداری عملکردی مغز نشان داده اند که پس از انجام تمرینات هوازی، فعال سازی قشری و اتصال های عصبی در بیماران MS افزایش می یابد (۲۵). این اثرات مرکزی ممکن است به بهبودهایی در کنترل حرکتی، هماهنگی و زمان واکنش منجر شوند؛ توانایی هایی که اغلب در افراد مبتلا به MS دچار اختلال هستند. از منظر محیطی، تمرینات هوازی با بهبود مویرگ سازی، افزایش خون رسانی به عضلات، و افزایش تراکم میتوکندری به بهبود استقامت عضلانی کمک می کنند این سازگاری ها منجر به کاهش خستگی پذیری عضلات شده و از انجام فعالیت های مداوم پشتیبانی می کنند؛ امری که به ویژه برای سالمندان مبتلا به MS که اغلب در حین انجام وظایف روزمره به سرعت دچار خستگی عضلانی می شوند، بسیار سودمند است. علاوه بر این، نشان داده شده است که تمرینات هوازی می توانند اسپاستیسیته^۳ را کاهش داده، توانایی راه رفتن را بهبود بخشیده، و تعادل و وضعیت بدنی را تقویت کند؛ که این موارد به طور غیرمستقیم منجر به بهبود عملکرد عصبی-عضلانی و کاهش خطر زمین خوردن می شوند (۱۵، ۲۱). این مزایا برای حفظ استقلال عملکردی و تحرک در سالمندان مبتلا به MS حیاتی هستند. تمرینات هوازی همچنین نقش مهمی در بهبود یکپارچگی شناختی-حرکتی^۴ دارند. اختلالات شناختی-حرکتی مانند کاهش سرعت پردازش اطلاعات و تداخل در انجام هم زمان تکلیف دوگانه^۵، در بیماران مبتلا به MS شایع هستند و با افزایش سن تشدید می شوند. تمرین هوازی با بهبود عملکردهای اجرایی^۶ همراه بوده است؛ قابلیت که نقش کلیدی در یکپارچه سازی فرآیندهای حسی و حرکتی دارد و برای انجام حرکات هماهنگ ضروری است (۲۷، ۲۸). تمرینات هوازی علاوه بر اثرات جسمانی، تغییرات مثبتی در سطح انتقال دهنده های عصبی (مانند دوپامین، سروتونین و نوراپی نفرین) ایجاد می کنند که این امر می تواند به بهبود خلق و خو، انگیزه و عملکرد

¹ Aerobic exercise

² Neuroplasticity

³ Spasticity

⁴ Cognitive-motor integration

⁵ Dual-task interference

⁶ Executive function

شناختی در بیماران مبتلا به MS کمک کند. همچنین، شواهد تصویربرداری مغزی نشان داده‌اند که تمرینات هوازی موجب افزایش ارتباط عملکردی بین نواحی مختلف مغز، از جمله تقویت ارتباطات بین نیمکره‌ای و شبکه‌های عصبی مرتبط با توجه، حافظه و کنترل حرکتی می‌شود. این تغییرات می‌توانند زمینه‌ساز ارتقاء انعطاف‌پذیری عصبی و بهبود فرآیندهای تطبیقی مغز در مواجهه با پیشرفت بیماری باشند (۲۹). به‌طور کلی، تمرینات هوازی نقش چندبعدی در بهبود عملکرد عصبی-عضلانی در سالمندان مبتلا به MS ایفا می‌کنند. این تمرینات از طریق سازوکارهای مرکزی (مانند نوروپلاستیسته، کنترل حرکتی، و بهبود سطوح انتقال دهنده‌های عصبی و ارتباطات بین نیمکره‌ای و شبکه‌های مغزی) و محیطی (مانند افزایش استقامت عضلانی و بهبود هماهنگی) به بهبود عملکرد حرکتی، تعادل و مقاومت در برابر خستگی کمک می‌کنند. هنگامی که تمرینات هوازی به‌عنوان بخشی از یک برنامه توان‌بخشی جامع به کار گرفته شوند، می‌توانند عملکرد جسمانی را به‌طور چشمگیری ارتقاء دهند، خطر زمین‌خوردن را کاهش دهند و کیفیت زندگی را در این جمعیت بالینی رو به رشد بهبود بخشند.

توصیه‌های کاربردی برای طراحی تمرین هوازی برای سالمندان مبتلا به MS

در صورتی که تمرینات هوازی فردی تنظیم شود و نظارت دقیقی داشته باشد، برای سالمندان مبتلا به MS ایمن و قابل اجرا هستند. فعالیت‌هایی با شدت کم تا متوسط (۴۰-۶۰ درصد ضربان قلب ذخیره^۱ یا نمره ۱۳-۱۱ از شاخص درک فشار بزرگ) مانند پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری ثابت یا تمرینات در آب، در دفعات دو تا سه بار در هفته به مدت ۲۰ تا ۴۰ دقیقه، بدون تشدید علائم بیماری، فواید قابل‌توجهی را به همراه دارد (۲۲، ۳۰).

نقش فعالیت ورزشی ترکیبی بر عملکرد عصبی-عضلانی مبتلا به MS

تمرین ترکیبی — که شامل ترکیب تمرینات هوازی و مقاومتی است — به‌دلیل مزایای چندوجهی آن بر عملکرد عصبی-عضلانی در سالمندان مبتلا به MS، به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است (۳۱). منطق پشت تمرین ترکیبی در توانایی آن برای مقابله هم‌زمان با محدودیت‌های مرکزی و محیطی ناشی از MS و سالمندی نهفته است. تمرینات هوازی موجب بهبود آمادگی قلبی-عروقی، افزایش خون‌رسانی مغزی و تقویت نوروپلاستیسته می‌شوند؛ در حالی که تمرینات مقاومتی باعث افزایش قدرت عضلانی، فعال‌سازی واحدهای حرکتی و بهبود کنترل وضعیت بدن می‌شود (۳۱). هنگامی که این دو شیوه تمرینی به‌صورت ترکیبی اجرا می‌شوند، اثرات هم‌افزایی ایجاد می‌کنند که می‌تواند عملکرد عصبی-عضلانی را بیش از آنچه هر کدام به‌تنهایی قادرند، بهبود بخشد. چندین مطالعه اثرات مثبت تمرین ترکیبی را بر افزایش قدرت عضلانی، به‌ویژه در اندام تحتانی — که برای تحرک و پیشگیری از زمین‌خوردن در سالمندان حیاتی است — گزارش کرده‌اند (۳۲). برای مثال کجوله‌ده^۲ و همکاران (۳۳) گزارش کردند که تمرین مقاومتی پیش‌رونده^۳، هنگامی که با فعالیت هوازی با شدت متوسط ترکیب شود، باعث بهبود توان تولید نیرو و تحرک عملکردی در بیماران مبتلا به MS — از جمله سالمندان — می‌شود. این بهبودها به سازگاری‌های عضلانی و بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی نسبت داده می‌شوند. علاوه بر قدرت عضلانی، تمرین ترکیبی تأثیرات قابل‌توجهی بر تعادل و کنترل وضعیت بدن دارد؛ حوزه‌هایی که اغلب در سالمندان مبتلا به MS دچار اختلال هستند. مطالعات نشان داده‌اند که تمرین ترکیبی منظم می‌تواند موجب بهبود حس عمقی^۴، برنامه‌ریزی حرکتی و یکپارچه‌سازی مرکزی شود (۱۵، ۳۱). این سازگاری‌ها به کاهش خطر زمین‌خوردن و بهبود پایداری راه‌رفتن منجر می‌شوند، که برای جمعیتی با خطر بالای آسیب‌دیدگی و عوارض ناشی از آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۳۱). به‌طور کلی تمرین ترکیبی یک راهبرد جامع و مبتنی بر شواهد برای بهبود عملکرد عصبی-عضلانی در سالمندان مبتلا به MS به شمار می‌رود. این نوع تمرین از طریق سازوکارهای مرکزی و محیطی، موجب افزایش قدرت عضلانی، بهبود تعادل، کاهش خستگی‌پذیری و ارتقای تحرک عملکردی می‌شود و در نتیجه به افزایش استقلال و کیفیت زندگی کمک می‌کند.

¹ Heart Rate Reserve

² Kjølhede

³ progressive resistance training

⁴ proprioception

توصیه های کاربردی برای طراحی تمرین ترکیبی برای سالمندان مبتلا به MS

نکته مهم آن است که تمرین ترکیبی، در صورت تجویز صحیح و برنامه ریزی شده، برای سالمندان مبتلا به MS ایمن و قابل اجرا است. سالمندان مبتلا به MS به دلیل کاهش ظرفیت فیزیولوژیکی، ضعف عضلانی و افزایش خطر افتادن، نیازمند برنامه های ورزشی دقیق تر و تخصصی تر هستند که علاوه بر مدیریت علائم بیماری، به حفظ استقلال و کیفیت زندگی آنها کمک کند. این برنامه ها بهتر است دو تا سه بار در هفته اجرا شوند و شامل ۱۵ تا ۳۰ دقیقه تمرین هوازی با شدت متوسط همراه با ۱ تا ۳ ست از تمرینات مقاومتی با ۸ تا ۱۲ تکرار باشند که بر عضلات اصلی بدن تمرکز دارند. شخصی بودن برنامه، نظارت تخصصی و پیشرفت تدریجی از عناصر کلیدی برای انطباق با تفاوت های فردی در شدت علائم، سطح خستگی و ظرفیت عملکردی هستند (۲۲).

با وجود نتایج امیدوارکننده، تحقیقات بیشتری برای بهینه سازی ساختار، مدت زمان، و اثرات بلندمدت تمرین ترکیبی در سالمندان مبتلا به ام اس مورد نیاز است، به ویژه با توجه به تغییرات مرتبط با افزایش سن که می توانند پاسخ به ورزش و روند بهبود را تحت تأثیر قرار دهند. تاکنون مطالعات اندکی به بررسی پایداری بلندمدت، حفظ دستاوردها، و اثرات تفاوت در ترتیب اجرای تمرین ها (تمرین هوازی قبل از مقاومتی یا بالعکس) پرداخته اند. با این حال، شواهد موجود حمایت قوی از ادغام تمرین ترکیبی در برنامه های توان بخشی جامع برای سالمندان مبتلا به MS ارائه می کنند، چرا که این گروه با توجه به ترکیب چالش های بیماری و پیری، بیش از سایر گروه ها نیازمند رویکردهای ویژه و هدفمند برای حفظ عملکرد و کیفیت زندگی هستند.

نتیجه گیری

در حالی که شواهد فعلی اثربخشی مداخلات ورزشی هوازی، مقاومتی و ترکیبی را در بهبود عملکرد عصبی-عضلانی در سالمندان مبتلا به MS تأیید می کند، همچنان شکاف های مهمی در ادبیات علمی باقی مانده است که پرداختن به آنها برای بهینه سازی نسخه های تمرینی و بهبود پیامدهای بالینی در این جمعیت رو به رشد ضروری است.

از جمله این خلأها می توان به نبود راهنماهای اختصاصی تمرینی برای سالمندان مبتلا به MS اشاره کرد، چرا که اکثر پروتکل های تمرینی موجود بر اساس داده های افراد مبتلا به MS در سنین میانسالی یا بزرگسالی اولیه طراحی شده اند و ویژگی های خاص سالمندان، مانند کاهش ظرفیت ترمیم عصبی، خستگی زودرس، همراهی بیماری های مزمن و خطر بالاتر افتادن، کمتر مورد توجه قرار گرفته اند. همچنین، شواهد محدودی درباره ی بهترین توالی تمرین (تمرین هوازی قبل از مقاومتی یا بالعکس)، شدت بهینه تمرین در دوره های مختلف بیماری، و مدت زمان مؤثر برای حفظ مزایای تمرینی در این گروه سنی در دسترس است.

علاوه بر این، مطالعات اندکی به بررسی ساز و کارهای زیربنایی تأثیر تمرین بر نوروپلاستیسته، انتقال دهنده های عصبی، و تغییرات ساختاری مغز در سالمندان MS پرداخته اند. همچنین، پایداری طولانی مدت به تمرین، چالش های روان شناختی، اجتماعی و فیزیکی در سالمندان، و راهکارهای افزایش مشارکت و انگیزش در آنها نیز کمتر بررسی شده است.

پژوهش های آینده

۱- طراحی برنامه های تمرینی شخصی سازی شده

بیشتر مطالعات موجود از پروتکل های استاندارد تمرینی استفاده می کنند که ممکن است تفاوت های فردی در سطح ناتوانی، بیماری های همراه و سیر پیشرفت بیماری در سالمندان مبتلا به MS را در نظر نگیرند. تحقیقات آینده باید بر طراحی برنامه های تمرینی شخصی سازی شده تمرکز کنند که عوامل اولیه ای مانند عملکرد جسمانی پایه، سطح خستگی و وضعیت شناختی را مد نظر قرار دهند. همچنین، مطالعات باید مدل های بهینه سازی شدت، مدت و تواتر تمرین در انواع مختلف تمرینی را بررسی کنند.

۲- پایداری و پایداری بلندمدت

در حالی که مداخلات کوتاه مدت نتایج مثبتی نشان داده اند، تداوم بلندمدت و پایبندی واقعی به برنامه های تمرینی در دنیای واقعی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. کارآزمایی های آینده باید بر راهکارهایی برای حفظ انگیزه و مشارکت متمرکز شوند، به ویژه در محیط های خانگی یا مبتنی بر جامعه. بهره گیری از حمایت های رفتاری، ابزارهای دیجیتال، یا مشارکت مراقبان و مربیان می تواند به بهبود پایبندی و اثربخشی بلندمدت کمک کند.

۳- پیامدهای نوروفیزیولوژیکی و نشانگرهای زیستی

نیاز به بررسی عمیق تر سازوکارهای نوروفیزیولوژیکی اثر فعالیت ورزشی بر عملکرد عصبی-عضلانی وجود دارد. مطالعاتی که از تصویربرداری های مغزی (مانند fMRI یا DTI)، نشانگرهای نوروتروفیک (مانند BDNF) و ارزیابی های الکتروفیزیولوژیک استفاده کنند، می توانند بینش های ارزشمندی درباره سازگاری های مرکزی ناشی از فعالیت ورزشی در بیماران سالمند مبتلا به MS ارائه دهند.

۴- مقایسه انواع فعالیت ورزشی جهت تعیین اثر بخشی

مطالعات اندکی مستقیماً اثربخشی تمرینات هوازی، مقاومتی و ترکیبی را در سالمندان مبتلا به MS با هم مقایسه کرده اند. تحقیقات آینده باید از طراحی های تصادفی سازی شده و کنترل شده استفاده کنند تا مشخص شود کدام نوع یا توالی تمرینی، بیشترین بهبود را در عملکرد عصبی-عضلانی و عملکردی، به ویژه در سطوح مختلف ناتوانی، ایجاد می کند.

۵- پیامدهای عملکردی و شناختی در تکالیف دوگانه

سالمندان مبتلا به MS اغلب در انجام کار های چند وجهی و عملکردهای اجرایی در حین فعالیت بدنی با چالش مواجه هستند. مطالعات آینده باید تأثیر تمرین —به ویژه تمرینات ترکیبی— را بر عملکرد در وظایف دوگانه، یکپارچگی شناختی-حرکتی، و استقلال عملکردی ارزیابی کنند. با پرداختن به این مسیرهای پژوهشی، تحقیقات آینده می توانند زمینه را برای توسعه مداخلات ورزشی مبتنی بر شواهد، فردمحور و پایدار فراهم کنند که عملکرد عصبی-عضلانی را بهینه کرده، کیفیت زندگی را ارتقا دهند و پیامدهای بلندمدت را در سالمندان مبتلا به MS بهبود بخشند.

پی نوشت

حمایت مالی

این مطالعه هیچ بودجه ای از سازمان های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش تمام بخش های مطالعه حاضر مشارکت داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ تضادی وجود ندارد.

تقدیر و تشکر

از همه پژوهشگرانی که در نگارش این مقاله همکاری داشتند، سپاسگزاریم.

References

1. Saffar Kohnneh Quchan AH, Kordi MR, Mohammadi G, Amiri Raez R, Choobineh S. Strength training attenuates neuropathic pain by Preventing dendritic Spine dysgenesis through Suppressing Rac1 and inflammation in experimental autoimmune encephalomyelitis. Mult Scler Relat Disord. 2025;93:106192.

2. Motl RW, Sebastião E, Klaren RE, McAuley E, Stine-Morrow EA, Roberts B. Physical activity and healthy aging with multiple sclerosis: literature review and research directions. *US Neurol*. 2016;12(1):29-33.
3. Mamoei S, Hvid LG, Boye Jensen H, Zijdwind I, Stenager E, Dalgas U. Neurophysiological impairments in multiple sclerosis—Central and peripheral motor pathways. *Acta Neurologica Scandinavica*. 2020;142(5):401-17.
4. Lassmann H. Pathology and disease mechanisms in different stages of multiple sclerosis. *Journal of the neurological sciences*. 2013;333(1-2):1-4.
5. Borzuola R, Giombini A, Torre G, Campi S, Albo E, Bravi M, et al. Central and peripheral neuromuscular adaptations to ageing. *Journal of clinical medicine*. 2020;9(3):741.
6. Gaemelke T, Jørgensen MK, Riemenschneider M, Dalgas U, Hvid LG. The combined deleterious effects of multiple sclerosis and ageing on neuromuscular function. *Exp Gerontol*. 2023;184:112339.
7. Gaemelke T, Pedersen IS, Dalgas U, Hvid LG. Sarcopenia in older people with multiple sclerosis: A cross-sectional study. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 2025;93.
8. Ferrucci L, Fabbri E. Inflammageing: chronic inflammation in ageing, cardiovascular disease, and frailty. *Nat Rev Cardiol*. 2018;15(9):505-22.
9. DiMauro KA, Swetlik C, Cohen JA. Management of multiple sclerosis in older adults: review of current evidence and future perspectives. *Journal of Neurology*. 2024;271(7):3794-805.
10. Rooney S, Riemenschneider M, Dalgas U, Jørgensen MK, Michelsen AS, Brønd JC, et al. Physical activity is associated with neuromuscular and physical function in patients with multiple sclerosis independent of disease severity. *Disabil Rehabil*. 2021;43(5):632-9.
11. DeBolt LS, McCubbin JA. The effects of home-based resistance exercise on balance, power, and mobility in adults with multiple sclerosis11No commercial party having a direct financial interest in the results of the research supporting this article has or will confer a benefit on the author(s) or on any organization with which the author(s) is/are associated. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2004;85(2):290-7.
12. Cano-Sánchez J, Aibar-Almazán A, Hita-Contreras F, Afanador-Restrepo DF, Martínez-Amat A, Achalandabaso-Ochoa A, et al. Is resistance training an option to improve functionality and muscle strength in middle-aged people with multiple sclerosis? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*. 2024;13(5):1378.
13. Dalgas U, Stenager E, Jakobsen J, Petersen T, Hansen HJ, Knudsen C, et al. Resistance training improves muscle strength and functional capacity in multiple sclerosis. *Neurology*. 2009;73(18):1478-84.
14. Andreasen AK, Stenager E, Dalgas U. The effect of exercise therapy on fatigue in multiple sclerosis. *Mult Scler*. 2011;17(9):1041-54.
15. Heine M, van de Port I, Rietberg MB, van Wegen EE, Kwakkel G. Exercise therapy for fatigue in multiple sclerosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;2015(9):Cd009956.
16. White LJ, McCoy SC, Castellano V, Gutierrez G, Stevens JE, Walter GA, et al. Resistance training improves strength and functional capacity in persons with multiple sclerosis. *Mult Scler*. 2004;10(6):668-74.
17. Kjølhede T, Vissing K, de Place L, Pedersen BG, Ringgaard S, Stenager E, et al. Neuromuscular adaptations to long-term progressive resistance training translates to improved functional capacity for people with multiple sclerosis and is maintained at follow-up. *Multiple Sclerosis Journal*. 2015;21(5):599-611.
18. Petersen AM, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol* (1985). 2005;98(4):1154-62.
19. Sleiman SF, Henry J, Al-Haddad R, El Hayek L, Abou Haidar E, Stringer T, et al. Exercise promotes the expression of brain derived neurotrophic factor (BDNF) through the action of the ketone body β -hydroxybutyrate. *Elife*. 2016;5.
20. White LJ, Castellano V. Exercise and brain health—implications for multiple sclerosis: Part 1—neuronal growth factors. *Sports Med*. 2008;38(2):91-100.
21. Latimer-Cheung AE, Martin Ginis KA, Hicks AL, Motl RW, Pilutti LA, Duggan M, et al. Development of evidence-informed physical activity guidelines for adults with multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2013;94(9):1829-36.e7.

22. Dalgas U, Stenager E, Ingemann-Hansen T. Multiple sclerosis and physical exercise: recommendations for the application of resistance-, endurance- and combined training. *Mult Scler*. 2008;14(1):35-53.
23. Kjølhede T, Vissing K, Dalgas U. Multiple sclerosis and progressive resistance training: a systematic review. *Mult Scler*. 2012;18(9):1215-28.
24. Motl RW, Pilutti LA. The benefits of exercise training in multiple sclerosis. *Nat Rev Neurol*. 2012;8(9):487-97.
25. Prakash RS, Snook EM, Motl RW, Kramer AF. Aerobic fitness is associated with gray matter volume and white matter integrity in multiple sclerosis. *Brain Res*. 2010;1341:41-51.
26. Sandroff BM, Johnson CL, Motl RW. Exercise training effects on memory and hippocampal viscoelasticity in multiple sclerosis: a novel application of magnetic resonance elastography. *Neuroradiology*. 2017;59(1):61-7.
27. Sandroff BM, Pilutti LA, Motl RW. Cardiorespiratory fitness and cognitive processing speed in multiple sclerosis: The possible roles of psychological symptoms. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 2019;27:23-9.
28. Sandroff BM, Hillman CH, Motl RW. Aerobic Fitness Is Associated with Inhibitory Control in Persons with Multiple Sclerosis. *Archives of Clinical Neuropsychology*. 2015;30(4):329-40.
29. Wachowski MR, Majos M, Milewska-Jędrzejczak M, Głąbiński A, Majos A. Brain neuroplasticity in multiple sclerosis patients in functional magnetic resonance imaging studies. Part 2: Effect of aerobic training. *Pol J Radiol*. 2024;89:e328-e35.
30. Learmonth YC, Adamson BC, Kinnett-Hopkins D, Bohri M, Motl RW. Results of a feasibility randomised controlled study of the guidelines for exercise in multiple sclerosis project. *Contemp Clin Trials*. 2017;54:84-97.
31. Flores VA, Šilić P, DuBose NG, Zheng P, Jeng B, Motl RW. Effects of aerobic, resistance, and combined exercise training on health-related quality of life in multiple sclerosis: Systematic review and meta-analysis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 2023;75:104746.
32. Sangelaji B, Kordi M, Banihashemi F, Nabavi SM, Khodadadeh S, Dastoorpoor M. A combined exercise model for improving muscle strength, balance, walking distance, and motor agility in multiple sclerosis patients: A randomized clinical trial. *Iran J Neurol*. 2016;15(3):111-20.