



Effects of Two Different Resistance Training Programming Models on a Neuroprotective Factor and Muscle Strength in Older Women

Nafiseh Pourpasha¹ , Zahra Sarlak² , Forouzan Fattahi Masrour³ 

1. Department of Exercise Physiology, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: nafiseh.pourpasha@iau.ir

2. Corresponding Author, Department of Physical Education and Sport Sciences, Khod.C., Islamic Azad University, Khodabandeh, Iran.

E-mail: Zahrasarlak60@iau.ir

3. Department of Exercise Physiology, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: f.fattahimasrour@iauctb.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article history: Received: 29 Apr 2026 Received in revised form: 08 Jul 2026 Accepted: 12 Aug 2026 Published online: 06 Sep 2026 Keywords: Linear resistance training, nonlinear resistance training, BDNF, muscle strength, older women.	Introduction: Aging is associated with a decline in muscle strength and alterations in factors related to neural function. Resistance training can influence strength and neurotrophic factors by inducing muscular and neural adaptations; however, the type of training programming may affect the magnitude of these adaptations. Therefore, the present study aimed to compare the effects of linear and nonlinear resistance training programming on serum BDNF concentration and lower-body muscle strength in older women. Methods: This quasi-experimental study was conducted using a pretest–posttest design with a control group. Thirty-six older women aged 65–70 years were randomly assigned to three groups: linear resistance training, nonlinear resistance training, and control (n = 12 per group). The two training groups performed circuit-based resistance training for 8 weeks, three sessions per week, with each session lasting 80 minutes. Serum BDNF concentration was measured using the ELISA method, and lower-body muscle strength was assessed using the leg press test before and after the intervention. Data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA) followed by the Bonferroni post hoc test. Results: The results showed significant differences among the three groups in serum BDNF concentration and lower-body muscle strength following the intervention ($P \leq 0.001$). Serum BDNF concentration in the nonlinear resistance training group was 3.10 and 6.90 ng/mL higher than that in the linear resistance training and control groups, respectively. Moreover, lower-body muscle strength in the nonlinear group was 2.63 and 13.38 kg greater than that in the linear and control groups, respectively, while the linear group demonstrated 10.75 kg greater lower-body muscle strength than the control group ($P \leq 0.001$). Conclusion: Both linear and nonlinear resistance training programs improved BDNF concentration and lower-body muscle strength in older women. However, nonlinear resistance training was more effective in enhancing BDNF and lower-body muscle strength and may therefore be considered a more effective approach for improving neuromuscular function in older women.

Cite this article: Pourpasha N, Sarlak Z, Fattahi Masrour F. Effects of Two Different Resistance Training Programming Models on a Neuroprotective Factor and Muscle Strength in Older Women. Journal of Modern Approaches in Education Management and Health Sciences. 2026; 03 (02): 115-132. [Doi: 10.22034/edus.2026.588805.1118](https://doi.org/10.22034/edus.2026.588805.1118)

Journal of Modern Approaches in Education Management and Health Sciences is licensed under CC BY-NC 4.0.

| Web site: <https://www.eduhealthsci.ir> | Email: eduhealthsci@gmail.com.

© The Author(s).

| Publisher: Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mazandaran Branch, Mazandaran, Iran.





Extended Abstract

Introduction

Aging is a natural biological process accompanied by progressive changes in multiple physiological systems, including the neuromuscular, cardiovascular, metabolic, and nervous systems. One of the most important consequences of aging is the gradual decline in skeletal muscle mass and strength, which can negatively affect functional capacity, mobility, independence, and quality of life in older adults. The reduction in lower-body muscle strength is particularly important because it is closely associated with the ability to perform essential daily activities such as walking, climbing stairs, standing from a chair, and maintaining postural stability. Therefore, identifying effective exercise strategies to preserve or improve muscle strength has become an important objective in geriatric health and exercise science. In addition to muscular adaptations, aging is associated with changes in neurobiological factors that contribute to the maintenance of neuronal function and communication between the nervous and muscular systems. Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) is one of the most important neurotrophic factors involved in neuronal survival, growth, differentiation, synaptic plasticity, and neural adaptation. BDNF may also contribute to neuromuscular function through its role in neural signaling and adaptation to physical activity. Evidence suggests that regular exercise, particularly resistance training, can stimulate neurotrophic responses and improve muscular performance. However, the magnitude of these adaptations may depend on several characteristics of the training program, including intensity, volume, frequency, progression, and the method used to organize training variables. Resistance training is widely recommended for older adults because it can improve muscle strength and functional capacity while counteracting age-related declines in neuromuscular performance. Traditionally, resistance training programs have often been organized according to a linear model, in which training intensity gradually increases while repetitions and training volume progressively decrease throughout the intervention. Although linear programming can effectively promote progressive adaptation, maintaining a relatively predictable progression may not provide sufficient variation in training stimuli for all individuals, particularly older adults. In contrast, nonlinear or undulating resistance training involves systematic variation in training intensity, repetitions, and volume across training sessions or weeks. This approach provides repeated changes in the training stimulus and may promote different neuromuscular adaptations compared with conventional linear programming. The greater variation in training load may also reduce training monotony and provide repeated physiological challenges that could enhance adaptation. Nevertheless, the comparative effects of linear and nonlinear resistance training on neurotrophic factors such as BDNF, together with lower-body muscle strength, remain insufficiently established in older women. Therefore, the present study was conducted to compare the effects of two different resistance training programming models, namely linear and nonlinear programming, on serum BDNF concentration and lower-body muscle strength in older women. It was hypothesized that both resistance training models would improve BDNF concentration and lower-body muscle strength compared with a non-training control condition, with nonlinear programming potentially producing greater improvements because of its greater variation in training intensity and volume.

Methods

This quasi-experimental study was conducted using a pretest–posttest design with a control group. Thirty-six older women aged 65–70 years were randomly assigned to three groups: linear resistance training, nonlinear resistance training, and control ($n = 12$ per group). The two training groups performed circuit-based resistance training for 8 weeks, three sessions per week, with each session lasting 80 minutes. Serum BDNF concentration was measured using the ELISA method, and lower-body muscle strength was assessed using the leg press test before and after the intervention. Data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA) followed by the Bonferroni post hoc test.

Results

The results showed significant differences among the three groups in serum BDNF concentration and lower-body muscle strength following the intervention ($P \leq 0.001$). Serum BDNF concentration in the nonlinear resistance training group was 3.10 and 6.90 ng/mL higher than that in the linear resistance training and control groups, respectively. Moreover, lower-body muscle strength in the nonlinear group was 2.63 and 13.38 kg greater than that in the linear and control groups, respectively, while the linear group demonstrated 10.75 kg greater lower-body muscle strength than the control group ($P \leq 0.001$).

Conclusion

The findings of the present study demonstrated that an eight-week resistance training program was effective in improving both serum BDNF concentration and lower-body muscle strength in older women. Importantly, the results indicated that the pattern used to organize resistance training variables influenced the magnitude of these adaptations. Both linear and



nonlinear resistance training produced significantly greater improvements in the examined outcomes compared with the control condition; however, the nonlinear resistance training program resulted in superior responses compared with the linear training model. The greater increase in serum BDNF observed following nonlinear resistance training suggests that variation in training intensity, repetition range, and set volume may provide a more effective stimulus for neurotrophic adaptation in older women. BDNF is an important mediator of neuronal survival, synaptic plasticity, and neural adaptation, and its increase following exercise may reflect enhanced neurobiological responses to repeated physical stimuli. The present findings therefore suggest that resistance training may have benefits extending beyond improvements in muscular performance and may also contribute to adaptations associated with neural function. The greater BDNF response observed in the nonlinear group may be related to the repeated changes in training demands and the resulting variation in physiological and neuromuscular stimulation throughout the intervention. The results for lower-body muscle strength also demonstrated a clear advantage of resistance training over the control condition. Both training groups achieved significant improvements, with the nonlinear group demonstrating the greatest increase in strength. These findings are particularly relevant for older women because lower-body strength is an important determinant of functional independence, mobility, balance, and the ability to perform activities of daily living. Improvements in lower-body strength may consequently contribute to better physical function and potentially reduce the risk of functional limitations associated with aging. The superiority of nonlinear programming may be explained by its ability to expose participants to different combinations of training intensity and volume rather than maintaining a relatively predictable progression. Such variation may facilitate continuous neuromuscular adaptation and prevent prolonged exposure to a single training stimulus. Nevertheless, the mechanisms underlying the greater effects of nonlinear programming on BDNF and muscle strength require further investigation. Overall, the findings indicate that resistance training should be considered an important component of exercise programs designed for older women. Although both linear and nonlinear programming models were beneficial, nonlinear resistance training appeared to be a more effective strategy for simultaneously improving serum BDNF concentration and lower-body muscle strength. Therefore, incorporating systematic variation in resistance training intensity, repetitions, and volume may provide a useful approach for optimizing neuromuscular and neurotrophic adaptations in older women. Future studies with larger samples, longer intervention periods, and additional neurotrophic and neuromuscular biomarkers are recommended to further clarify the mechanisms responsible for these differences.

Ethical Considerations

This study has an ethics code number IR.IAU.SARI.REC.1404.067 from Islamic Azad University, Sari Branch.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency.

Authors' contribution

Conceptualization, Zahra Sarlak; Methodology, Nafiseh Pourpasha; Analysis, Zahra Sarlak; Investigation, Forouzan Fattahi Masrour; Data Curation, Zahra Sarlak; Writing - Original Draft Preparation, Zahra Sarlak; Supervision, Nafiseh Pourpasha; Project Administration, Zahra Sarlak.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding this article.

Acknowledgments

The authors extend their sincere gratitude to all participants and collaborators for their involvement in every stage of this study.



اثر دو مدل برنامه ریزی متفاوت تمرین مقاومتی بر عامل محافظت کننده عصبی و قدرت عضلانی زنان سالمند

نفیسه پورپاشا^۱ , زهرا سرلک^۲ , فروزان فتاحی مسرور^۳ 

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: nafiseh.pourpasha@iau.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد خدابنده، دانشگاه آزاد اسلامی، خدابنده، ایران. رایانامه: Zahrasarlak60@iau.ir
۳. گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: f.fattahimasroor@iauctb.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	مقدمه: سالمندی با کاهش قدرت عضلانی و تغییر در عوامل مرتبط با عملکرد عصبی همراه است. تمرین مقاومتی می تواند با ایجاد سازگاری های عضلانی و عصبی، قدرت و عوامل نوروتروفیک را تحت تأثیر قرار دهد؛ با این حال، نوع برنامه ریزی تمرین ممکن است بر میزان این سازگاری ها مؤثر باشد. پژوهش حاضر با هدف مقایسه اثر دو مدل برنامه ریزی خطی و غیرخطی تمرین مقاومتی بر غلظت سرمی BDNF و قدرت عضلات پایین تنه زنان سالمند انجام شد.
تاریخ دریافت:	۱۴۰۵/۰۲/۰۹
تاریخ بازنگری:	۱۴۰۵/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۵/۰۵/۲۱
تاریخ انتشار:	۱۴۰۵/۰۶/۱۵
کلیدواژه ها:	تمرین مقاومتی خطی، تمرین مقاومتی غیرخطی، BDNF، قدرت عضلانی، زنان سالمند.
	یافته ها: نتایج نشان داد که پس از مداخله، بین سه گروه در سطح سرمی BDNF و قدرت عضلانی پایین تنه تفاوت معناداری وجود داشت ($P \leq 0.001$). سطح BDNF در گروه تمرین مقاومتی غیرخطی به ترتیب ۱۰/۳ و ۹۰/۶ نانوگرم بر میلی لیتر بیشتر از گروه های خطی و کنترل بود. همچنین، قدرت پایین تنه در گروه غیرخطی به ترتیب ۶۳/۲ و ۳۸/۱۳ کیلوگرم بیشتر از گروه های خطی و کنترل و در گروه خطی ۷۵/۱۰ کیلوگرم بیشتر از گروه کنترل بود ($P \leq 0.001$). نتیجه گیری: هر دو الگوی تمرین مقاومتی خطی و غیرخطی موجب بهبود BDNF و قدرت عضلانی پایین تنه در زنان سالمند شدند؛ با این حال، تمرین مقاومتی با برنامه ریزی غیرخطی اثربخشی بیشتری در افزایش BDNF و قدرت پایین تنه داشت و می تواند به عنوان رویکرد مؤثرتری برای بهبود عملکرد عصبی عضلانی زنان سالمند مورد توجه قرار گیرد.

استناد: پورپاشا، نفیسه؛ سرلک، زهرا؛ فتاحی مسرور، فروزان. اثر دو مدل برنامه ریزی متفاوت تمرین مقاومتی بر عامل محافظت کننده عصبی و قدرت عضلانی زنان سالمند.

نشریه رویکردهای نوین در مدیریت آموزش و علوم سلامت. ۱۴۰۵؛ ۰۳ (۰۲): ۱۱۵-۱۳۳. Doi: 10.22034/edus.2026.588805.1118



دسترسی به این نشریه علمی، رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کپیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.

| آدرس نشریه: <https://www.eduhealthsci.ir/> | ایمیل: eduhealthsci@gmail.com

ناشر: جهاد دانشگاهی واحد استان مازندران.

مقدمه

در دهه‌های اخیر با رواج زندگی ماشینی، ارتقای سطح بهداشت و بالا رفتن سن امید به زندگی، جمعیت سالمند رو به افزایش نهاده است (۱). از مهم‌ترین تغییراتی که متناسب با افزایش سن و پیری در بدن انسان به وقوع می‌پیوندد، تحلیل و تخریب توده عضلانی و کاهش چشم‌گیر حجم و اندازه عضله اسکلتی است که به سارکوپنیا (Sarcopenia) معروف است (۲). علت کاهش در قدرت در سنین پیری را غیر از تغییر شیوه زندگی می‌توان به کاهش در حجم عضلانی و هماهنگی عصبی-عضلانی نسبت داد (۳). با افزایش سن بر اثر عصب‌گیری متقاطع و نکروز (Necrosis) برخی نرون‌های حرکتی، فنوتیپ تارهای عضلانی (Muscle Fiber Phenotype) به سمت کند انقباض گرایش پیدا می‌کند (۴). از طرفی با افزایش پروتئولیز عضلانی (Muscle Proteolysis) و جذب کمتر اسیدهای آمینه شرایط برای آتروفی عضلانی افزایش می‌یابد (۵). عوامل دیگری مانند کاهش میزان و سرعت تحریک عصبی، کاهش جفت شدن تحریک-انقباض، کاهش تولید میوزین، کاهش حساسیت کلسیم و افت کارایی دریافت مجدد آن توسط شبکه سارکوپلاسمی از دلایل دیگر کاهش قدرت عضلانی می‌باشند (۶).

کاهش قدرت و رخداد سارکوپنی در دوران سالمندی منجر به اختلالات حافظه و سرعت پردازش مغز می‌شود. در این میان عامل تغذیه‌ای مشتق مغزی (BDNF: Brain Derived Neurotrophic Factor) به دلیل نقش مهمی که در شکل‌پذیری سیناپسی، حافظه و نوروژنایی (Neurogenesis) ایفا می‌کند بسیار مورد توجه است و به عنوان مهم‌ترین عاملی که در اثر ورزش تنظیم مثبت می‌شود شناخته شده است (۷). هیپوکامپ یکی از دو ناحیه نوروژنیک (Neurogenic) مغز است اثرپذیری بالایی نسبت به فعالیت بدنی دارد. توزیع BDNF در مناطق مختلف مغزی و در سطح بالایی در هیپوکامپ که قطب اصلی تشکیلات حافظه و یادگیری است، گزارش شده است (۸). سطوح پایین BDNF با سوءعملکرد یادگیری‌شناختی، افسردگی، شرایط تخریب عصبی و مرگومیر مرتبط است و از میان تمام نوروتروفین‌های مغزی باند شدن BDNF با گیرنده اختصاصی خود تنها سیستم سیگنالینگ در نواحی مختلف هیپوکامپ است (۹)؛ شواهد نشان می‌دهند که تغییرات در سیگنالینگ BDNF برای اثرگذاری ورزش بر شکل‌پذیری هیپوکامپی ضروری است و می‌تواند شکل‌پذیری و انتقال سیناپسی را تعدیل کند، چرا که بلوک کردن این مسیر سیگنالینگ حافظه و یادگیری ناشی از ورزش را در جوندگان مهار می‌کند (۱۰). پژوهش‌های اخیر در این زمینه حاکی از آنست که مغز به صورت مشخصی در پاسخ به فعالیت بدنی، دچار تغییرات در سطح مولکولی، سلولی و آناتومیک می‌گردد (۱۱). فعالیت ورزشی می‌تواند بر تنظیمات شکل‌پذیری نورونی در پایانه‌های پیش سیناپسی و پس سیناپسی مؤثر باشد. هدایت سیگنالی BDNF از طریق گیرنده TrkB میانجی‌گری می‌شود که بیان آن با فعالیت ورزشی تنظیم می‌شود (۱۲). تحقیقات متعددی در زمینه تأثیر جنبه‌های مختلف فعالیت مقاومتی از لحاظ نوع، شدت و مدت در طول دوره تمرینی انجام پذیرفته است. این جنبه‌های گوناگون با تأثیر بر سیگنال TrkB در پایانه‌های پیش سیناپسی و پس سیناپسی منجر به تنظیمات گذرگاه‌های انتقال سیگنالی می‌شوند. همچنین در پایانه‌های پیش سیناپسی، شدت‌های مختلف فعالیت ورزشی می‌تواند بر ژن‌های درگیر در عبور و مرور سیناپسی عمل کنند تا رهایش نوروترانسمیترها را تعدیل کند (۱۳). در این راستا زو (Zuo) و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر دو شدت مختلف تمرین مقاومتی کم شدت و متوسط را بر میزان BDNF بررسی و اعلام نمودند که سطح BDNF mRNA هیپوکامپ موش‌های صحرایی در فعالیت کم شدت در مقایسه با گروه با برنامه پر شدت به شکل قابل توجهی بیشتر بود (۱۴). همچنین بومگارتنر (Baumgartner) و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر حاد تمرین مقاومتی بر حافظه و BDNF محیطی را در مردان و زنان جوان بررسی نموده و افزایش BDNF را در گروه تمرین با شدت زیاد گزارش کردند (۱۵).

برنامه تمرین مقاومتی می‌تواند تقریباً هر سیستمی از بدن را تحت تأثیر قرار دهد و در طیف گسترده‌ای از جمعیت‌ها، مورد استفاده قرار گیرد (۱۶). در زنان سالمند نیز تمرین مقاومتی به یک جزء تمرینی مهم و محبوب در کل برنامه‌های آمادگی

تبدیل شده است و به خوبی مشخص گردیده است که انواع برنامه‌های تمرینات مقاومتی، می‌توانند توسعه قدرت در اجرای یک تکرار بیشینه در زنان سالمند را تحریک کنند (۱۷). میزان مقاومت مورد استفاده برای تمرینات خاص، یکی از متغیرهای کلیدی در هر برنامه تمرین مقاومتی است و محرک‌های اصلی مربوط به تغییرات مشاهده شده در اندازه‌های قدرت و استقامت عضلانی موضعی هستند (۱۸). هنگام طراحی یک برنامه تمرین مقاومتی، زمان‌بندی‌ها باید به دقت انتخاب شود. این زمان‌بندی‌ها به طور موفقیت‌آمیزی در جمعیت‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از زمان‌بندی، به حداکثر رساندن اصل اضافه‌بار است که در آن سیستم عصبی-عضلانی با بار ناآشنا یا عوامل استرس‌زا، سازگار می‌شود و اجازه می‌دهد رابطه بهتری بین استرس و ریکاوری ایجاد شود (۱۹). تمرینات خطی و غیرخطی دو رویکرد متفاوت برای سازماندهی برنامه تمرینی هستند. در برنامه خطی، مراحل تمرینی به ترتیب مشخصی پیش می‌روند، مانند آمادگی عمومی، سپس حجم، قدرت و در نهایت توان. این مراحل معمولاً در طول چند ماه طی می‌شوند. در مقابل، برنامه غیرخطی این مراحل را به صورت همزمان یا در فواصل زمانی کوتاه‌تر در یک هفته یا حتی یک جلسه تمرینی ترکیب می‌کند (۲۰).

با توجه به اینکه سالمندی فرایندی تخریب‌کننده است که به کاهش‌های چشمگیر در توده عضله، چگالی استخوان و بافت مغز مرتبط است و اختلالات عملکردی، فیزیولوژیکی و سوخت‌وسازی مانند داینپنیه و کاهش ظرفیت شناختی را به دنبال دارد (۲۱). بنابراین، جست‌وجو برای راهبردهای ابتکاری برای جلوگیری یا به تأخیر انداختن این اختلالات شناختی و فیزیولوژیکی برای تضمین استقلال و کیفیت زندگی جمعیت سالمندان ضروری است. آنچه مهم است اینکه به نظر می‌رسد مناطق مغزی حساس به فشار و سن، به اثرات سودمند سبک زندگی فعال از نظر جسمانی، بسیار حساس هستند (۱۳). به علاوه، افزایش‌های ناشی از تمرین مقاومتی در حجم هیپوکمپ، با افزایش سطوح سرمی BDNF مرتبط است و آمادگی جسمانی بیشتر پیش از انجام مداخلات ورزشی، از کاهش حجم هیپوکمپ و کاهش شناخت مرتبط با سن محافظت می‌کند (۱۴). در مجموع، مطالعات بسیار محدودی برنامه‌های تمرینی زمان‌بندی خطی و غیرخطی را در زنان سالمند با هم مقایسه کرده‌اند و نتایج مطالعات موجود نیز از ابهام بالایی برخوردار است و لذا هدف کلی پژوهش حاضر بررسی اثر دو مدل برنامه‌ریزی متفاوت تمرین مقاومتی بر عامل محافظت‌کننده عصبی و قدرت عضلانی زنان سالمند می‌باشد.

روش‌شناسی

مطالعه حاضر از نوع نیمه تجربی با دو گروه تمرینی بود که از طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون همراه با گروه کنترل پیروی کرد. پس از اعلام فراخوان، از میان افراد داوطلب برای شرکت در پژوهش که شرایط اولیه را ورود به پژوهش داشتند، ۳۶ نفر به صورت تصادفی با دامنه سنی ۶۵ تا ۷۰ سال و با شاخص توده بدن ۲۵ تا ۲۸ کیلوگرم بر مربع انتخاب شدند. شرکت‌کنندگان در یکی از سه گروه ۱۲ نفری شامل: ۱- گروه تمرین مقاومتی با زمان‌بندی خطی، ۲- گروه تمرین مقاومتی با زمان‌بندی غیر خطی و ۳- گروه شاهد قرار گرفتند. شرایط ورود به پژوهش به‌جز دامنه سنی مذکور (شرط اولیه)، شامل مصرف نکردن سیگار، نداشتن سابقه فعالیت بدنی منظم در یک سال گذشته، استفاده نکردن از داروهای مؤثر بر متابولیسم اسیدهای آمینه عضله از جمله بتابلوکرها، آگونیست‌های بتا، بلوک‌های کانال‌های کلسیمی و کورتیکواستروئیدها و مبتلانی بودن به بیماری‌های مزمن همچون دیابت و پارکینسون و نروپاتی محیطی بود. شرکت‌کنندگان قبل از شرکت در پژوهش، پرسش‌نامه PAR-Q&You را تکمیل کردند. این افراد در صورت داشتن مشکل برای انجام تمرین‌هایی مانند استئوپروز یا مشکلات مربوط به استخوان، مفاصل و اختلال حرکتی شدید از مطالعه حذف شدند. کلیه اصول اخلاقی کار بر اساس بیانیه هلسینکی رعایت شد. هم‌چنین این مطالعه دارای کد اخلاق به شماره ثبتی IR.IAU.SARI.REC.1404.067 از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری بود. یک

هفته قبل از شروع برنامه تمرینی، برای آشنایی با مداخلات تحقیق و حرکت‌های تمرینی سه جلسه برگزار شده و سپس از متغیرهای مورد نیاز آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین یک تکرار بیشینه گروه عضلانی به‌کارگرفته‌شده در برنامه تمرینی اندازه‌گیری شد.

۲۴ ساعت قبل از شروع دوره‌ی تمرینی و ۴۸ ساعت پس از اتمام دوره‌ی تمرینی اندازه‌گیری قد (با استفاده از قدسنج SEKA ساخت کشور آلمان)، وزن و شاخص توده‌ی بدنی (در حالت ناشتا) با استفاده از دستگاه آنالیزر ترکیب بدنی Composition Analyser, in body 3 Body ساخت کشور کره جنوبی به عمل آمد. تمام تمرینات در ساعت ۸ الی ۱۰ صبح در باشگاه بدن‌سازی بانوان صورت پذیرفت. سه روز قبل (دو روز کاری و یک روز تعطیل) و حین اجرای برنامه تمرینی برای محاسبه کالری برنامه غذایی از پرسش‌نامه یادآمد غذایی ۲۴ ساعته استفاده شد. در این روش از جدول‌های مرجع و استاندارد برای تبدیل واحدها و پیمانه‌های خانگی به گرم استفاده گردید. اطلاعات به دست‌آمده برای محاسبه انرژی تام، درصد انرژی حاصل از کربوهیدرات، چربی و پروتئین، با نسخه ۴ نرم‌افزار نوتریشن تحلیل شدند. قبل از شروع برنامه تمرینی و سه روز پس از آخرین جلسه تمرین، بین ساعت ۷/۳۰ تا ۹ در حالت ناشتا (۱۰ ساعت) از ورید بازویی و در حالت نشسته نمونه‌گیری خونی انجام شد. برای محاسبه سطح سرمی BDNF از کیت الایزا استفاده شد و برای اندازه‌گیری قدرت عضلانی پائین تنه از آزمون پرس پا استفاده گردید (۱۳).

در مطالعه حاضر، برنامه تمرین مقاومتی بین هر ۲ گروه آزمودنی مشترک بود و هر جلسه تمرین حدود ۸۰ دقیقه به طول انجامید. برنامه تمرینی مقاومتی مورد استفاده در این مطالعه، به صورت ایستگاهی و دایره‌ای اجرا شد. در ابتدای پژوهش، یک تکرار بیشینه آزمودنی‌ها برای گروه‌های تجربی در حرکات مورد نظر محاسبه شد. در راستای تعیین یک تکرار بیشینه از فرمول برزسکی به صورت زیر، استفاده گردید:

$$(\text{تکرار} \times 0.278) - (1/0.278) / \text{وزنه جابجا شده به کیلو گرم} = \text{یک تکرار بیشینه}$$

شدت تمرین در هر دو گروه مقاومتی بر اساس درصدی از یک تکرار بیشینه تعیین شد. هر جلسه تمرینی شامل ۱۰ دقیقه گرم‌کردن، ۶۰ دقیقه تمرین مقاومتی اختصاصی و ۱۰ دقیقه سردکردن بود. محتوای تمرینات مقاومتی در هر دو گروه یکسان بود و شامل پرس سینه، پرس پا، سیم‌کش از جلو با دست باز، بازکردن زانو با دستگاه، جلو بازو با هالتر و اسکات بود. تفاوت دو گروه تنها در نحوه برنامه‌ریزی و تغییر شدت، تعداد تکرارها و تعداد ست‌ها در طول دوره ۸ هفته‌ای بود؛ به‌طوری‌که در گروه برنامه‌ریزی خطی، شدت تمرین به‌صورت تدریجی افزایش یافت، در حالی که در گروه برنامه‌ریزی غیرخطی، شدت و حجم تمرین در طول هفته‌ها به‌صورت متناوب و غیرخطی تغییر کرد (جدول ۱). شدت در گروه برنامه تمرینی در هفته اول ۳۰ درصد، در هفته دوم ۳۵ درصد، در هفته سوم ۴۰ درصد، در هفته چهارم ۵۰ درصد، در هفته پنجم ۶۰ درصد، در هفته ششم ۵۰ درصد، در هفته هفتم ۶۰ درصد و هفته هشتم ۷۰ درصد یک تکرار بیشینه بود. تکرارها از ۱۵ تکرار در هفته اول شروع و در هفته هشتم به ۸ تکرار رسید. تعداد ست‌ها نیز از ۲ ست در هفته اول به ۴ ست در هفته هشتم رسید. زمان استراحت بین ایستگاه‌ها، ۳۰ ثانیه و زمان استراحت بین هر ست (پایان هر دور)، ۶۰ ثانیه در هر دو گروه بود (۵).

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک جهت توزیع طبیعی داده‌ها و برای مطالعه معنی‌داری درون گروهی و بین گروهی در پیش آزمون و پس آزمون از آزمون تحلیل کوواریانس (ANCOVA) و تعقیبی بنفرونی استفاده گردید. کلیه عملیات آماری توسط نرم افزار (SPSS/۲۲) و سطح معنی داری آزمون‌ها در سطح $p \leq 0.05$ انجام گرفت.

جدول ۱- برنامه تمرین مقاومتی در هر دو گروه تجربی

برنامه ۱: تمرین با برنامه ریزی خطی	هفته‌ها	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم	هفته ششم	هفته هفتم	هفته هشتم
شدت	۳۰	۳۵	۴۰	۵۰	۶۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
تکرار	۱۵	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰
ست‌ها	۲	۳	۳	۴	۴	۴	۴	۴	۴
استراحت	زمان استراحت بین ایستگاه‌ها ۳۰ ثانیه و بین هر ست ۶۰ ثانیه								
برنامه ۲: تمرین با برنامه ریزی غیرخطی	هفته‌ها	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم	هفته ششم	هفته هفتم	هفته هشتم
شدت	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۶۰-۵۰-۴۰	۶۰-۴۰-۶۰	۵۰-۶۰-۴۰	۶۰-۵۰-۶۰	۷۰-۵۰-۶۰
تکرار	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۴-۱۳-۱۴	۱۴-۱۲-۱۴	۱۳-۱۲-۱۳	۱۳-۱۲-۱۳	۱۲-۱۳-۱۲
ست‌ها	۲	۳	۴	۴	۴-۳-۴	۴-۳-۴	۳-۴-۳	۳-۴-۳	۴-۳-۴
استراحت	زمان استراحت بین ایستگاه‌ها ۳۰ ثانیه و بین هر ست ۶۰ ثانیه								

یافته‌ها

نتایج آمار توصیفی در [جدول شماره ۲](#) نشان داد که میانگین غلظت BDNF در مرحله پیش‌آزمون در سه گروه تمرین مقاومتی خطی ($24/95 \pm 0/70$ نانوگرم بر میلی‌لیتر)، تمرین مقاومتی غیرخطی ($25/08 \pm 0/59$ نانوگرم بر میلی‌لیتر) و کنترل ($25/03 \pm 0/42$ نانوگرم بر میلی‌لیتر) بسیار نزدیک به یکدیگر بود که بیانگر همگنی اولیه گروه‌ها است. پس از ۸ هفته مداخله، میانگین BDNF در گروه تمرین مقاومتی خطی به $28/39 \pm 0/83$ نانوگرم بر میلی‌لیتر و در گروه تمرین مقاومتی غیرخطی به $31/49 \pm 0/75$ نانوگرم بر میلی‌لیتر افزایش یافت، در حالی که در گروه کنترل میانگین BDNF به $24/59 \pm 0/41$ نانوگرم بر میلی‌لیتر کاهش اندکی نشان داد. نتایج آمار توصیفی نشان داد که در مرحله پیش‌آزمون، میانگین قدرت عضلات پایین‌تنه در گروه خطی $2/10 \pm 55/88$ کیلوگرم، گروه غیرخطی $2/03 \pm 56/13$ کیلوگرم، و گروه کنترل $1/73 \pm 55/88$ کیلوگرم به دست آمد. نزدیکی میانگین‌ها در مرحله پیش‌آزمون نشان‌دهنده همگنی اولیه گروه‌ها از نظر قدرت عضلانی بود. پس از ۸ هفته مداخله، قدرت پایین‌تنه در گروه تمرین خطی از $55/88$ به $65/38$ کیلوگرم افزایش یافت و در گروه غیرخطی این افزایش بیشتر بود؛ به‌طوری‌که میانگین قدرت پایین‌تنه از $56/13$ به $69/13$ کیلوگرم رسید. در مقابل، گروه کنترل کاهش جزئی قدرت پایین‌تنه را نشان داد.

جدول ۲- سطوح متغیرها به تفکیک گروه‌ها

متغیر	گروه	مرحله آزمون	میانگین	انحراف استاندارد
BDNF (نانوگرم بر میلی‌لیتر)	مقاومتی خطی	پیش‌آزمون	۲۴/۹۵	۰/۷۰
		پس‌آزمون	۲۸/۳۹	۰/۸۳
	مقاومتی غیرخطی	پیش‌آزمون	۲۵/۰۸	۰/۵۹
		پس‌آزمون	۳۱/۴۹	۰/۷۵
	کنترل	پیش‌آزمون	۲۵/۰۳	۰/۴۲
		پس‌آزمون	۲۴/۵۹	۰/۴۱
قدرت پایین‌تنه (کیلوگرم)	مقاومتی خطی	پیش‌آزمون	۵۵/۱۳	۲/۱۰
		پس‌آزمون	۶۵/۳۸	۳/۰۰
	مقاومتی غیرخطی	پیش‌آزمون	۵۶/۱۳	۲/۰۳
		پس‌آزمون	۶۹/۱۳	۲/۴۲
	کنترل	پیش‌آزمون	۵۵/۸۸	۱/۷۳
		پس‌آزمون	۵۴/۶۳	۱/۶۸

به‌منظور بررسی همگنی اولیه گروه‌ها در مرحله پیش‌آزمون، میانگین سطح BDNF و قدرت پایین تنه در سه گروه با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه مقایسه شد. نتایج نشان داد که بین سه گروه در مرحله پیش‌آزمون تفاوت آماری معناداری وجود نداشت ($p > 0.05$)؛ بنابراین، گروه‌ها از نظر سطح BDNF و قدرت پایین تنه در شروع پژوهش از همگنی و وضعیت اولیه مشابهی برخوردار بودند. نتایج آزمون t وابسته در **جدول شماره ۳** نشان داد که ۸ هفته تمرین مقاومتی موجب تغییر معنادار سطح BDNF در گروه‌های مورد مطالعه شد. در گروه تمرین مقاومتی خطی، میانگین غلظت BDNF از $24/95 \pm 0/70$ نانوگرم بر میلی‌لیتر در مرحله پیش‌آزمون به $28/39 \pm 0/83$ نانوگرم بر میلی‌لیتر در مرحله پس‌آزمون افزایش یافت که نشان‌دهنده $13/79$ درصد افزایش در این شاخص می‌باشد. این افزایش از نظر آماری معنادار بود ($P \leq 0/001$). در گروه تمرین مقاومتی غیرخطی، سطح BDNF از $25/08 \pm 0/59$ نانوگرم بر میلی‌لیتر به $31/49 \pm 0/75$ نانوگرم بر میلی‌لیتر افزایش یافت که معادل $25/56$ درصد افزایش بود. این تغییر نیز از نظر آماری معنادار گزارش شد ($P \leq 0/001$). مقایسه میزان تغییرات نشان داد که افزایش BDNF در گروه غیرخطی تقریباً دو برابر گروه خطی بوده است. در گروه کنترل، برخلاف گروه‌های تمرینی، سطح BDNF از $25/03 \pm 0/42$ نانوگرم بر میلی‌لیتر به $24/59 \pm 0/41$ نانوگرم بر میلی‌لیتر کاهش یافت که معادل $1/76$ درصد کاهش بود. همچنین نتایج آزمون t وابسته نشان داد که ۱۲ هفته تمرین مقاومتی موجب افزایش معنادار قدرت پایین‌تنه در گروه‌های تمرینی شد. در گروه تمرین مقاومتی خطی، میانگین قدرت پرس پا از $55/88 \pm 2/10$ کیلوگرم در پیش‌آزمون به $65/38 \pm 3/00$ کیلوگرم در پس‌آزمون افزایش یافت که نشان‌دهنده $17/03$ درصد افزایش بود و این تغییر از نظر آماری معنادار گزارش شد ($p \leq 0/001$). همچنین در گروه تمرین مقاومتی غیرخطی، قدرت پایین‌تنه از $56/13 \pm 2/03$ کیلوگرم به $69/13 \pm 2/42$ کیلوگرم افزایش یافت که معادل $21/17$ درصد افزایش بود. میزان بهبود قدرت در گروه غیرخطی بیشتر از گروه خطی مشاهده شد. در مقابل، گروه کنترل کاهش جزئی در قدرت پایین‌تنه نشان داد؛ به‌طوری‌که میانگین قدرت از $55/88 \pm 1/73$ کیلوگرم به $54/63 \pm 1/68$ کیلوگرم کاهش یافت که از نظر آماری معنادار بود ($P = 0/041$).

جدول ۳- نتایج بررسی تغییرات درون‌گروهی سطح متغیرها در گروه‌ها

گروه	پیش‌آزمون M $\pm$ SD	پس‌آزمون M $\pm$ SD	مقادیر t	درصد تغییرات	P درون گروهی
BDNF					
(بر حسب نانوگرم بر میلی‌لیتر)					
مقاومتی خطی	$24/95 \pm 0/70$	$28/39 \pm 0/83$	۱۵/۸۶	۱۳/۷۹	$* \leq 0/001$
مقاومتی غیرخطی	$25/08 \pm 0/59$	$31/49 \pm 0/75$	۲۳/۴۷	۲۵/۵۶	$* \leq 0/001$
کنترل	$25/03 \pm 0/42$	$24/59 \pm 0/41$	۳/۸۹	-۱/۷۶	$0/006$
قدرت پایین‌تنه					
(کیلوگرم)					
تمرین مقاومتی خطی	$55/88 \pm 2/10$	$65/38 \pm 3/00$	-۲۴/۷۳	۱۷/۰۳	$* 0/001$
تمرین مقاومتی غیرخطی	$56/13 \pm 2/03$	$69/13 \pm 2/42$	-۳۲/۶۴	۲۱/۱۷	$* 0/001$
کنترل	$55/88 \pm 1/73$	$54/63 \pm 1/68$	۲/۳۱	-۲/۲۴	$* 0/041$

M $\pm$ SD: انحراف استاندارد $\pm$ میانگین؛ * سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ در تغییرات درون‌گروهی

نتایج آزمون تحلیل کوواریانس (ANCOVA) برای بررسی اثر گروه‌های تمرینی بر سطح BDNF پس از مداخله با کنترل اثر پیش‌آزمون در **جدول شماره ۴** نشان داد که مدل کلی از برازش مناسبی برخوردار است. مقدار F مربوط به اثر کلی مدل برابر با $102/14$ و سطح معناداری کمتر از $0/001$ بود که نشان می‌دهد ترکیب متغیر پیش‌آزمون BDNF و عامل گروه قادر است تغییرات سطح BDNF پس‌آزمون را به‌طور معناداری تبیین کند. همچنین مقدار ضریب تعیین مدل $Adjusted = 0/939$ (R^2) نشان داد که حدود $39/9$ درصد از واریانس سطح BDNF پس‌آزمون توسط مدل آماری پژوهش تبیین می‌شود که بیانگر قدرت تبیین بسیار بالای مدل می‌باشد. اثر کوواریانس سطح BDNF پیش‌آزمون نیز معنادار بود ($F = 15/63$; $p \leq 0/001$) و اندازه اثر آن $Eta^2 = 0/439$ نشان داد که مقدار اولیه BDNF نقش قابل توجهی در تعیین سطح پس‌آزمون داشته است. مهم‌ترین

یافته مربوط به اثر اصلی گروه بود. نتایج نشان داد پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، بین سه گروه پژوهش از نظر سطح BDNF پس‌آزمون تفاوت معناداری وجود دارد ($F=145/25$; $p \leq 0/001$). همچنین اندازه اثر عامل گروه ($\eta^2 = 0/935$) نشان داد که نوع مداخله تمرینی اثر بسیار بزرگی بر تغییرات سطح BDNF داشته است. بنابراین، تفاوت ایجادشده در سطح BDNF بین گروه‌ها ناشی از اثر برنامه‌های تمرینی بوده است. همچنین نتایج تحلیل کوواریانس برای بررسی اثر گروه‌های تمرینی بر قدرت پایین‌تنه پس از مداخله با کنترل اثر پیش‌آزمون نشان داد که مدل کلی از برازش بسیار مناسبی برخوردار است. مقدار F مربوط به اثر کلی مدل برابر با $154/32$ و سطح معناداری کمتر از $0/001$ بود که نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در تبیین تغییرات قدرت پایین‌تنه پس‌آزمون است. همچنین مقدار ضریب تعیین مدل ($R^2 = 0/935$) و ضریب تعیین تعدیل‌شده ($0/929$) ($\text{Adjusted } R^2 =$) نشان داد که حدود $93/5$ درصد از واریانس قدرت پایین‌تنه پس‌آزمون توسط متغیرهای واردشده در مدل توضیح داده می‌شود. اثر کوواریانس (قدرت پایین‌تنه پیش‌آزمون) نیز معنادار بود ($F=19/02$; $p \leq 0/001$) و اندازه اثر آن ($\eta^2 = 0/373$) نشان داد که سطح اولیه قدرت پایین‌تنه در پیش‌بینی نتایج پس‌آزمون نقش دارد. پس از کنترل اثر پیش‌آزمون، اثر اصلی گروه نیز معنادار باقی ماند ($F=222/05$; $p \leq 0/001$). اندازه اثر عامل گروه ($\eta^2 = 0/933$) نشان‌دهنده اثر بسیار بزرگ نوع تمرین مقاومتی بر افزایش قدرت پایین‌تنه بود. با توجه به معنادار بودن اثر گروه، آزمون تعقیبی بنفرونی برای تعیین تفاوت بین گروه‌ها انجام شد. با توجه به معنادار بودن اثر گروه، برای تعیین محل دقیق تفاوت بین گروه‌ها از آزمون تعقیبی بنفرونی استفاده شد.

جدول ۴- نتایج آزمون تحلیل واریانس آنکوا سطح سرمی BDNF

متغیر	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	f	سطح معناداری	اندازه اثر*
BDNF	اثر کلی مدل	۱۸۸/۵۶	۳	۶۲/۸۵	۱۰۲/۱۴	*** ۰/۰۰۱	۰/۹۳۹
	مقدار ثابت مدل	۳/۲۱	۱	۳/۲۱	۵/۲۱	*** ۰/۰۳۳	۰/۲۰۷
	اثر کوواریت	۹/۶۲	۱	۹/۶۲	۱۵/۶۳	*** ۰/۰۰۱	۰/۴۳۹
	گروه	۱۷۸/۹۴	۲	۸۹/۴۷	۱۴۵/۲۵	*** ۰/۰۰۱	۰/۹۳۵
	خطای مدل	۱۲/۳۲	۳۲	۰/۶۱۶			
	مجموع	۲۰۰/۸۸	۳۵				
قدرت پایین تنه	اثر کلی مدل	۱۲۸۶/۴۵	۳	۴۲۸/۸۱	۱۵۴/۳۲	*** ۰/۰۰۱	۰/۹۳۵
	مقدار ثابت مدل	۱۸/۲۶	۱	۱۸/۲۶	۶/۵۷	*** ۰/۰۱۵	۰/۱۷۰
	اثر کوواریانس (پیش‌آزمون)	۵۲/۸۴	۱	۵۲/۸۴	۱۹/۰۲	*** ۰/۰۰۱	۰/۳۷۳
	قدرت پایین تنه (گروه)	۱۲۳۳/۶۱	۲	۶۱۶/۸۰	۲۲۲/۰۵	*** ۰/۰۰۱	۰/۹۳۳
	خطای مدل	۸۸/۹۳	۳۲	۲/۷۸			
	مجموع	۱۳۷۵/۳۸	۳۵				

تغیرات BDNF: $R^2 = 0/939$; Adjusted R Squared: $0/930$; $\eta^2 = 0/933$; تغییرات قدرت پایین تنه: $R^2 = 0/935$ ؛ $\eta^2 = 0/929$; Adjusted R Squared: $0/929$ ؛ $\eta^2 = 0/933$ ؛ سطح معناداری کمتر از $0/05$

نتایج آزمون تعقیبی بنفرونی در [جدول شماره ۵](#) نشان داد که بین گروه‌های پژوهش در سطح BDNF پس از مداخله تفاوت‌های معناداری وجود دارد. مقایسه گروه تمرین مقاومتی خطی با گروه تمرین مقاومتی غیرخطی نشان داد که میانگین تعدیل‌شده BDNF در گروه غیرخطی به میزان $3/10$ نانوگرم بر میلی‌لیتر بیشتر از گروه خطی بود و این اختلاف از نظر آماری معنادار گزارش شد ($P \leq 0/001$). این یافته نشان می‌دهد که تمرین مقاومتی غیرخطی اثر بیشتری نسبت به الگوی خطی در افزایش BDNF داشته است. همچنین مقایسه گروه تمرین مقاومتی خطی با گروه کنترل نشان داد که سطح BDNF در گروه خطی به میزان $3/80$ نانوگرم بر میلی‌لیتر بالاتر از گروه کنترل بود و این تفاوت معنادار بود ($P \leq 0/001$). بنابراین، تمرین

مقاومتی خطی توانسته است از کاهش سطح BDNF جلوگیری کرده و موجب افزایش آن نسبت به شرایط بدون تمرین شود. در مقایسه گروه تمرین مقاومتی غیرخطی با گروه کنترل نیز مشاهده شد که گروه غیرخطی دارای ۶/۹۰ نانوگرم بر میلی‌لیتر سطح BDNF بالاتر نسبت به گروه کنترل بود که این اختلاف نیز معنادار بود ($P \leq 0/001$). این نتیجه بیانگر تأثیر قوی‌تر تمرین مقاومتی غیرخطی در افزایش عوامل نوروتروفیک نسبت به عدم انجام تمرین است. همچنین نتایج آزمون بنفرونی نشان داد که بین گروه‌های پژوهش در قدرت پایین‌تنه پس از مداخله تفاوت معناداری وجود دارد. مقایسه گروه تمرین مقاومتی خطی و غیرخطی نشان داد که قدرت پایین‌تنه در گروه غیرخطی به میزان ۲/۶۳ کیلوگرم بیشتر از گروه خطی بود و این تفاوت از نظر آماری معنادار گزارش شد ($p \leq 0/001$). همچنین گروه تمرین مقاومتی خطی در مقایسه با گروه کنترل دارای ۱۰/۷۵ کیلوگرم قدرت بیشتر بود که نشان‌دهنده تأثیر مثبت تمرین مقاومتی خطی بر افزایش قدرت پایین‌تنه است. در مقایسه گروه تمرین مقاومتی غیرخطی با گروه کنترل نیز مشاهده شد که قدرت پایین‌تنه در گروه غیرخطی ۱۳/۳۸ کیلوگرم بیشتر از گروه کنترل بود ($p \leq 0/001$).

جدول ۵- نتایج آزمون بنفرونی برای مقایسه اختلاف بین گروهی در پس آزمون مقادیر متغیرها

متغیر	گروه (I)	گروه (J)	اختلاف میانگین (I-J)	خطای استاندارد	سطح معناداری بنفرونی
BDNF	مقاومتی خطی	مقاومتی غیرخطی	-۳/۱۰	۰/۳۹	$** \leq 0/001$
	مقاومتی خطی	کنترل	۳/۸۰	۰/۳۷	$** \leq 0/001$
	مقاومتی غیرخطی	کنترل	۶/۹۰	۰/۴۱	$** \leq 0/001$
قدرت پایین تنه	مقاومتی خطی	مقاومتی غیرخطی	-۲/۶۳	۰/۴۶	$** 0/001$
	مقاومتی خطی	کنترل	۱۰/۷۵	۰/۵۱	$** 0/001$
	مقاومتی غیرخطی	کنترل	۱۳/۳۸	۰/۴۹	$** 0/001$

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که اجرای ۸ هفته تمرین مقاومتی، صرف‌نظر از نوع برنامه‌ریزی، موجب افزایش معنادار غلظت سرمی BDNF در زنان سالمند شد و این افزایش در الگوی تمرین مقاومتی غیرخطی به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از الگوی خطی بود. یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر افزایش معنادار غلظت سرمی BDNF پس از اجرای هر دو الگوی تمرین مقاومتی، به‌ویژه برتری برنامه غیرخطی نسبت به برنامه خطی، با بخش عمده‌ای از پژوهش‌های دیگر محققان همسو است. مطالعه یوو (Yu) و همکاران (۲۰۲۶) نیز مؤید یافته‌های این پژوهش است. این پژوهشگران با مرور شواهد مکانیکی و بالینی نشان دادند که تمرین مقاومتی از طریق فعال‌سازی محور عضله-مغز، افزایش ترشح آیریسین، IGF-1، IL-15 و BDNF و تقویت انعطاف‌پذیری عصبی، موجب ارتقای عملکرد شناختی سالمندان می‌شود. آنان تأکید کردند که هرچه محرک تمرینی از نظر شدت و تنوع غنی‌تر باشد، فعال‌سازی مسیرهای پیام‌رسانی وابسته به PGC-1 α /FNDC5 و CREB نیز بیشتر خواهد بود (۲۱). این تبیین با یافته پژوهش حاضر مطابقت دارد، زیرا در برنامه غیرخطی به دلیل تغییر مستمر شدت و حجم تمرین، احتمال تحریک مکرر این مسیرهای مولکولی و در نتیجه افزایش بیشتر BDNF نسبت به برنامه خطی وجود دارد. همچنین نتایج پژوهش حاضر با متآنالیز ستایش (Setayesh) و همکاران (۲۰۲۳) همسو است. این پژوهش که بر اساس ۱۱ کارآزمایی تصادفی کنترل‌شده و ۸۶۸ سالمند انجام شد، نشان داد تمرین مقاومتی به‌طور معناداری غلظت BDNF را افزایش می‌دهد و هم‌زمان موجب کاهش علائم افسردگی می‌شود. نویسندگان بیان کردند که این اثر در افراد دارای وضعیت سلامت ضعیف‌تر حتی قوی‌تر است. این یافته‌ها از این دیدگاه با نتایج پژوهش حاضر همسو است که سالمندی با کاهش تدریجی BDNF همراه است و تمرین مقاومتی می‌تواند این روند را تا حدی معکوس کند. با این حال، متآنالیز مذکور نوع برنامه‌ریزی تمرین را بررسی نکرده است (۲۲). در حالی که پژوهش حاضر نشان می‌دهد حتی در صورت یکسان بودن نوع تمرین، تغییر در مدل برنامه‌ریزی

می‌تواند شدت پاسخ نوروتروفیک را تحت تأثیر قرار دهد. از سوی دیگر، متآنالیز غلامی و همکاران (۲۰۲۵) که ۳۵ مطالعه تصادفی کنترل‌شده را مورد بررسی قرار داد، گزارش کرد که تمرینات ورزشی، به‌ویژه تمرینات مقاومتی، موجب افزایش معنادار BDNF می‌شوند و بیشترین اثر در برنامه‌های ۱۲ هفته‌ای، با شدت متوسط تا زیاد و سه تا چهار جلسه در هفته مشاهده می‌شود. این نتیجه به‌طور قابل توجهی با طراحی پژوهش حاضر مطابقت دارد؛ زیرا مدت مداخله ۱۲ هفته بوده و شدت تمرین نیز به‌تدریج به محدوده مؤثر رسیده است. علاوه بر این، یافته‌های آنان نشان دادند که تمرین مقاومتی نسبت به سایر انواع تمرین، اثر بزرگ‌تری بر افزایش BDNF دارد (۲۳). که این موضوع نیز مؤید یافته‌های پژوهش حاضر است. با وجود همسویی اکثر مطالعات، همه پژوهش‌ها افزایش معنادار BDNF را گزارش نکرده‌اند. برای مثال، هرولد (Herold) و همکاران (۲۰۱۹) در مرور نظام‌مند خود بیان کردند که اگرچه برخی مطالعات افزایش BDNF را پس از تمرین مقاومتی گزارش کرده‌اند، اما در تعدادی از کارآزمایی‌ها تغییر معناداری مشاهده نشده است. آنان علت این ناهمگنی را تفاوت در مدت مداخله، شدت تمرین، وضعیت شناختی آزمودنی‌ها، زمان نمونه‌گیری خون و روش اندازه‌گیری BDNF دانستند (۲۴). این تبیین می‌تواند اختلاف میان نتایج پژوهش حاضر و برخی مطالعات را توضیح دهد، زیرا در پژوهش حاضر از یک برنامه ۱۲ هفته‌ای با شدت پیش‌رونده و حجم کنترل‌شده استفاده شد که احتمالاً محرک کافی برای فعال‌سازی پایدار مسیرهای نوروپلاستیک را فراهم کرده است. همچنین متآنالیز غلامی و همکاران (۲۰۲۵) با وجود گزارش اثر مثبت کلی، به ناهمگنی آماری قابل توجه میان مطالعات اشاره می‌کند و نشان می‌دهد که همه کارآزمایی‌های واردشده افزایش معنادار BDNF را تجربه نکرده‌اند. تحلیل زیرگروه‌ها نشان داد که برنامه‌های کوتاه‌مدت، شدت پایین، دفعات تمرینی کمتر و تفاوت در ویژگی‌های شرکت‌کنندگان از مهم‌ترین عوامل کاهش یا عدم مشاهده پاسخ BDNF بوده‌اند (۲۳). بنابراین، عدم همسویی برخی مطالعات الزاماً به معنای بی‌اثر بودن تمرین مقاومتی نیست، بلکه بیشتر نشان‌دهنده تفاوت در نسخه تمرینی و ویژگی‌های جمعیت مورد مطالعه است. این یافته از منظر فیزیولوژی سالمندی و سازگاری‌های عصبی - عضلانی کاملاً قابل تبیین است، زیرا BDNF یکی از مهم‌ترین نوروتروفین‌های دخیل در حفظ عملکرد نورون‌ها، انعطاف‌پذیری سیناپسی، نورون‌زایی، یادگیری و حافظه محسوب می‌شود و کاهش تدریجی آن یکی از ویژگی‌های بارز فرآیند سالمندی است. با افزایش سن، کاهش فعالیت بدنی، اختلال در عملکرد میتوکندری، افزایش استرس اکسیداتیو، التهاب مزمن با شدت پایین و تغییرات هورمونی سبب افت بیان ژن BDNF و کاهش ترشح آن از بافت عصبی، عضله اسکلتی و سایر بافت‌های محیطی می‌شود (۱۸). این وضعیت نه‌تنها ظرفیت بازسازی نورون‌ها را محدود می‌کند، بلکه موجب کاهش کارایی ارتباطات سیناپسی، افت عملکرد شناختی، کاهش هماهنگی عصبی - عضلانی و افزایش خطر ابتلا به اختلالات تحلیل‌برنده عصبی می‌شود. از این‌رو، هر مداخله‌ای که بتواند تولید و ترشح BDNF را تحریک کند، از دیدگاه پیشگیری از پیامدهای سالمندی اهمیت فراوانی دارد (۱۷). تمرین مقاومتی یکی از مؤثرترین محرک‌های غیر دارویی برای افزایش BDNF محسوب می‌شود، زیرا در جریان انقباضات مکرر عضلات اسکلتی، مجموعه‌ای از پاسخ‌های مولکولی و سلولی فعال می‌شوند که در نهایت به افزایش سنتز و آزادسازی این نوروتروفین منجر می‌شوند (۱۵).

نخستین سازوکار، افزایش فعالیت نورون‌های حرکتی و شبکه‌های عصبی مرکزی در پاسخ به نیاز فزاینده برای کنترل انقباضات عضلانی است. هرچه شدت و پیچیدگی فعالیت عضلانی بیشتر باشد، تحریک قشر حرکتی، مخچه، هیپوکامپ و سایر نواحی مغزی نیز افزایش یافته و این تحریکات عصبی، بیان ژن BDNF را در بافت عصبی تقویت می‌کند. هم‌زمان، عضله اسکلتی نیز به‌عنوان یک اندام درون‌ریز عمل کرده و با ترشح مایوکاین‌هایی مانند ایریزین، کاتپسین B و IGF-1، مسیرهای پیام‌رسانی مؤثر بر سنتز BDNF را فعال می‌کند (۱۰). به‌ویژه افزایش ایریزین ناشی از فعالیت عضلانی با تحریک مسیر PGC-1 α /FNDC5، یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش بیان BDNF در هیپوکامپ و سایر نواحی مغزی شناخته می‌شود. علاوه بر این،

افزایش جریان خون مغزی، بهبود عملکرد عروق، افزایش تولید نیتریک اکسید و ارتقای اکسیژن‌رسانی به بافت عصبی شرایط مناسبی را برای افزایش تولید و ترشح BDNF فراهم می‌کند (۸). کاهش التهاب سیستمیک، مهار تولید سایتوکاین‌های التهابی، بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش استرس اکسیداتیو نیز از دیگر مسیرهایی هستند که از تخریب نورون‌ها جلوگیری کرده و بیان این نوروتروفین را افزایش می‌دهند. در کنار این عوامل، تمرین مقاومتی با افزایش حساسیت به انسولین، بهبود عملکرد میتوکندری، افزایش ظرفیت تولید ATP و فعال شدن مسیرهای وابسته به CREB و CaMKII، شرایط سلولی مطلوبی برای افزایش رونویسی ژن BDNF ایجاد می‌کند (۲۱). بنابراین، افزایش BDNF مشاهده‌شده در هر دو گروه تمرینی را می‌توان حاصل تعامل هم‌زمان مجموعه‌ای از سازگاری‌های عصبی، عضلانی، متابولیکی، هورمونی و عروقی دانست که طی دوره تمرین ایجاد شده‌اند (۲۲). اگرچه هر دو مدل تمرینی موجب افزایش BDNF شدند، اما برتری الگوی تمرین مقاومتی غیرخطی نسبت به الگوی خطی احتمالاً ناشی از ماهیت متغیر و پویای این نوع برنامه‌ریزی است. در تمرینات خطی، شدت و حجم تمرین به‌صورت تدریجی و نسبتاً قابل پیش‌بینی تغییر می‌کند و بدن پس از چند هفته به الگوی اعمال‌شده سازگار می‌شود. این سازگاری، هرچند برای افزایش قدرت و عملکرد عضلانی مفید است، اما ممکن است به کاهش تدریجی شدت تحریک مسیرهای مولکولی مسئول تولید نوروتروفین‌ها منجر شود. در مقابل، برنامه‌ریزی غیرخطی با ایجاد تغییرات مداوم در شدت، حجم، تعداد تکرارها، زمان استراحت و بار تمرینی، از ایجاد سازگاری زود هنگام جلوگیری می‌کند و همواره یک محرک جدید برای سیستم عصبی و عضلانی فراهم می‌آورد (۱۸). این تنوع باعث می‌شود نورون‌های حرکتی، واحدهای حرکتی و شبکه‌های عصبی مرکزی در هر جلسه با شرایط متفاوتی روبرو شوند و برای پاسخگویی به این تغییرات، فعالیت نورونی و سازوکارهای نوروپلاستیسته در سطح بالاتری حفظ شوند. استمرار این تحریکات متنوع می‌تواند بیان ژن BDNF و آزادسازی آن را بیش از الگوی خطی افزایش دهد (۱۴). از سوی دیگر، تغییرات مستمر شدت تمرین در برنامه غیرخطی موجب درگیری هم‌زمان طیف گسترده‌ای از واحدهای حرکتی، از فیبرهای کندانقباض تا فیبرهای تندانقباض، می‌شود. این ویژگی سبب افزایش فعالیت عضلانی، ترشح بیشتر مایوکاین‌ها و تقویت ارتباط متقابل میان عضله و مغز می‌شود. افزایش ترشح ایریزین، IGF-1 و سایر فاکتورهای رشد در پاسخ به این الگوی تمرینی می‌تواند مسیرهای پیام‌رسانی مؤثر بر تولید BDNF را با شدت بیشتری فعال کند (۱۲). همچنین، تغییرات مداوم بار تمرینی باعث فعال ماندن مسیر AMPK-PGC-1 α و افزایش بیان FNDC5 شده و در نتیجه انتقال پیام از عضله به مغز برای افزایش تولید BDNF با کارایی بیشتری انجام می‌شود. این ارتباط دوسویه میان عضله و سیستم عصبی احتمالاً یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش بیشتر BDNF در گروه تمرین غیرخطی است (۱۳).

از منظر هورمونی نیز، برنامه‌ریزی غیرخطی می‌تواند پاسخ‌های سازگارانۀ مطلوب‌تری ایجاد کند. تغییر متناوب شدت و حجم تمرین، ضمن ایجاد تحریک کافی برای فعال شدن مسیرهای آنابولیک، از تجمع بیش از حد خستگی و افزایش مزمن هورمون‌های کاتابولیک جلوگیری می‌کند (۲۲). در نتیجه، تعادل مناسب‌تری میان هورمون‌های آنابولیک و کاتابولیک برقرار می‌شود که این شرایط برای حفظ سلامت نورون‌ها و افزایش تولید نوروتروفین‌ها مناسب‌تر است. علاوه بر این، کاهش یکنواختی تمرین، افزایش انگیزش، مشارکت فعال‌تر افراد سالمند و کاهش خستگی روانی نیز می‌تواند با افزایش فعالیت شبکه‌های شناختی و هیجانی مغز، به‌طور غیرمستقیم در افزایش BDNF نقش داشته باشد (۲۳). نکته قابل توجه آن است که تفاوت مشاهده‌شده میان دو گروه صرفاً به میزان بار تمرینی وابسته نیست، بلکه به کیفیت توزیع محرک تمرینی نیز مربوط می‌شود. در برنامه غیرخطی، نوسانات هدفمند شدت و حجم تمرین موجب می‌شود سلول‌های عصبی و عضلانی در معرض محرک‌هایی با ویژگی‌های متفاوت قرار گیرند و مسیرهای مولکولی متعددی به‌طور هم‌زمان فعال شوند (۲۴). در مقابل، الگوی خطی عمدتاً بر یک روند تدریجی و یکنواخت تکیه دارد و هرچند موجب سازگاری مؤثر می‌شود، اما از نظر تنوع تحریک نوروفیزیولوژیک، ظرفیت کمتری برای حفظ فعال بودن مسیرهای مرتبط با نوروپلاستیسته دارد. به همین دلیل، افزایش ۲۵/۵۶ درصدی

BDNF در گروه تمرین مقاومتی غیرخطی در مقایسه با افزایش ۷۹/۱۳ درصدی گروه تمرین مقاومتی خطی، نشان می‌دهد که تنوع برنامه‌ریزی تمرین نه تنها موجب ارتقای سازگاری‌های عضلانی، بلکه باعث تقویت سازگاری‌های عصبی و افزایش ظرفیت نوروتروفیک نیز می‌شود. این موضوع بیانگر آن است که در زنان سالمند، ایجاد محرک‌های متغیر و برنامه‌ریزی شده می‌تواند راهبردی مؤثرتر برای مقابله با افت وابسته به سن در عملکرد عصبی و شناختی باشد و از طریق تقویت تولید BDNF، نقش مهمی در حفظ سلامت مغز، افزایش انعطاف‌پذیری عصبی و ارتقای کیفیت عملکرد جسمانی و شناختی ایفا کند.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که اجرای هر دو مدل برنامه‌ریزی تمرین مقاومتی خطی و غیرخطی موجب افزایش معنادار قدرت عضلات پایین تنه زنان سالمند شد، اما میزان افزایش قدرت در گروه تمرین مقاومتی غیرخطی بیشتر از گروه تمرین مقاومتی خطی بود. یافته حاضر با مطالعه مطالعه آگوستینو (Agostinho) و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد که هر دو نوع تمرین مقاومتی سنتی و تمرین فلاویول اینرسی موجب افزایش معنادار قدرت و عملکرد زنان سالمند شد (۲۵). این یافته با نتایج حاضر هماهنگ است و نشان می‌دهد که عضلات پایین تنه سالمندان قابلیت سازگاری بالایی در برابر انواع مختلف محرک مقاومتی دارند. مطالعه جاکوب (Jacob) و همکاران (۲۰۲۵) نیز نشان داد که تمرین مقاومتی موجب افزایش سنتز پروتئین عضله، توده بدون چربی، قدرت و عملکرد فیزیکی زنان سالمند می‌شود (۲۶). این نتایج از این دیدگاه حمایت می‌کند که افزایش قدرت پایین تنه پس از تمرین، حاصل مجموعه‌ای از تغییرات ساختاری و عملکردی در عضله است. یافته مطالعه حاضر، از نظر عملکردی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا عضلات پایین تنه نقش اصلی را در تحمل وزن بدن، حفظ تعادل، راه رفتن، بالا رفتن از پله‌ها، برخاستن از صندلی و انجام بسیاری از فعالیت‌های ضروری زندگی روزمره ایفا می‌کنند. در سالمندی، ضعف عضلات اندام تحتانی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش تحرک، افزایش وابستگی عملکردی و افزایش خطر زمین خوردن محسوب می‌شود (۱۷). کاهش قدرت عضلات چهارسر ران، سרینی و عضلات ساق می‌تواند توانایی تولید نیروی لازم برای غلبه بر وزن بدن را محدود کرده و الگوی راه رفتن را کندتر و ناپایدارتر سازد. از این رو، هرگونه افزایش در قدرت عضلات پایین تنه می‌تواند به طور مستقیم بر حفظ استقلال عملکردی و کیفیت زندگی سالمندان اثرگذار باشد (۲۴). افزایش قدرت عضلات پایین تنه در پاسخ به تمرین مقاومتی را می‌توان نتیجه سازگاری‌های عملکردی ویژه‌ای دانست که در عضلات تحمل‌کننده وزن ایجاد می‌شود. عضلات اندام تحتانی در فعالیت‌های روزمره به طور مداوم درگیر تحمل بار هستند، اما شدت این بار معمولاً برای حفظ یا افزایش قدرت کافی نیست. تمرین مقاومتی با اعمال بارهای فراتر از سطح فعالیت روزانه، موجب افزایش ظرفیت تولید نیرو در این عضلات می‌شود (۲۱). در مراحل اولیه تمرین، سالمندان یاد می‌گیرند چگونه از عضلات خود به صورت کارآمدتری استفاده کنند؛ به عبارت دیگر، الگوی توزیع نیرو بین عضلات ران، لگن و ساق بهبود می‌یابد و بدن می‌تواند با ائتلاف انرژی کمتر، نیروی بیشتری تولید کند (۶). این سازگاری عملکردی به ویژه در حرکاتی مانند برخاستن از صندلی و بالا رفتن از پله‌ها اهمیت دارد، زیرا این فعالیت‌ها نیازمند هماهنگی دقیق میان مفاصل ران، زانو و مچ پا هستند (۵). با ادامه دوره تمرین، تغییرات ساختاری در عضلات پایین تنه نیز آشکار می‌شود. تمرین مقاومتی موجب افزایش ضخامت عضلات چهارسر ران و عضلات سרینی، افزایش تراکم پروتئین‌های انقباضی و بهبود معماری عضله می‌شود. یکی از ویژگی‌های مهم عضلات پایین تنه، زاویه پینه‌ای (Pennation angle) و طول فاسیکل‌ها است که بر توانایی تولید نیرو تأثیر می‌گذارد (۱۲). تمرین مقاومتی می‌تواند با افزایش زاویه پینه‌ای و بهبود آرایش فیبرهای عضلانی، ظرفیت تولید نیروی عضله را افزایش دهد. همچنین، افزایش سفتی تاندون‌ها و بهبود انتقال نیرو از عضله به استخوان، موجب می‌شود نیروی تولیدشده با کارایی بیشتری به حرکت تبدیل شود. این موضوع در سالمندان اهمیت زیادی دارد، زیرا با افزایش سن، خاصیت ارتجاعی تاندون‌ها کاهش یافته و بخشی از نیروی عضله در بافت‌های نرم جذب می‌شود (۱۷). یکی دیگر از سازگاری‌های مهم، بهبود توانایی عضلات پایین تنه در تولید نیرو در زمان کوتاه

است. بسیاری از سقوط‌ها زمانی رخ می‌دهند که سالمند فرصت کافی برای واکنش ندارد و باید در کسری از ثانیه نیروی لازم برای حفظ تعادل را تولید کند (۱۶). تمرین مقاومتی، به‌ویژه زمانی که با شدت‌ها و سرعت‌های متفاوت اجرا شود، می‌تواند سرعت توسعه نیرو (Rate of Force Development) را بهبود بخشد. این ویژگی باعث می‌شود سالمندان بتوانند سریع‌تر به اختلالات تعادلی پاسخ دهند و احتمال سقوط کاهش یابد (۸). بنابراین، افزایش قدرت پایین‌تنه در پژوهش حاضر احتمالاً تنها به معنای افزایش حداکثر نیروی عضلانی نیست، بلکه نشان‌دهنده بهبود ظرفیت عملکردی عضلات برای مقابله با چالش‌های حرکتی روزمره نیز هست (۱۱). برتری برنامه‌ریزی غیرخطی نسبت به برنامه‌ریزی خطی را می‌توان با نیازهای عملکردی متنوع عضلات پایین‌تنه توضیح داد. در فعالیت‌های روزمره، عضلات اندام تحتانی هم باید توان تولید نیروی زیاد برای برخاستن و بالا رفتن از پله را داشته باشند و هم باید بتوانند برای مدت طولانی در هنگام راه رفتن و ایستادن فعال باقی بمانند. برنامه‌ریزی غیرخطی با تغییر هدفمند شدت و حجم تمرین، این امکان را فراهم می‌کند که عضلات در شرایط متفاوتی از تولید نیرو قرار گیرند (۱۶)؛ برخی جلسات بر تولید نیروی بیشتر و برخی دیگر بر تحمل بار و کنترل حرکتی تأکید دارند. این تنوع، سازگاری‌های گسترده‌تری در عضلات پایین‌تنه ایجاد می‌کند و باعث می‌شود بهبود قدرت به شرایط آزمایشگاهی محدود نشود، بلکه به فعالیت‌های واقعی زندگی نیز منتقل گردد (۲۱). از سوی دیگر، عضلات پایین‌تنه به دلیل حجم عضلانی بیشتر، نسبت به خستگی تجمع‌ی حساس‌تر هستند. برنامه‌ریزی غیرخطی با توزیع متغیر بار تمرینی، فرصت بازیابی بهتری برای عضلات ران و لگن فراهم می‌کند و از کاهش کیفیت اجرای حرکات جلوگیری می‌شود (۲۲). حفظ کیفیت حرکاتی مانند اسکوات، پرس پا و حرکات تعادلی باعث می‌شود الگوی حرکتی صحیح در طول دوره تمرین تثبیت شود و عضلات هدف با اثربخشی بیشتری تحریک شوند. در مقابل، در برنامه‌های یکنواخت، خستگی تجمع‌ی ممکن است موجب تغییر الگوی حرکت، کاهش دامنه حرکتی و کاهش درگیری عضلات اصلی شود و در نتیجه دامنه سازگاری‌ها محدودتر گردد (۹). همچنین، تغییرات مداوم شدت تمرین در برنامه غیرخطی موجب می‌شود عضلات پایین‌تنه در برابر دامنه وسیع‌تری از تنش‌های مکانیکی قرار گیرند. این تنوع تنش، فیبرهای عضلانی با ویژگی‌های متفاوت را درگیر می‌کند و موجب بهبود هم‌زمان قدرت، استقامت عضلانی و کنترل حرکتی می‌شود. در سالمندان، که معمولاً بخشی از فیبرهای تندانقباض را از دست داده‌اند، چنین محرک متنوعی می‌تواند به حفظ و فعال‌سازی بهتر فیبرهای باقی‌مانده کمک کند و ظرفیت عملکردی اندام تحتانی را بیش از برنامه خطی افزایش دهد (۲). این موضوع می‌تواند دلیل افزایش ۱۷/۲۱ درصدی قدرت پایین‌تنه در گروه تمرین غیرخطی در مقایسه با افزایش ۰۳/۱۷ درصدی گروه خطی باشد. از منظر کاربردی، افزایش بیشتر قدرت پایین‌تنه در گروه تمرین غیرخطی می‌تواند پیامدهای بسیار مهمی برای سلامت سالمندان داشته باشد. قدرت بیشتر عضلات ران و لگن با بهبود سرعت راه رفتن، افزایش طول گام، کاهش زمان برخاستن از صندلی و بهبود تعادل پویا همراه است (۱۳). این تغییرات نه تنها خطر سقوط را کاهش می‌دهند، بلکه موجب افزایش اعتمادبه‌نفس حرکتی و مشارکت بیشتر سالمندان در فعالیت‌های اجتماعی و بدنی می‌شوند. علاوه بر این، حفظ قدرت اندام تحتانی می‌تواند از چرخه معیوب «کاهش فعالیت → ضعف عضلانی → کاهش تحرک → ضعف بیشتر» جلوگیری کرده و روند ناتوانی عملکردی را کند سازد (۱۵).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که هر دو مدل برنامه‌ریزی تمرین مقاومتی خطی و غیرخطی می‌توانند به‌عنوان راهبردهایی مؤثر برای بهبود شاخص‌های زیستی و عملکردی زنان سالمند ۶۵ تا ۷۰ سال مورد استفاده قرار گیرند. اجرای ۸ هفته تمرین مقاومتی در هر دو گروه موجب افزایش معنادار غلظت سرمی BDNF، افزایش قدرت عضلات پایین‌تنه شد. با این حال، در تمامی متغیرهای مورد بررسی، برنامه‌ریزی تمرین مقاومتی غیرخطی نسبت به برنامه‌ریزی خطی اثربخشی بیشتری

نشان داد. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه هر دو الگوی تمرینی برای ارتقای سلامت سالمندان مفید هستند، اما برنامه‌ریزی غیرخطی با فراهم کردن سازگاری‌های گسترده‌تر در سطوح مولکولی، فیزیولوژیکی و عملکردی، گزینه مناسب‌تر و کارآمدتری برای بهبود سلامت عصبی و عملکرد جسمانی زنان سالمند محسوب می‌شود و می‌تواند به حفظ استقلال عملکردی، کاهش خطر بیماری‌های مرتبط با سالمندی و ارتقای کیفیت زندگی این گروه کمک کند.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه دارای کد اخلاق به شماره IR.IAU.SARI.REC.1404.067 از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری است.

حامی مالی

این تحقیق هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌پردازی، زهرا سرلک؛ روش‌شناسی، نفیسه پورپاشا؛ تحلیل داده‌ها، زهرا سرلک؛ انجام پژوهش، فروزان فتاحی مسرور؛ گردآوری و مدیریت داده‌ها، زهرا سرلک؛ نگارش پیش‌نویس اولیه، زهرا سرلک؛ نظارت، فروزان فتاحی مسرور؛ مدیریت پروژه، زهرا سرلک.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از اساتید و مدیریت دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز که در انجام این مطالعه کمال همکاری را داشته‌اند سپاسگزاری می‌گردد.

References

1. Jo J, Wong G, Williams KL, Davis PJ, Rigney GH, Zuckerman SL, et al. Age of First Exposure to Contact Sports Is Not Associated With Worse Later-In-Life Brain Health in a Cohort of Community-Dwelling Older Men. *Clin J Sport Med*. 2025;35(1):52-59. doi: [10.1097/JSM.0000000000001251](https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001251)
2. Polidori MC. Aging hallmarks, biomarkers, and clocks for personalized medicine:(re) positioning the limelight. *Free Radical Biology and Medicine*. 2024; 215:48-55. doi: [10.1016/j.freeradbiomed.2024.02.012](https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2024.02.012)
3. Espino-Gonzalez E, Dalbram E, Mounier R, Gondin J, Farup J, Jessen N, et al. Impaired skeletal muscle regeneration in diabetes: from cellular and molecular mechanisms to novel treatments. *Cell Metabolism*. 2024; 36(6):1204-36. doi: [10.1016/j.cmet.2024.02.014](https://doi.org/10.1016/j.cmet.2024.02.014)
4. Shin M, Ha T, Lee S, Li C, Choi JH, Choi JW. Biohybrid motor neuron spheroid composed of graphene/HUVEC/neural cell for 3D biosensing system to evaluate drug of amyotrophic lateral sclerosis. *Nano Convergence*. 2025; 12(1):29. doi: [10.1186/s40580-025-00495-0](https://doi.org/10.1186/s40580-025-00495-0)
5. Brooks SV, Guzman SD, Ruiz LP. Skeletal muscle structure, physiology, and function. *Handb Clin Neurol*. 2023;195:3-16. doi: [10.1016/B978-0-323-98818-6.00013-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98818-6.00013-3)
6. Bulgay C, Zorba E, Kazan HH, Bayraktar I, M, Ergün MA, G, RA, et al. BDNF coexpresses with MTOR and is associated with muscle fiber size, lean mass and power-related traits. *European Journal of Applied Physiology*. 2025;1-2. doi: [10.1007/s00421-025-05804-3](https://doi.org/10.1007/s00421-025-05804-3)

7. Edman S, Horwath O, Van der Stede T, Blackwood SJ, Moberg I, Strömlind H, et al. Pro-brain-derived neurotrophic factor (BDNF), but not mature BDNF, is expressed in human skeletal muscle: implications for exercise-induced neuroplasticity. *Function*. 2024; 5(3):zqae005. doi: [10.1007/s00592-023-02210-z](https://doi.org/10.1007/s00592-023-02210-z)
8. Li L, Guan X, Huang Y, Qu B, Yao B, Ding H. Identification of key genes and signaling pathways based on transcriptomic studies of aerobic and resistance training interventions in sarcopenia in SAMP8 mice. *Sports Medicine and Health Science*. 2024; 6(4):358-69. doi: [10.1016/j.smhs.2024.01.005](https://doi.org/10.1016/j.smhs.2024.01.005)
9. Cao J, Zhang F, Xiong W. Discovery of Aptamers and the Acceleration of the Development of Targeting Research in Ophthalmology. *Int J Nanomedicine*. 2023;18:4421-4430. doi: [10.2147/IJN.S418115](https://doi.org/10.2147/IJN.S418115)
10. Dupuis O, Girardie J, Van Gaeve M, Garnier P, Coq JO, Canu MH, Dupont E. Early movement restriction affects FNDC5/irisin and BDNF levels in rat muscle and brain. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(7):3918. doi: [10.3390/ijms25073918](https://doi.org/10.3390/ijms25073918)
11. Duranti E, Villa C. Muscle Involvement in Amyotrophic Lateral Sclerosis: Understanding the Pathogenesis and Advancing Therapeutics. *Biomolecules*. 2023;13(11):1582. doi: [10.3390/biom13111582](https://doi.org/10.3390/biom13111582)
12. Yang Y, Feng Z, Luo YH, Chen JM, Zhang Y, Liao YJ, Jiang H, Long Y, Wei B. Exercise-Induced Central Fatigue: Biomarkers and Non-Medicinal Interventions. *Aging and Disease*. 2024; 16(3):1302. doi: [10.14336/AD.2024.0567](https://doi.org/10.14336/AD.2024.0567)
13. Leger C, Quirié A, Méloux A, Fontanier E, Chaney R, Basset C, et al. Impact of exercise intensity on cerebral BDNF levels: role of FNDC5/irisin. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(2):1213. doi: [10.3390/ijms25021213](https://doi.org/10.3390/ijms25021213)
14. Zuo C, Yin Y, Wang H, Zheng Z, Ma X, et al. Enhancing classification of a large lower-limb motor imagery EEG dataset for BCI in knee pain patients. *Sci Data*. 2025;12(1):1451: [10.1038/s41597-025-05767-2](https://doi.org/10.1038/s41597-025-05767-2)
15. Baumgartner NW, Belbis MD, Kargl C, Holmes MJ, Gavin TP, Hirai DM, et al. Acute Effects of High-Intensity Resistance Exercise on Recognition of Relational Memory, Lactate, and Serum and Plasma Brain-Derived Neurotrophic Factor. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2024; 38(11):1867-78. doi: [10.1519/JSC.0000000000004851](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004851)
16. Liu HW, Lee OK. Effects of resistance training with elastic bands on bone mineral density, body composition, and osteosarcopenic obesity in elderly women: A meta-analysis. *Journal of Orthopaedics*. 2024;53: 168-75. doi: [10.1016/j.jor.2024.03.039](https://doi.org/10.1016/j.jor.2024.03.039)
17. Tang L, Zhang L, Liu Y, Li Y, Yang L, Zou M, et al. Optimal dose and type of exercise to improve depressive symptoms in older adults: a systematic review and network meta-analysis. *BMC geriatrics*. 2024; 24(1):505. doi: [10.1186/s12877-024-05118-7](https://doi.org/10.1186/s12877-024-05118-7)
18. Radaelli R, Rech A, Molinari T, Markarian AM, Petropoulou M, Granacher U, et al. Effects of resistance training volume on physical function, lean body mass and lower-body muscle hypertrophy and strength in older adults: a systematic review and network meta-analysis of 151 randomised trials. *Sports Medicine*. 2025; 55(1):167-92. doi: [10.1007/s40279-024-02123-z](https://doi.org/10.1007/s40279-024-02123-z)
19. Kataoka R, Hammert WB, Yamada Y, Song JS, Seffrin A, Kang A, et al. The plateau in muscle growth with resistance training: an exploration of possible mechanisms. *Sports Medicine*. 2024; 54(1):31-48. doi: [10.1007/s40279-023-01932-y](https://doi.org/10.1007/s40279-023-01932-y)
20. Kaczmarczyk K, Matharu Y, Bobowik P, Gajewski J, Maciejewska-Skrendo A, Kulig K. Resistance exercise program is feasible and effective in improving functional strength in post-COVID survivors. *Journal of Clinical Medicine*. 2024; 13(6):1712. doi: [10.3390/jcm13061712](https://doi.org/10.3390/jcm13061712)
21. Yu S, Fan Y, You B, Zhang H, Cai Z, Zhang S, Tian H. The Muscle-Brain Axis in Aging: Mechanistic and Clinical Perspectives on Resistance Training and Cognitive Function. *Biology (Basel)*. 2026;15(2):154. doi: [10.3390/biology15020154](https://doi.org/10.3390/biology15020154)
22. Setayesh S, Mohammad Rahimi GR. The impact of resistance training on brain-derived neurotrophic factor and depression among older adults aged 60 years or older: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Geriatr Nurs*. 2023;54:23-31. doi: [10.1016/j.gerinurse.2023.08.022](https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2023.08.022)
23. Gholami F, Mesrabadi J, Iranpour M, Donyaei A. Exercise training alters resting brain-derived neurotrophic factor concentration in older adults: A systematic review with meta-analysis of randomized-controlled trials. *Exp Gerontol*. 2025;199:112658. doi: [10.1016/j.exger.2024.112658](https://doi.org/10.1016/j.exger.2024.112658)
24. Herold F, Törpel A, Schega L, Müller NG. Functional and/or structural brain changes in response to resistance exercises and resistance training lead to cognitive improvements - a systematic review. *Eur Rev Aging Phys Act*. 2019;16:10. doi: [10.1186/s11556-019-0217-2](https://doi.org/10.1186/s11556-019-0217-2)
25. Agostinho PAG, Bedoya ÉAP, Cota AR, Chaves SFN, Oliveira CEP, et al. Flywheel resistance training: Functionality and strength in older women - A randomized controlled trial. *J Bodyw Mov Ther*. 2025;42:573-582. doi: [10.1016/j.jbmt.2025.01.023](https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2025.01.023)

26. Jacob KJ, Hajj-Boutros G, Sonjak V, Leduc-Gaudet JP, Broering F, Flynn CR, et al. Resistance training, but not leucine, increased basal muscle protein synthesis and reversed frailty in older women consuming optimized protein intake. *Geroscience*. 2026;48(3):3971-3982. doi: [10.1007/s11357-025-01877-2](https://doi.org/10.1007/s11357-025-01877-2).