Aja University of Medical Sciences

EBNESINA

journal homepage: https://ebnesina.ajaums.ac.ir

ISSN: 1735-9503
eISSN: 4653-2645

Article Type:
Research Article

Article History:
Received: 2025/6/5
Revised: 2025/7/26
Accepted: 2025/7/26
Published: 2024/7/27

How to Cite:
Arman S, Shamsaei N, Abdi H. The combined effect of six weeks of resistance training and Sudoku mental exercise on serum BDNF, IGF-1 levels, and working memory in university students. EBNESINA 2025;27(2):37-51.
DOI: 10.22034/27.2.37

The combined effect of six weeks of resistance training and Sudoku mental exercise on serum BDNF, IGF-1 levels, and working memory in university students

Sara Arman[1], Nabi Shamsaei[1]✉, Hadi Abdi[2]

Abstract

Background and aims: Growing evidence suggests that resistance training and cognitive games, such as Sudoku, may enhance cognitive performance and memory. This study aimed to investigate the effects of a six-week intervention combining resistance training and Sudoku mental exercises on serum levels of BDNF, IGF-1, and working memory in female students at Ilam University.

Methods: A total of 40 female students were recruited through purposive sampling of available volunteers and randomly assigned to four experimental groups (n=10 each): 1) Resistance training alone, 2) Sudoku alone, 3) Combined (training + Sudoku), and 4) control group. The interventions were conducted three times per week for six weeks. Blood samples and working memory tests were administered before and after the training protocols.

Results: The results revealed a statistically significant increase in serum BDNF and IGF-1 levels across all intervention groups (training, Sudoku, and combined) ($p< 0.001$). Working memory performance improved significantly only in the Sudoku group and the combined intervention group compared to baseline measurements ($p< 0.05$). Between-group comparisons showed that the combined intervention yielded significantly greater improvements in serum BDNF levels ($p< 0.05$), IGF-1 concentrations ($p< 0.01$), and working memory performance ($p< 0.001$) relative to the control group.

Conclusion: Combining resistance training with Sudoku cognitive exercise produces synergistic effects on serum neurotrophic factor levels and working memory performance, surpassing the benefits of either intervention alone. The results underscore the clinical relevance of integrated physical-cognitive interventions as an effective strategy for enhancing brain health and cognitive function in young adults.

Keywords: Resistance training, Brain-Derived Neurotrophic Factor, Insulin-like growth factor-1, Memory

1. Department of Sports Physiology, Faculty of Humanities, Ilam University, Ilam, Iran
2. Department of Sports Physiology, Payame Noor University, Tehran, Iran

✉ Corresponding Author:
Nabi Shamsaei
Address: Department of Sports Physiology, Faculty of Humanities, Ilam University, Ilam, Iran
Tel: +98 (84) 32234861
E-mail: n.shamsaei@ilam.ac.ir

Copyright© 2025. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms. Downloaded from: http://www.ebnesina.ajaums.ac.ir

Introduction

Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) is a key neuroplasticity factor that plays a critical role in learning and memory [5-7]. Similarly, insulin-like growth factor-1 (IGF-1) is an important mediator of nerve cell growth and survival [8]. Research indicates that both resistance training and cognitive activities can elevate the levels of these factors in the blood and brain. For years, intellectual games like chess and Sudoku have been recognized as effective tools for preventing dementia, promoting neurogenesis, and protecting neuronal health. These games engage multiple cognitive functions, enhance mental well-being, and play a crucial role in stimulating brain activity. Specifically, they contribute to strengthening working memory and verbal episodic memory. The cognitive benefits of intellectual games, including their role in boosting neurogenesis and cognitive performance, appear to be mediated by elevated levels of neurotrophic factors such as BDNF and IGF-1. Supporting this, Arazi et al. demonstrated that even a single session of chess significantly increased serum BDNF and IGF-1 levels in both elite and novice players [1].

However, the combined effects of these interventions on BDNF and IGF-1 levels, as well as their potential mechanisms for improving working memory, remain understudied. This study aimed to investigate the impact of six weeks of resistance training combined with Sudoku mental exercises on serum BDNF and IGF-1 levels and working memory in female students.

Methods

A total of 40 volunteers were randomly assigned to four groups (n=10 per group): resistance training alone, Sudoku training alone, combined training, and a non-intervention control group. The resistance training protocol was conducted over six weeks, with three sessions per week. For cognitive training, participants engaged in Sudoku exercises, with performance measured by improvements in puzzle-solving speed. Blood samples were collected under fasting conditions before the intervention (pre-test) and 48 hours after its completion (post-test). Serum was separated via centrifugation and stored at -70°C for subsequent analysis. Serum BDNF and IGF-1 levels were quantified using ELISA kits, while working memory was assessed using the N-Back test software. N-Back test software, developed in 2010 by Ferdowsi University of Mashhad and adapted for Iranian culture. This software, modeled after RoboMemo, assesses auditory, visual, and spatial memory through exercises involving numbers, letters, and shapes. The test features nine difficulty levels, which adjust automatically based on performance. The test consists of three steps: Back1 (matching the current stimulus to the previous one), Back2 (matching to the stimulus two steps back), and Back3 (matching to the stimulus three steps back). The test takes 10 minutes to complete, and the collected data includes the number of correct and incorrect responses, unanswered items, and average reaction time [20].

Descriptive statistics, including mean and standard deviation, were calculated. The Shapiro-Wilk test assessed data normality, while the Levene test evaluated homogeneity of variance between groups in both pre-test and post-test conditions. Within-group differences were analyzed using paired t-tests, and between-group differences were assessed via analysis of covariance (ANCOVA). Where ANCOVA results were significant, post-hoc Bonferroni tests were conducted to identify specific group differences at a significance level of $p \leq 0.05$. All statistical analyses were performed using SPSS software (version 22).

Results

For BDNF, a significant difference was observed between the exercise intervention groups and the control group ($p < 0.001$), indicating that resistance training, Sudoku, and their combination all influenced serum BDNF levels. In contrast,

IGF-1 levels showed a significant difference only between the resistance training groups and the control group ($p = 0.02$) and between the combined group and the control ($p < 0.001$), with no significant effect from Sudoku alone ($p = 0.13$).

Regarding working memory, no significant difference was found between the resistance training group and the control ($p = 0.47$). However, the combined training group showed a significant improvement compared to the control ($p < 0.001$), while Sudoku alone did not reach statistical significance ($p = 0.07$).

Discussion and Conclusions

This study demonstrated that resistance training, Sudoku, and their combination significantly increased BDNF levels. While the physiological implications of these changes are not fully understood, their responsiveness to exercise is noteworthy. The rise in circulating BDNF may stem from exercise-induced upregulation of BDNF expression in the hippocampus, mediated by tyrosine kinase B receptor stimulation [23]. Additionally, mechanical stress and nerve damage from exercise could contribute to elevated BDNF levels [25]. These findings align with Castaño et al., who reported that combined strength and cognitive training synergistically boosted BDNF, possibly due to enhanced cerebral blood flow, neurogenesis, and synaptic strengthening [26].

Resistance training alone led to a non-significant increase in IGF-1 levels. Mechanistically, IGF-1 is primarily secreted by the liver, and exercise may modulate its expression. Elevated IGF-1 can cross the blood-brain barrier, promoting hippocampal BDNF expression and neurogenesis. One proposed mechanism involves growth hormone release during resistance training, which stimulates IGF-1 production via liver receptors [32].

Interestingly, Sudoku alone did not significantly affect IGF-1 levels, suggesting that cognitive stimuli may not independently alter this growth factor. However, the combination of resistance training and Sudoku yielded a significant IGF-1 increase, hinting at a synergistic effect. Similarly, the combined intervention improved working memory, supporting the notion that simultaneous physical and cognitive activities may activate complementary neurophysiological pathways. This aligns with the "facilitating effect" of exercise (neural activation, BDNF release) and the "guiding effect" of cognitive tasks (synapse formation) [26].

In summary, resistance training combined with Sudoku positively influenced BDNF, IGF-1, and working memory in female students at Ilam University. These findings underscore the importance of integrating physical and mental exercise programs into university health initiatives to promote student well-being.

Ethical Considerations

This study adhered to the ethical guidelines of the National Ethics Committee at Ilam University (code: IR.ILAM.REC.1403.015).

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

The first author contributed to project implementation and data collection, while the second author was involved in study design, initial research, and manuscript writing. The third author participated in study design, data analysis, and interpretation. All authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. Each author reviewed and approved the final manuscript, agreeing on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

This article is derived from Ms. Sara Arman's master's thesis. We extend our gratitude to the professors, instructors, and students who contributed to this research.

نوع مقاله:
مقاله تحقیقی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۴/۳/۱۵
ویرایش: ۱۴۰۳/۵/۴
پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۴
انتشار: ۱۴۰۴/۵/۵

اثر ترکیبی شش هفته تمرین مقاومتی و بازی فکری سودوکو بر سطح سرمی BDNF، IGF-1 و حافظه فعال دانشجویان

سارا آرمان[۱]، نبی شمسایی[۱]✉، هادی عبدی[۲]

چکیده

زمینه و اهداف: شواهد نشان می‌دهد که تمرینات مقاومتی و بازی‌های ذهنی می‌توانند به بهبود عملکرد شناختی و حافظه کمک کنند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر شش هفته تمرین مقاومتی و بازی فکری سودوکو بر سطح سرمی BDNF، IGF-1 و حافظه فعال دانشجویان دختر دانشگاه ایلام انجام شد.

روش بررسی: ۴۰ نفر از دانشجویان به‌صورت هدفمند و در دسترس انتخاب و به‌طور تصادفی در چهار گروه (۱۰ نفره) شامل گروه تمرین، سودوکو، ترکیبی (تمرین+سودوکو) و کنترل قرار گرفتند. تمرینات مقاومتی و ذهنی در شش هفته و سه جلسه در هفته اجرا گردید. قبل و بعد از انجام پروتکل‌های مداخله، از آزمودنی‌ها نمونه خونی و آزمون حافظه فعال گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که سطح سرمی BDNF و IGF-1 در تمام گروه‌های مداخله (تمرین، سودوکو و ترکیبی) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<۰/۰۰۱$). نتایج همچنین نشان داد که عملکرد حافظه فعال تنها در گروه سودوکو و گروه ترکیبی افزایش معنی‌داری را نسبت به پیش‌آزمون داشت ($p< ۰/۰۵$). در مقایسه‌های بین‌گروهی، یافته‌ها حاکی از آن بود که مداخله ترکیبی به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش سطح سرمی BDNF ($p< ۰/۰۵$)، IGF-1 ($p< ۰/۰۱$)، و عملکرد حافظه فعال ($p< ۰/۰۰۱$) در مقایسه با گروه کنترل گردید.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب تمرین مقاومتی و بازی سودوکو نسبت به اجرای جداگانه این مداخلات، تأثیر هم‌افزایی بر افزایش سطح سرمی عوامل نوروتروفیک و بهبود عملکرد حافظه فعال دارد. این نتایج بر اهمیت به‌کارگیری مداخلات ترکیبی جسمی- شناختی به‌عنوان راهکاری مؤثر برای ارتقای سلامت مغز و عملکردهای شناختی در جمعیت جوان تأکید می‌کند.

کلمات کلیدی: تمرین مقاومتی، عامل نوروتروفیک مشتق از مغز، عامل رشد شبه انسولین، حافظه

۱. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

✉نویسنده مسئول: نبی شمسایی
آدرس: گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
تلفن: ۳۲۲۳۴۸۶۱ (۸۴) ۹۸+
ایمیل: n.shamsaei@ilam.ac.ir

همه حقوق مادی و معنوی این اثر به فصلنامه علمی پژوهشی ابن‌سینا / اداره بهداشت، امداد و درمان نهاجا تعلق دارد.

مقدمه

یکی از معیارهای پویایی دانشگاه‌ها، سلامت دانشجویان در تمامی ابعاد روانی، جسمانی و ورزشی است. دانشجویان در معرض استرس و فشارهای متعدد هستند و این استرس‌ها می‌توانند اثرات قابل‌توجهی بر روی سلامت آنها بگذارند و در نهایت بر تمامی عملکردهای درگیر در یک تجربه موفق در دانشگاه شامل انگیزش، تمرکز، احساس ارزشمندی و خلق و خو تأثیر منفی بگذارد. از این رو توجه به سلامت روانی و جسمانی دانشجویان بسیار حائز اهمیت است و سلامتی آنها تضمین‌کننده ارتقای سطح علمی و پیشرفت جامعه است [۱].

حافظه یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر سلامت روان انسان است که نقش حیاتی در تشکیل و تغییر شخصیت، عملکرد شناختی و روانی، و همچنین در اختلالات روانی دارد. حافظه فعال یا حافظه کاری یک ظرفیت محدود و توانایی شناختی چند مؤلفه‌ای جهت حفظ، پردازش و دستکاری اطلاعات پیچیده در یک بازه زمانی کوتاه است. مطالعات نشان داده‌اند که حافظه کاری برای فرایندهای ذهنی مختلف همچون تخصیص توجه، پردازش معنایی و تغییر توجه بین وظایف ذهنی حیاتی است [۲].

نوروترفین‌ها مواد شیمیایی هستند که به تحریک و کنترل عصب‌زایی (نوروژنز) کمک می‌کنند و در هیپوکامپ، مخ، مخچه و ناحیه بازال مغز پیشین که نواحی حیاتی برای یادگیری، حافظه و تفکر عالی هستند، فعالند [۳]. نوروتروفین‌ها خانواده‌ای از عوامل رشد هستند که اساساً به‌واسطه توانایی آنها در حفاظت بقای عصبی شناسایی می‌شوند [۴].

یک عضو مهم از خانواده پروتئینی نوروترفین‌ها، عامل نوروتروفیک مشتق از مغز (BDNF)[1] است. BDNF پروتئینی است که دارای طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های زیستی است و اثرات چندنمودی را بر روی مغز و بافت محیطی اعمال می‌کند و توسط سلول‌های ایمنی و ساختاری متفاوت در هر دو سیستم عصبی مرکزی و محیطی سنتز و آزاد می‌شود [۵]. BDNF در تفکیک نورونی، شکل‌گیری مویرگ‌های جدید در دستگاه عصبی مرکزی، شکل‌گیری سیناپسی، مرگ برنامه‌ریزی شده سلولی، جذب غذا و متابولیسم، حافظه و یادگیری و عملکردهای رفتاری نقش دارد [۶]. مطالعات ارتباط احتمالی بین BDNF پایین و شرایط بالینی همچون افسردگی، آلزایمر، اسکیزوفرنی، زوال عقل، بی‌اشتهایی عصبی و پرخوری عصبی را نشان داده‌اند [۷].

عامل رشد شبه انسولین (IGF-1)[2] عامل میانجی تروفیکی است که از طریق هورمون رشد عمل نموده و تنظیم‌کننده رشد سلولی و متابولیسم محیطی بدن است [۸]. IGF-1 پپتید کوچکی است که در سرم به‌صورت باند شده با پروتئین‌های با قدرت چسبندگی بالا حرکت می‌کند [۹]. عملکرد اصلی IGF-1 در مغز کنترل رشد سلولی، تمایز، بلوغ (از طریق تحریک میتوز و سنتز DNA) و فرآیندهای متابولیکی (یعنی جذب گلوکز و تولید پروتئین) است [۱۰]. IGF-1 در مدل‌های آسیب به دستگاه عصبی مرکزی اثرات محافظت‌کننده عصبی دارد و تکثیر سلول اجدادی و نورون‌ها، الیگودندروسیت‌ها و رگ‌های خونی جدید در شکنج‌های دندانه‌دار هیپوکمپ را افزایش می‌دهد [۱۱].

یکی از مهمترین عوامل حفظ و ارتقای سلامت روان و نیز ارتقای کیفیت زندگی انجام فعالیت بدنی و ورزش است. تمرینات مقاومتی یکی از انواع مختلف فعالیت‌های بدنی است که در سال‌های اخیر به ویژه در بین جوانان رونق یافته است. از این تمرینات برای ارتقای آمادگی جسمانی و سلامتی و نیز بازتوانی ورزشکاران آسیب دیده استفاده می‌شود [۱۲]. در انسان شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد فعالیت بدنی می‌تواند سطوح BDNF را در سرم، هم در افراد جوان‌تر و هم در افراد مسن‌تر، حتی پس از یک دوره ورزش، افزایش دهد [۱۳]. برخی از مطالعات بر این باورند که عوامل نوروتروفیک، به‌ویژه

1. Brain-Derived Neurotrophic Factor

2. insulin-like growth factor 1

BDNF، پس از فعالیت‌های عصبی و فیزیکی افزایش می‌یابد [۱۴]. در موش‌های مبتلا به کمبود BDNF دو ماه دویدن بر روی چرخ‌های دورانی باعث افزایش غلظت BDNF شد. بنابراین ورزش می‌تواند به‌عنوان یک محرک غیردارویی برای افزایش غلظت BDNF در افراد مؤثر باشد [۱۵]. IGF-1 به جهت رشد سلول‌های عصبی، تمایز و سنتز و رهاسازی انتقال‌دهنده‌های عصبی حائز اهمیت است [۱۶]. احتمالاً تأثیر فعالیت بدنی بر مغز بیشتر از طریق افزایش نوروژنز، بهبود سلامت مویرگی و افزایش انعطاف‌پذیری نورونی اعمال می‌شود. فعالیت ورزشی از جمله تمرینات مقاومتی سطوح BDNF را در بسیاری از نواحی مغز از قبیل هیپوکمپ که فعال‌ترین ناحیه مغز در راستای ترمیم و بازسازی مغز است، افزایش می‌دهد [۱۷].

از طرفی بازی‌های فکری مانند شطرنج و سودوکو سال‌هاست که به عنوان یک روش شناخته شده برای پیشگیری از زوال عقل، افزایش نوروژنز و محافظت از نورون‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. انجام بازی‌های فکری جنبه‌های مختلف شناختی را درگیر می‌کند، سلامت روان را بهبود می‌بخشد و نقشی کلیدی در تحریک سلول‌های مغزی ایفا می‌کند. در واقع فعالیت‌های ذهنی به عنوان عاملی در تقویت حافظه فعال و حافظه اپیزودیک کلامی عمل می‌کنند. به نظر می‌رسد، اثرات مثبت بازی‌های فکری در افزایش نوروژنز و تقویت عملکرد شناختی از طریق افزایش سطوح عوامل نوروتروفیک از قبیل BDNF و IGF-1 به عنوان عامل میانجی تروفیکی اعمال می‌شود. اراضی و همکاران گزارش کردند که انجام یک جلسه بازی فکری شطرنج باعث افزایش معنی‌دار سطوح سرمی BDNF و IGF-1 در بازیکنان نخبه و مبتدی شطرنج گردید [۱].

با توجه به شواهد فوق، BDNF به عنوان یکی از مهمترین عوامل انعطاف‌پذیری عصبی، نقش حیاتی در یادگیری و حافظه ایفا می‌کند. از سوی دیگر IGF-1 نیز به عنوان میانجی مهم در رشد و بقای سلول‌های عصبی شناخته می‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند که هم تمرینات مقاومتی و هم فعالیت‌های شناختی می‌توانند سطوح این فاکتورها را در خون و مغز افزایش دهند. با این حال تأثیر ترکیب این دو مداخله بر سطوح BDNF و IGF-1 و مکانیسم‌های احتمالی که از طریق آنها این مداخلات می‌توانند حافظه فعال را بهبود بخشند، به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر شش هفته تمرین مقاومتی همراه با بازی فکری سودوکو بر سطوح سرمی BDNF و IGF-1 و عملکرد حافظه فعال در دانشجویان دختر انجام شد.

روش بررسی

این مطالعه از نوع تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بود که جامعه آماری آن شامل تمامی دختران دانشجو غیرفعال دانشگاه ایلام با دامنه سنی ۳۰-۲۰ سال در نیمسال اول سال تحصیلی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ است. از بین جامعه آماری فوق پس از فراخوان در خوابگاه‌های دانشجویی دانشگاه ایلام، تعداد ۴۰ نفر از افراد داوطلب به‌صورت هدفمند و در دسترس بر اساس معیارهای ورود به مطالعه به‌عنوان نمونه آماری انتخاب و به‌طور تصادفی به چهار گروه ۱۰ نفره تقسیم شدند: گروه تمرین، گروه بازی، گروه تمرین+بازی و گروه کنترل. معیارهای ورود به مطالعه شامل دامنه سنی ۳۰-۲۰ سال، تمایل به شرکت در پژوهش، برخورداری از سلامت کامل جسمانی، عدم وجود هرگونه رژیم غذایی کاهش یا افزایش وزن، عدم مصرف هرگونه دارو و مکمل خاص، عدم استعمال دخانیات، نداشتن سابقه بیماری و عفونت اثرگذار بر فاکتورهای ایمنی و آشنایی با تمرینات با وزنه بود. معیارهای خروج شامل ابتلا به بیماری یا آسیب‌های عضلانی-اسکلتی در حین مطالعه، مصرف هرگونه دارو یا مکمل مؤثر بر متابولیسم، سیستم عصبی و ایمنی در خلال تحقیق، غیبت بیش از ۳ جلسه در تمرینات، عدم تکمیل آزمون‌های شناختی و انصراف از ادامه مشارکت به دلایل شخصی بود. پس از گروه‌بندی آزمودنی‌ها، در ابتدا ویژگی‌های در ابتدا ویژگی های پیکرسنجی آزمودنی‌ها شامل

شامل وزن، قد، ترکیب بدنی و نیز حافظه اندازه‌گیری شد، سپس خون‌گیری اولیه از شرکت‌کنندگان در ساعت ۱۰ الی ۱۲ صبح و با حضور کارشناس پرستاری انجام گرفت. پس از آن، آزمودنی‌های گروه‌های تجربی، تمرینات مقاومتی و بازی فکری را به مدت ۶ هفته و سه جلسه در هفته اجرا کردند. در پایان ۶ هفته و در مرحله پس‌آزمون، ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی، مجدداً از آزمودنی‌ها نمونه خونی و همچنین آزمون حافظه گرفته شد.

پروتکل تمرین مقاومتی شامل ۶ هفته، ۳ جلسه در هفته و هر جلسه تمرین شامل گرم کردن و سرد کردن به مدت ۱۵ دقیقه و بین ۶۰ تا ۹۰ دقیقه تمرین اصلی بود. تمرین مقاومتی شامل حرکات پرس سینه، پرس سرشانه، جلو بازو، کشش جانبی از پهلو، جلو پا با دستگاه و دراز و نشست است که هر حرکت به صورت سه ست ده تایی بود و در بین هر ست ۳۰ ثانیه استراحت و ۶۰ تا ۹۰ ثانیه استراحت بین حرکات انجام شد. وزنه مورد استفاده برای افراد بر اساس یک تکرار بیشینه تعیین شد. برای محاسبه یک تکرار بیشینه، هر آزمودنی بر اساس توانایی عضلانی خود، وزنه‌ای را انتخاب کرده و سپس حرکت موردنظر تا حد واماندگی تکرار کرد. با قرار دادن وزنه جابجا شده و تعداد تکرار انجام شده در فرمول، یک تکرار بیشینه محاسبه گردید. تعداد تکرار هر حرکت برای هر آزمودنی با توجه به آزمون یک تکرار بیشینه (1RM) بر اساس فرمول زیر تعیین شد [۱۸]:

$$1RM = \frac{\text{وزنه جابجا شده}}{\text{تعداد تکرار تا خستگی} \times ۰/۰۲۷۸ - ۱/۰۲۷۸}$$

در تمرینات مقاومتی هر دو هفته یکبار آزمون یک تکرار بیشینه از آزمودنی‌ها گرفته شد و در صورت پیشرفت، میزان بار اعمال‌شده افزایش یافت. پروتکل تمرینات ورزشی به مدت شش هفته، سه جلسه در هفته تحت نظارت و حضور کامل پژوهشگر صورت گرفت.

برای بخش بازی فکری نیز از بازی سودوکو همراه با زمان‌بندی برای سنجیدن میزان افزایش سرعت عمل افراد در حل جدول سودوکو استفاده شد. سودوکو یک بازی پازلی عددی است که نیاز به منطق و استدلال دارد. در این بازی، یک جدول ۹×۹ به ۹ ناحیه ۳×۳ تقسیم می‌شود و هدف این است که جدول به‌گونه‌ای پر شود که هر عدد از ۱ تا ۹ در هر سطر، در هر ستون و در هر ناحیه ۳×۳ دقیقاً یک‌بار ظاهر شود. در هنگام بازی از زمان‌بندی هم برای سنجش افزایش یا کاهش سرعت افراد در طول تحقیق استفاده شد [۱۹]. به منظور کنترل این متغیر و اطمینان از اعمال یک چالش شناختی تدریجی و مناسب، در طول شش هفته مداخله، درجه سختی سودوکوها به صورت پلکانی و برنامه‌ریزی‌شده افزایش یافت. شرکت‌کنندگان در هفته‌های ابتدایی با سودوکوهای با درجه سختی آسان آغاز کردند و سپس در هفته‌های میانی به سودوکوهای با درجه سختی متوسط و در هفته‌های پایانی به سودوکوهای با درجه سختی دشوار پرداختند. این رویکرد در جهت اطمینان از انطباق‌پذیری شرکت‌کنندگان با بازی و همزمان افزایش تدریجی سطح چالش شناختی بود تا اثرات تمرین تقویت شود.

برای بررسی متغیرهای بیوشیمیایی قبل از شروع تمرینات و ۴۸ ساعت پس از پایان تمرینات در شرایط ناشتایی مقدار ۱۰ سی‌سی از ناحیه ورید دست چپ آزمودنی‌ها در شرایط استراحت کامل به‌وسیله سرنگ‌های حاوی ماده ضد انعقاد EDTA نمونه‌گیری خون انجام و بلافاصله در مجاورت یخ قرار گرفت. در مرحله بعد سرم نمونه‌های خونی با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ (۵ دقیقه، ۳۰۰۰ دور در دقیقه) جداسازی و جهت آنالیزهای بعدی در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. جهت سنجش سطوح سرمی BDNF از روش الایزا و کیت اختصاصی (شرکت ZellBio، ساخت کشور آلمان، شماره کیت RK00074، محدوده تشخیص ۲۳/۴ تا ۱۵۰۰ پیکوگرم بر میلی‌لیتر، حساسیت کمتر از ۶/۳ پیکوگرم/میلی‌لیتر و ضریب تغییرات کمتر از ۱۰٪) استفاده شد. همچنین برای سنجش سطوح سرمی IGF-1، از روش الایزا و کیت اختصاصی (شرکت ZellBio، ساخت کشور آلمان، شماره کیت RK00160، محدوده تشخیص ۷/۸۲ تا ۵۰۰ نانوگرم/میلی‌لیتر،

حساسیت: کمتر از ۲/۶ نانوگرم/میلی‌لیتر و ضریب تغییرات کمتر از ۱۰٪) استفاده شد.

برای ارزیابی حافظه فعال از نرم‌افزار آزمون حافظه کاری N-Back مؤسسه علوم رفتاری و شناختی سینا استفاده شد. این نرم‌افزار در سال ۱۳۸۹ توسط دانشگاه فردوسی مشهد و بر اساس نظریه‌های موجود یادگیری و با الگوبرداری از نرم‌افزار ربومِمو[1] و انطباق آن با فرهنگ ایرانی تهیه شده است. این نرم‌افزار تمرین‌هایی را در سه بخش حافظه شنیداری، دیداری و فضایی (تثبیت) به صورت جداگانه با استفاده از اعداد حروف و اشکال به شرکت کننده‌ها ارائه می‌کند. دشواری در هر تمرین از یک تا نه طبقه‌بندی شده است و به‌طور خودکار بالا رفته و امکان به‌کارگیری حداکثر ظرفیت حافظه کاری را برای تمرین بیشتر و افزایش سطح حافظه فراهم می‌کند. در هنگام تمرین در هر بخش برای هر کوشش درست ۲۰ امتیاز برای هر کوشش خطا ۱۰ امتیاز به شرکت کننده داده می‌شود و در صورت کسب ۱۰۰ امتیاز دشواری تمرین در آن بخش یک درجه افزایش می‌یابد. آزمون N-Back سه گام دارد. در back-1 چنانچه محرک نشان داده شده با یک محرک قبل از خود مشابه بوده، آزمودنی کلید مشخص شده را فشار داده، در back-2 چنانچه محرک ارائه شده با محرک دو تا ماقبل خود مشابه بوده، آزمودنی کلید مشخص شده را فشار داده و در back-3 چنانچه محرک ارائه شده با محرک سه تا ماقبل خود مشابه بود، آزمودنی کلید مشخص شده را فشار داد. مدت زمان لازم برای انجام این آزمون ۱۰دقیقه است. داده‌های به‌دست‌آمده از این آزمون شامل تعداد پاسخ‌های صحیح، تعداد پاسخ‌های غلط، تعداد ماده‌های بی‌پاسخ و میانگین سرعت واکنش پاسخ‌های صحیح است [۲۰].

ملاحظات اخلاقی

پروتکل این پژوهش پس از تأییدیه اخلاقی از کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه ایلام طراحی و اجرا شد. قبل از انجام مطالعه و پس از توضیح کامل اهداف و روش‌های تحقیق توسط محقق، از تمام شرکت‌کنندگان رضایتنامه کتبی شرکت در پژوهش اخذ گردید. به شرکت‌کنندگان اطمینان داده شد که اطلاعات آنها محرمانه خواهد ماند و در صورت بروز آسیب هزینه درمان توسط مجری تأمین خواهد شد. همچنین خروج از مطالعه در هر مرحله از پژوهش برای شرکت‌کنندگان کاملاً اختیاری بود.

تجزیه و تحلیل آماری

از آمار توصیفی برای محاسبه میانگین و انحراف معیار و در بخش آمار استنباطی از آزمون شاپیرو ویلک جهت بررسی توزیع داده‌ها و به منظور بررسی تجانس واریانس گروه‌ها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون از آزمون لوین استفاده شد. از آزمون تی زوجی برای بررسی تفاوت درون گروهی و از آزمون تحلیل کوواریانس برای ارزیابی تفاوت بین گروهی استفاده شد. همچنین در صورت معنادار بودن نتایج آزمون کوواریانس برای تعیین محل تفاوت گروه‌ها با یکدیگر از آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معناداری کمتر یا مساوی ۰/۰۵ استفاده شد. کلیه محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

یافته‌ها

مشخصات عمومی آزمودنی‌ها در جدول ۱ آورده شده است. نتایج آزمون شاپیروویلک نشان داد که توزیع داده‌ها در تمامی متغیرها در گروه‌های مختلف در پیش‌آزمون و پس‌آزمون نرمال بود ($p> ۰/۰۵$). سطح BDNF و IGF-1 خون و همچنین نمره حافظه در پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه‌های مختلف در نمودار ۱ ارائه شده است.

1. RoboMemo

جدول ۱- مشخصات عمومی آزمودنی‌ها در گروه‌های مختلف

متغیرها	گروه‌ها			
	تمرین	سودوکو	ترکیبی	کنترل
سن (سال)	۲۲/۱ ± ۰/۹۹	۲۲/۱۰ ± ۱/۶۶	۲۱/۰ ± ۱/۵۸	۲۱/۷۰ ± ۱/۶۳
قد (سانتی‌متر)	۱۶۷/۲۰ ± ۹/۱۴	۱۶۳/۵۰ ± ۵/۶۴	۱۶۴/۲۰ ± ۴/۸۹	۱۶۵/۷۰ ± ۷/۲۱
وزن (کیلوگرم)	۶۹/۱۰ ± ۶/۹۵	۶۷/۶۰ ± ۳/۹۷	۶۹/۸۰ ± ۸/۲۴	۶۷/۶۰ ± ۱۰/۶۸
BMI (Kg/m^2)	۲۴/۷ ± ۱/۱	۲۵/۳ ± ۳/۲	۲۵/۹ ± ۲/۴	۲۴/۶ ± ۱/۳

نتایج آزمون کوواریانس نشان داد که بین گروه‌های مختلف تحقیق در متغیر BDNF تفاوت معنی‌داری در پس‌آزمون وجود دارد (p< ۰/۰۰۱). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی (جدول ۲) در شاخص BDNF نشان داد که بین همه گروه‌های مداخله و گروه کنترل تفاوت معنی‌داری وجود دارد (p< ۰/۰۰۱). به این معنی که تمرینات مقاومتی، بازی فکری سودوکو و ترکیب این دو بر سطح سرمی BDNF آزمودنی‌های تحقیق حاضر تأثیر داشته است. با توجه به جدول ۲ تفاوت بین گروه ترکیبی با گروه تمرین و گروه سودوکو در متغیرهای IGF و BDNF معنادار است. همچنین تفاوت بین گروه تمرین و گروه ترکیبی در متغیر حافظه فعال نیز معنادار است.

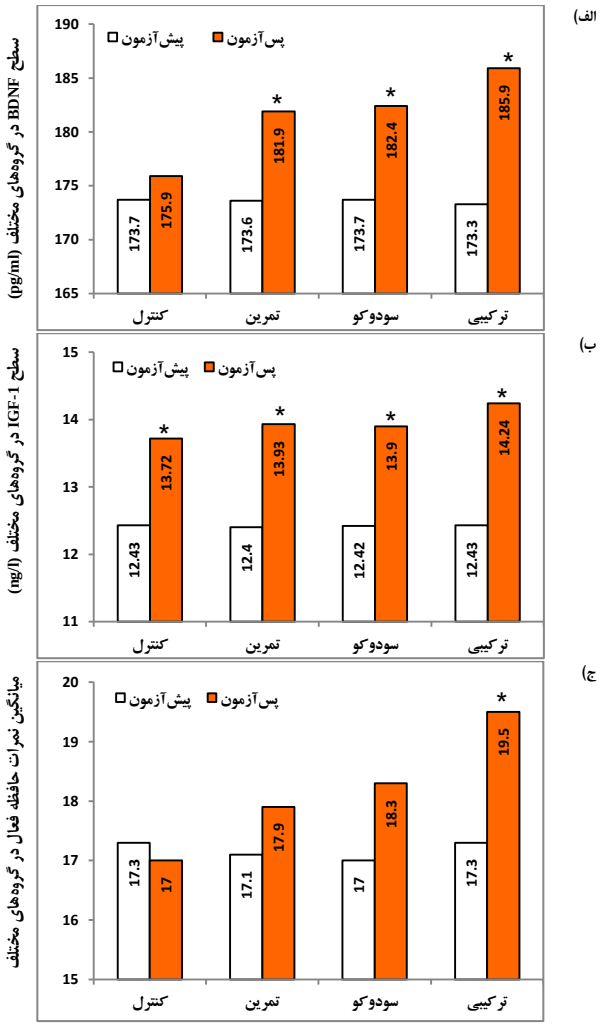
با توجه به نتایج آزمون کوواریانس مشخص شد که حداقل در بین دو تا از گروه های پژوهش در نمرات پس آزمون شاخص IGF-1 تفاوت معنی داری وجود دارد (p< ۰/۰۰۱). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی (جدول ۲) در شاخص IGF-1 نشان داد که بین گروه کنترل و گروه‌های تمرین (p= ۰/۰۲) و همچنین گروه ترکیبی (p< ۰/۰۰۱) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما بین گروه کنترل و گروه سودوکو تفاوت معناداری مشاهده نشد (p= ۰/۱۳).

با توجه به نتایج آزمون کوواریانس مشخص شد که حداقل در بین دو تا از گروه‌های پژوهش در نمرات پس‌آزمون حافظه فعال تفاوت معنی‌داری وجود دارد (p< ۰/۰۰۱). نتایج آزمون

جدول ۲- نتایج آزمون‌های تعقیبی بونفرونی در شاخص‌های BDNF، IGF-1 و حافظه

گروه‌ها		مقدار p		
(۱)	(۲)	BDNF	IGF-1	حافظه
کنترل	تمرین	<۰/۰۰۱**	۰/۰۲*	۰/۴۷
	سودوکو	<۰/۰۰۱**	۰/۱۳	۰/۰۷
	ترکیبی	<۰/۰۰۱**	<۰/۰۰۱**	<۰/۰۰۱**
تمرین	سودوکو	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
	ترکیبی	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۴**	۰/۰۳*
سودوکو	ترکیبی	۰/۰۱۵*	<۰/۰۰۱**	۰/۲۲

* معنی‌داری در سطح p ≤ ۰/۰۵ ** معنی‌داری در سطح p ≤ ۰/۰۱



نمودار ۱- اندازه مقادیر BDNF (الف)، IGF-1 (ب) و حافظه (ج) در پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه‌های مختلف

* تفاوت معنی‌دار در مقایسه با پیش‌آزمون

تعقیبی بونفرونی (جدول ۲) در متغیر حافظه فعال نشان داد که بین گروه کنترل و گروه ترکیبی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (p< ۰/۰۰۱) ولی گروه کنترل با دو گروه دیگر مداخله (تمرین و سودوکو) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

در جدول ۳ نتایج آزمون تی زوجی تفاوت بین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون آزمودنی‌ها در گروه‌های مورد بررسی در شاخص‌های BDNF، IGF-1 و حافظه فعال آمده است.

جدول ۳- نتایج آزمون‌های تی زوجی بین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون در شاخص‌های BDNF، IGF-1 و حافظه

گروه	BDNF			IGF-1			حافظه		
	مقدار	df	مقدار p	مقدار	df	مقدار p	مقدار	df	مقدار p
کنترل	۲/۷۵	۹	۰/۲۰	۲۱/۳۲	۹	<۰/۰۰۱**	۰/۷۵	۹	۰/۴۶
تمرین	۹/۴۰	۹	<۰/۰۰۱**	۴۶/۲۹	۹	<۰/۰۰۱**	۲/۰۵	۹	۰/۰۷
سودوکو	۷/۴۳	۹	<۰/۰۰۱**	۲۰/۳۲	۹	<۰/۰۰۱**	۲/۳۲	۹	۰/۰۴
ترکیبی	۱۶/۸۳	۹	<۰/۰۰۱**	۶۹/۰۶	۹	<۰/۰۰۱**	۵/۶۵	۹	<۰/۰۰۱**

** معنی‌داری در سطح p ≤ ۰/۰۱

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که ترکیب تمرین مقاومتی و بازی ذهنی سودوکود تأثیر هم افزایی بر بهبود عملکرد حافظه فعال دارد. این سازگاری خاص پس از تمرینات مقاومتی، همراه با تغییرات مثبت در غلظت سطوح پایه BDNF و IGF-1 بود.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این مطالعه نشان داد که تمرین مقاومتی، بازی فکری سودوکو و ترکیب این آنها تأثیر معناداری بر سطح سرمی BDNF داشته‌اند. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات اریکسون[1] و همکاران و گومز-پینیلا[2] و همکاران که تأثیر تمرینات ورزشی بر افزایش BDNF را گزارش کرده‌اند، همسو است. مطالعه اریکسون و همکاران نشان داد که تمرینات هوازی منظم می‌تواند با تحریک ترشح BDNF، به بهبود عملکرد شناختی و انعطاف‌پذیری عصبی مغز منجر شود [۲۱]. همچنین تحقیقات گومز-پینیلا و همکاران تأیید کرده‌اند که فعالیت‌های بدنی با شدت متوسط تا شدید، از طریق مکانیسم های مختلفی از جمله افزایش فاکتورهای نوروتروفیک مانند BDNF، اثرات محافظتی بر سیستم عصبی دارند [۲۲]. در این خصوص می‌توان گفت که تمرینات بدنی موجب تغییر سطح برخی هورمون‌ها نسبت به زمان استراحت می‌شود. اگرچه اهمیت فیزیولوژیکی بسیاری از این تغییرات در حال حاضر شناخته شده نیست، اما این واقعیت که آنها نسبت به فعالیت های ورزشی عکس‌العمل نشان می دهند، حائز اهمیت است. BDNF مجموعه گسترده‌ای از خواص نوروتروفیک و محافظت عصبی در سیستم عصبی مرکزی و محیطی را دارد. در مورد مکانیسم افزایش BDNF گردش خونی در پاسخ به برنامه تمرینی نتیجه‌گیری شده است که ورزش بیان BDNF را در مغز و به ویژه در ناحیه هیپوکمپ از طریق تحریک گیرنده تیروزین کیناز B افزایش می دهد [۲۳]. به علاوه به‌کارگیری BDNF در برخی بافت‌ها برای ترمیم بافت‌های آسیب‌دیده افزایش می‌یابد و ممکن است رهایش BDNF از پلاکت‌ها زیاد شود. بیش از ۹۰٪ پروتئین BDNF خون در پلاکت ها ذخیره شده‌اند که می‌تواند از طریق فعالیت یا لخته های خونی رها شود [۲۴]. چون سنتز پروتئین در پلاکت تأیید نشده است، احتمال دارد که پلاکت‌ها BDNF را از مغز یا دیگر اندام های خاص همراه با گردش خون بگیرند. فعالیت ورزشی، به عنوان یک پاسخ به افزایش استفاده از اکسیژن، تجمع رادیکال های آزاد و گونه های اکسیژنی فعال همچون آنیون سوپراکسید و پراکسید هیدروژن را افزایش دهد و آنها به آسیب عضلانی و التهاب منجر شوند. تمرین همچنین موجب بروز استرس های مکانیکی و آسیب به عضلات و اعصاب می‌شود [۲۵] که این خود می‌تواند یکی از دلایلی باشد که سبب بالا رفتن میزان BDNF شده است. با این حال غیرهمسو با نتایج تحقیق ما، در تحقیق کاستانو و همکاران ۱۶ هفته تمرین مقاومتی اثر معنی‌داری بر سطوح پلاسمایی BDNF نداشت [۲۶]. در یک مطالعه دیگر، ابراهیمی و همکاران عدم تأثیر معنی‌دار ۸ هفته تمرین مقاومتی بر سطوح سرمی BDNF در زنان میانسال مبتلا به سندرم متابولیک را گزارش کردند [۲۷]. این ناهمخوانی‌ها را می‌توان عمدتاً به تفاوت‌های اساسی در ویژگی‌های جمعیت شناختی و وضعیت سلامت آزمودنی‌ها نسبت داد. در مطالعه حاضر شرکت کنندگان دختران جوان سالم (۲۲-۲۰ سال) بودند که به طور طبیعی از سطوح بهینه انعطاف‌پذیری عصبی و پاسخ‌پذیری عصبی برخوردارند، در حالی که آزمودنی‌های مطالعه قدرتی و همکاران، زنان سالمند مبتلا به دیابت نوع ۲، آزمودنی‌های تحقیق کاستانو[3] و همکاران، بزرگسالان و آزمودنی‌های پژوهش ابراهیمی و همکاران را زنان میانسال مبتلا به سندرم متابولیک تشکیل می‌دادند. مطالعات نشان داده‌اند که بیماری‌های متابولیک مانند دیابت و افزایش سن هر دو از عوامل شناخته شده‌ای هستند که از طریق مکانیسم‌های مختلفی مانند مقاومت به انسولین، افزایش استرس اکسیداتیو و

1. Erickson
2. Gomez-Pinilla
3. Castaño

التهاب سیستمیک، می‌توانند مسیرهای سیگنالینگ را مختل و باعث کاهش سطوح BDNF شوند [۲۸]. این یافته‌ها به خوبی نشان می‌دهد که اثرات تمرینات ورزشی بر فاکتورهای نوروتروفیک مانند BDNF می‌تواند به شدت تحت تأثیر متغیرهای تعدیل‌کننده‌ای مانند سن، وضعیت متابولیک و سلامت عمومی قرار گیرد.

در مورد تأثیر بازی های فکری مانند سودوکو بر سطح BDNF، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ۶ هفته تمرین ذهنی سودوکو تأثیر معنی‌داری بر افزایش سطح سرمی BDNF دارد. این یافته با نتیجه تحقیقات سرتوری[1] و همکاران و اراضی و همکاران همخوان است. برخی پژوهش ها نشان داده‌اند که فعالیت‌های شناختی می‌توانند با افزایش فعالیت نورون ها در مناطق خاصی از مغز مانند هیپوکامپ و قشر پیش‌پیشانی، ترشح BDNF را افزایش دهند. به‌عنوان مثال، اراضی و همکاران گزارش کردند که بازی فکری شطرنج می توانند به بهبود و افزایش سطح BDNF در بازیکنان نخبه و مبتدی کمک کنند [۱]. در تبیین این موضوع می توان گفت که فعالیت ذهنی نقش مهمی در ترشح BDNF ایفا می‌کند. مکانیسم‌های احتمالی برای افزایش سطح BDNF در سرم می‌تواند به دلیل افزایش پروتئین کیناز فعال شده با میتوژن (یک مسیر پیام‌رسانی داخل سلولی مهم در تولید و ترشح BDNF) در هیپوکمپ و قشر مغز باشد [۲۹]. از طرف دیگر، فعالیت ذهنی می تواند BDNF بالغ[2] را از طریق تغییر برخی مسیرهای پیام‌رسانی (به عنوان مثال پروتئین کیناز II وابسته به CaMKII و Synapsin I) افزایش دهد و یا بیان و فعال شدن فعال‌کننده پلاسمینوژن بافتی[3] را افزایش دهد که به نوبه خود mRNA پروتئولیتیک BDNF بالغ را تقویت می‌کند [۳۰].

در خصوص اثر هم‌افزای تمرینات مقاومتی و بازی‌های فکری در جمعیت‌های جوان، مطالعه‌ای در جستجوی محققان تحقیق حاضر یافت نشد. با این حال کاستانو و همکاران اثر ترکیبی تمرینات مقاومتی و تمرینات شناختی بر عملکرد فیزیکی و سطوح پلاسمایی BDNF در بزرگسالان سالم را مورد بررسی قرار دادند [۲۶]. همسو با نتایج تحقیق ما، در تحقیق کاستانو و همکاران نیز ترکیب تمرینات قدرتی و تمرینات شناختی باعث افزایش معنی‌دار سطوح BDNF گردید. این یافته می تواند نشان‌دهنده اثر هم‌افزای فعالیت بدنی و تحریک شناختی باشد. به‌عبارت دیگر زمانی که این دو مداخله به‌صورت ترکیبی اجرا می‌شوند، ممکن است مکانیسم‌های مختلفی مانند افزایش جریان خون مغزی، تحریک نورون‌زایی و تقویت ارتباطات سیناپسی به‌صورت همزمان فعال شوند و در نتیجه، افزایش بیشتری در سطح BDNF ایجاد کنند.

تجزیه و تحلیل یافته های این پژوهش نشان داد که شش هفته تمرین مقاومتی اگرچه منجر به افزایش سطح سرمی IGF-1 گردید، اما این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. این نتایج با یافته های مطالعه جیانگ[4] و همکاران همسو است [۳۱]. از دیدگاه مکانیسمی، کبد به عنوان منبع اصلی ترشح IGF-1 شناخته شده است که هپاتوکاین هایی نظیر IGF-1 را تولید می کند. این فاکتور رشد قادر به عبور از سد خونی– مغزی بوده و شواهد نشان می دهند که فعالیت ورزشی می تواند بیان آن را تعدیل نماید. افزایش IGF-1 ناشی از ورزش به نوبه خود می تواند موجب افزایش بیان BDNF در هیپوکامپ و تحریک نوروژنز گردد. یکی از مکانیسم های محتمل در این زمینه، افزایش ترشح هورمون رشد در پاسخ به تمرینات مقاومتی است که با اتصال به گیرنده های کبدی، تولیدIGF-1 را تحریک می‌نماید [۳۲]. مطالعات حیوانی نیز مؤید این یافته‌ها هستند. به عنوان مثال، ترجو[5] و همکاران نشان دادند که ورزش موجب افزایش سطح IGF-1 در گردش خون و همچنین افزایش جذب آن توسط مغز می‌شود. این مطالعات حاکی از آن است که IGF-1 می‌تواند به عنوان واسطه‌ای در نوروژنز ناشی از ورزش

1. Sartori
2. mBDNF
3. tPA
4. Jiang
5. Trejo

در هیپوکامپ عمل کند [۳۳]. این یافته ها در مطالعات انسانی نیز تأیید شده اند. مطالعه بورست[1] و همکاران که اثرات تمرینات مقاومتی با حجم های مختلف را بر سطوح IGF-1 بررسی کرده بودند، نشان داد که این نوع تمرینات می توانند موجب افزایش معنی‌دار در سطوح IGF-1 شوند [۳۴].

یافته دیگر مطالعه حاضر حاکی از آن بود که شش هفته فعالیت ذهنی (بازی فکری سودوکو) تأثیر معنی داری بر سطوح IGF-1 ندارد. با وجود محدود بودن مطالعات در زمینه تأثیر فعالیت های شناختی بر سطوح IGF-1، نتایج این پژوهش نشان داد که محرک های ذهنی به تنهایی قادر به القای تغییرات معنی دار در این فاکتور رشد نیستند. با این حال جالب توجه آنکه ترکیب تمرینات مقاومتی با فعالیت ذهنی در این مطالعه منجر به افزایش معنی دار سطوح IGF-1 گردید که می‌تواند حاکی از اثر هم‌افزای این دو مداخله باشد.

نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که ترکیب تمرین مقاومتی و بازی ذهنی سودوکو تأثیر هم‌افزایی بر بهبود عملکرد حافظه فعال داشته است که با تغییرات مثبت در سطوح BDNF و IGF-1 نیز همراه بود. در این خصوص بررسی مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیکی مؤثر در بهبود عملکرد جسمی و شناختی نشان داده است که انجام همزمان یا متوالی فعالیت‌های جسمی و شناختی می‌تواند منجر به اثرات هم‌افزایی گردد. این چارچوب تحت عنوان اثر تسهیل کننده تمرینات جسمی و اثر راهنمایی تمرینات شناختی مطرح شده است که به ترتیب منجر به فعال‌سازی عصبی از جمله افزایش فاکتورهای رشد عصبی مثل BDNF و ایجاد سیناپس های جدید می شوند [۲۶]. این مکانیسم احتمالا یافته های تحقیق حاضر را توجیه می‌کند. چرا که افزایش بیشتر سطح BDNF در گروه ترکیبی می‌تواند بهبود مشاهده شده در حافظه فعال را میانجی‌گری کند.

با این حال تمرین مقاومتی به تنهایی تأثیر معناداری بر حافظه فعال نداشت. این نتیجه با یافته های برخی مطالعات همسو و با نتایج تعدادی ناهمسو بود. مطالعات موجود در زمینه تأثیر تمرینات مقاومتی بر عملکردهای شناختی به نتایج متناقضی دست یافته اند. در حالی که برخی پژوهش ها اثرات مثبت این نوع تمرینات را بر جنبه های خاص شناختی تأیید کرده‌اند [۳۵]، سایر یافته‌ها نشان می‌دهند که پاسخ‌های شناختی ممکن است به طور متفاوتی به انواع مختلف تمرینات مقاومتی واکنش نشان دهند [۳۶]. تا به امروز در مورد اینکه آیا این تناقضات عمدتاً ناشی از تفاوت در پارامترهای تمرینی از جمله شدت، مدت و فرکانس جلسات تمرینی است بحث‌های زیادی انجام شده است. شواهد علمی نشان می دهد که رابطه دوز- پاسخ مشخصی بین تمرینات مقاومتی و بهبود شناختی وجود دارد. مطالعه چانگ[2] و همکاران به طور خاص نشان داد که پروتکل‌های تمرینی با شدت ۸۰-۶۰٪ یک تکرار بیشینه (1RM)، شامل ۷ حرکت در ۲ ست با ۲ دقیقه استراحت بین ست ها، هنگام اجرای حداقل دو بار در هفته به مدت ۱۲-۲ ماه، می‌توانند به طور معنی‌داری موجب بهبود جنبه‌های مختلف شناختی از جمله سرعت پردازش اطلاعات، توجه، تشکیل حافظه و عملکردهای اجرایی شوند. این یافته ها بر اهمیت طراحی دقیق پروتکل‌های تمرینی با در نظر گرفتن متغیرهای کلیدی مانند شدت، حجم و مدت مداخله تأکید می‌کنند [۳۵].

همچنین نتایج مطالعه ما نشان داد که مداخله شش هفته‌ای بازی فکری سودوکو به تنهایی تأثیر معناداری بر حافظه فعال نداشته است، یافته‌ای که با نتایج مطالعه ابراهیمی و همکاران همسو و با نتایج پژوهش دمیرچی و همکاران در تضاد است [۲۳، ۲۷]. این ناهمخوانی ممکن است ناشی از تفاوت در طول مدت مداخله، نوع تمرینات ذهنی یا ویژگی های جمعیت شناختی شرکت کنندگان باشد. در مقابل، ترکیب تمرینات مقاومتی با فعالیت ذهنی سودوکو منجر به بهبود معنادار عملکرد حافظه فعال شد، به طوری که میانگین نمرات این گروه به‌طور

1. Borst

2. Chang

قابل توجهی از سایر گروه ها بالاتر بود. این اثر هم‌افزا احتمالاً از طریق مکانیسم های چندگانه نوروبیولوژیک از جمله افزایش همزمان فاکتورهای نوروتروفیک نظیر BDNF و IGF-1 که موجب تقویت انعطاف‌پذیری سیناپسی و بقای نورونی می‌شوند [۳۷]، بهبود عملکرد عروق مغزی از طریق افزایش فاکتورهای رشد عروقی مانند VEGF و FGF2 [۳۸] و تنظیم مثبت سیستم‌های انتقال‌دهنده عصبی به‌ویژه سیستم دوپامینرژیک که در فرآیندهای شناختی نقش محوری دارد، اعمال می‌گردد [۳۹]. این یافته‌ها مؤید آن است که ترکیب هدفمند تمرینات جسمانی و ذهنی می‌تواند با فعال‌سازی همزمان مسیرهای مختلف عصبی- زیستی، اثرات تقویتی چشمگیری بر عملکردهای شناختی داشته باشد، هرچند به نظر می رسد مدت و شدت مداخله از عوامل تعیین‌کننده اثربخشی این پروتکل‌ها محسوب می‌شوند.

نتایج این مطالعه نشان داد که تمرینات مقاومتی به همراه بازی ذهنی سودوکود بر سطح BDNF، IGF-1 و حافظه فعال دانشجویان دختر دانشگاه ایلام مؤثر است. بنابراین ضروری است در راستای سلامت دانشجویان برنامه‌های ورزشی بدنی و ذهنی در برنامه های کاربردی دانشگاه گنجانده شود و به طرق مختلف دانشجویان را به فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و انجام تمرینات ذهنی تشویق نمود.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول است. این پژوهش به تصویب کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه ایلام با کد IR.ILAM.REC.1403.015 رسید. از زحمات اساتید مربیان این حوزه و تمامی دانشجویان عزیزی که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که در این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

سهم نویسندگان

نویسنده دوم در مطالعات اولیه و طراحی پژوهش و نوشتن مقاله، نویسنده اول در اجرای عملی پروژه و جمع‌آوری داده‌ها و نویسنده سوم در مطالعات اولیه و طراحی پژوهش و تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج مشارکت داشته‌اند. همه نویسندگان در ایده‌پردازی و انجام طرح، همچنین نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بوده‌اند و همه با تأیید نهایی مقاله حاضر مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می‌پذیرند.

منابع مالی

در این پژوهش از هیچ ارگانی کمک مالی دریافت نگردید.

References

1. Arazi H, Aliakbari H, Asadi A, Suzuki K. Acute effects of mental activity on response of serum bdnf and IGF-1 Levels in Elite and Novice Chess Players. Medicina 2019;55(5). doi:10.3390/medicina55050189
2. Heyman T, Van Rensbergen B, Storms G, Hutchison KA, De Deyne S. The influence of working memory load on semantic priming. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. 2015;41(3):911-920. doi:10.1037/xlm0000050
3. Jamali B, Ameghani A, Tofighi A, Jamali A, Shiri M. The effect of single stage caffeine supplementation on serum cortisol and HSP72 concentrations and leukocyte count of male athletes. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology. 2012;7(3):43-50. [Persian]
4. Liu Y-F, Chen H-i, Wu C-L, Kuo Y-M, Yu L, Huang A-M, et al. Differential effects of treadmill running and wheel running on spatial or aversive learning and memory: roles of amygdalar brain-derived neurotrophic factor and synaptotagmin I. The Journal of Physiology. 2009;587(13):3221-3231. doi:10.1113/jphysiol.2009.173088

5. Habibian M, Khosravi H, Farzanegi P. The effects of 8 weeks of vitamin C intake and regular aerobic exercise on serum brain-derived neurotrophic factor and insulin-like growth factor-1 levels in obese girls. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology. 2016;11(3):21-30. [Persian]
6. Rahmaty S, Rajabi H, Saadi M, Nikroo H. Effects of short-term sub-maximal cycling along with blood flow restriction on hematology changes in active males. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2020;8(15):152-163. [Persian] doi:10.22077/jpsbs.2018.1259.1363
7. Damirchi A, Hosseini F, Babaei P. Mental training enhances cognitive function and bdnf more than either physical or combined training in elderly women with MCI: A small-scale study. American Journal of Alzheimer's Disease and Other Dementias. 2018;33(1):20-29. doi:10.1177/1533317517727068
8. Voss MW, Soto C, Yoo S, Sodoma M, Vivar C, van Praag H. Exercise and hippocampal memory systems. Trends in Cognitive Sciences. 2019;23(4):318-333. doi:10.1016/j.tics.2019.01.006
9. Razavi MH, Alavi sH, Zabihi E, Loghmani M. Sport status in student's leisure time system and presenting pattern. Journal of Sport Management and Motor Behavior. 2020;16(31):51-39. [Persian] doi:10.22080/jsmb.2018.8119.2112
10. Szczęsny E, Slusarczyk J, Głombik K, Budziszewska B, Kubera M, Lasoń W, Basta-Kaim A. Possible contribution of IGF-1 to depressive disorder. Pharmacological Reports. 2013;65(6):1622-1631. doi:10.1016/s1734-1140(13)71523-8
11. Aberg ND, Brywe KG, Isgaard J. Aspects of growth hormone and insulin-like growth factor-I related to neuroprotection, regeneration, and functional plasticity in the adult brain. TheScientificWorldJournal. 2006;6:53-80. doi:10.1100/tsw.2006.22
12. Abe T, Beekley MD, Hinata S, Koizumi K, Sato Y. Day-to-day change in muscle strength and MRI-measured skeletal muscle size during 7 days KAATSU resistance training: A case study. International Journal of KAATSU Training Research. 2005;1(2):71-76. doi:10.3806/ijktr.1.71
13. Lu L, Grimm JW, Shaham Y, Hope BT. Molecular neuroadaptations in the accumbens and ventral tegmental area during the first 90 days of forced abstinence from cocaine self-administration in rats. Journal of Neurochemistry. 2003;85(6):1604-1613. doi:10.1046/j.1471-4159.2003.01824.x
14. Tsai CL, Chen FC, Pan CY, Wang CH, Huang TH, Chen TC. Impact of acute aerobic exercise and cardiorespiratory fitness on visuospatial attention performance and serum BDNF levels. Psychoneuroendocrinology. 2014;41:121-131. doi:10.1016/j.psyneuen.2013.12.014
15. Reinhardt RR, Bondy CA. Insulin-like growth factors cross the blood-brain barrier. Endocrinology. 1994;135(5):1753-1761. doi:10.1210/endo.135.5.7525251
16. Erickson KI, Miller DL, Roecklein KA. The aging hippocampus: interactions between exercise, depression, and BDNF. Neuroscientist. 2012;18(1):82-97. doi:10.1177/1073858410397054
17. Ravasi AA, Pournemati P, Kordi MR, Hedayati M. The effects of resistance and endurance training on BDNF and cortisol levels in young male rats. Journal of Sport Biosciences. 2013;5(1):49-78. [Persian] doi:10.22059/jsb.2013.30458
18. Azizbeigi K, Amirsasan R, Atashak S. The effect of two resistance training protocols on lipid peroxidation and plasma total antioxidant capacity changes in healthy men. Journal of Sport Biosciences. 2014;6(3):245-257. [Persian] doi:10.22059/jsb.2014.51988
19. Louis Lee NY, Goodwin GP, Johnson-Laird PN. The psychological puzzle of Sudoku. Thinking & Reasoning. 2008;14(4):342-364. doi:10.1080/13546780802236308
20. Jaeggi SM, Buschkuehl M, Perrig WJ, Meier B. The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. Memory. 2010;18(4):394-412. doi:10.1080/09658211003702171
21. Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L, et al. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2011;108(7):3017-3022. doi:10.1073/pnas.1015950108
22. Gomez-Pinilla F, Vaynman S, Ying Z. Brain-derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition. The European Journal of Neuroscience. 2008;28(11):2278-2287. doi:10.1111/j.1460-9568.2008.06524.x
23. Damirchi A, Azali Alamdari K, Babaei P. Effects of submaximal aerobic training and following detraining on serum BDNF level and memory function in midlife healthy untrained males. Metabolism and Exercise. 2012;2(2):135-147. [Persian]
24. Mizuno M, Yamada K, Olariu A, Nawa H, Nabeshima T. Involvement of brain-derived neurotrophic factor in spatial memory formation and maintenance in a radial arm maze test in rats. The Journal of Neuroscience : The Oficial Journal of the Society for Neuroscience. 2000;20(18):7116-7121. doi:10.1523/jneurosci.20-18-07116.2000
25. Moraska A, Fleshner M. Voluntary physical activity prevents stress-induced behavioral depression and anti-KLH antibody suppression. American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 2001;281(2):R484-489. doi:10.1152/ajpregu.2001.281.2.R484
26. Castaño LAA, Castillo de Lima V, Barbieri JF, de Lucena EGP, Gáspari AF, Arai H, et al. Resistance training combined with cognitive training increases brain derived neurotrophic factor and improves cognitive function in healthy older adults. Frontiers in Psychology. 2022;13:870561. doi:10.3389/fpsyg.2022.870561
27. Ebrahimi M, Mirzaali P, Avandi M. Effect of 8 weeks resistance training on serum BDNF level and memory performance in middle-aged women with metabolic syndrome. Journal of physical activity and exercise physiology. 2016;9(1):1313-1324. [Persian]
28. Bus BA, Tendolkar I, Franke B, de Graaf J, den Heijer M, Buitelaar JK, Oude Voshaar RC. Serum brain-derived neurotrophic factor: determinants and relationship with depressive symptoms in a community population of middle-aged and elderly people. The World Journal of Biological Psychiatry : The Official Journal of the World Federation of Societies of Biological Psychiatry. 2012;13(1):39-47. doi:10.3109/15622975.2010.545187

29. Sartori CR, Vieira AS, Ferrari EM, Langone F, Tongiorgi E, Parada CA. The antidepressive effect of the physical exercise correlates with increased levels of mature BDNF, and proBDNF proteolytic cleavage-related genes, p11 and tPA. Neuroscience. 2011;180:9-18. doi:10.1016/j.neuroscience.2011.02.055
30. Rojas Vega S, Strüder HK, Vera Wahrmann B, Schmidt A, Bloch W, Hollmann W. Acute BDNF and cortisol response to low intensity exercise and following ramp incremental exercise to exhaustion in humans. Brain Research. 2006;1121(1):59-65. doi:10.1016/j.brainres.2006.08.105
31. Jiang Q, Lou K, Hou L, Lu Y, Sun L, Tan SC, et al. The effect of resistance training on serum insulin-like growth factor 1(IGF-1): A systematic review and meta-analysis. Complementary Therapies in Medicine. 2020;50:102360. doi:10.1016/j.ctim.2020.102360
32. Pedersen BK. Physical activity and muscle-brain crosstalk. Nature Reviews. Endocrinology. 2019;15(7):383-392. doi:10.1038/s41574-019-0174-x
33. Trejo JL, Carro E, Torres-Aleman I. Circulating insulin-like growth factor I mediates exercise-induced increases in the number of new neurons in the adult hippocampus. The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience. 2001;21(5):1628-1634. doi:10.1523/jneurosci.21-05-01628.2001
34. Borst SE, De Hoyos DV, Garzarella L, Vincent K, Pollock BH, Lowenthal DT, Pollock ML. Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2001;33(4):648-653. doi:10.1097/00005768-200104000-00021
35. Chang YK, Pan CY, Chen FT, Tsai CL, Huang CC. Effect of resistance-exercise training on cognitive function in healthy older adults: a review. Journal of Aging and Physical Activity. 2012;20(4):497-517. doi:10.1123/japa.20.4.497
36. Cassilhas RC, Viana VA, Grassmann V, Santos RT, Santos RF, Tufik S, Mello MT. The impact of resistance exercise on the cognitive function of the elderly. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2007;39(8):1401-1407. doi:10.1249/mss.0b013e318060111f
37. Vaynman SS, Ying Z, Yin D, Gomez-Pinilla F. Exercise differentially regulates synaptic proteins associated to the function of BDNF. Brain Research. 2006;1070(1):124-130. doi:10.1016/j.brainres.2005.11.062
38. Kramer AF, Erickson KI. Capitalizing on cortical plasticity: influence of physical activity on cognition and brain function. Trends in Cognitive Sciences. 2007;11(8):342-348. doi:10.1016/j.tics.2007.06.009
39. Ko IG, Kim CJ, Kim H. Treadmill exercise improves memory by up-regulating dopamine and down-regulating D(2) dopamine receptor in traumatic brain injury rats. Journal of Exercise Rehabilitation. 2019;15(4):504-511. doi:10.12965/jer.1938316.158