

Acute Effect of Aerobic Exercise on Evoked Potentials from Flanker Attention Task in Adolescent Boys

Mohsen Shirmohammadloo¹ , Somayeh Namdar Tajari² 

1. Department of Sport Biomechanics and Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

E-mail: mohsenshirmohamadlu@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Sport Biomechanics and Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. E-mail: s.namdar@umz.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research	Introduction: The mechanisms underlying the acute effect of aerobic exercise on cognition and its neuroelectrical correlates are not fully understood. The purpose of this study was to investigate the impact of acute aerobic physical activity on evoked potentials during a flanker attention task by analyzing event-related potentials (ERP).
Article history: Received: 18 July 2024 Received in revised form: 7 December 2024 Accepted: 8 December 2024 Published online : 22 June 2025	Method: Fifteen adolescent boys with an average age of 14.07 ± 1.12 years participated in this study. Participants visited the laboratory on two separate days: once without running and once after 20 minutes of aerobic running. During both visits, they performed the flanker task while their ERP activity was recorded. Using the EEGLAB software, ERP components including P2, N2, and P3 were extracted from Fz and Pz electrode channels. To test the research hypotheses, non-parametric Wilcoxon tests were conducted using SPSS version 20.
Keywords: Cognitive Process, Electroencephalography, Endogenous, Event-related Potentials, Exogenous.	Results: The results showed that a single session of aerobic exercise significantly increased the amplitude of the P3 and N2 components at the Fz channel and reduced their latency ($p < 0.05$). These changes were not observed at the Pz channel. The amplitude of the P2 component did not change significantly after aerobic running ($p > 0.05$), but it appeared significantly earlier at the Pz channel ($p < 0.05$).
	Conclusion: These findings indicate that endogenous ERP components during the flanker attention task were significantly enhanced following acute aerobic exercise. The earlier onset of the P2 component may reflect improved perceptual processing in the parietal region. Therefore, engaging in aerobic physical activity is suggested as a strategy to enhance cognitive performance before tasks requiring high-level mental processing.

Cite this article: Shirmohammadloo, M., Namdar Tajari, S. (2025). Acute Effect of Aerobic Exercise on Evoked Potentials from Flanker Attention Task in Adolescent Boys. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 17 (2), 81-99. <https://doi.org/10.22059/jsmdl.2024.379551.1792>



Journal of Sports and Motor Development and Learning by University of Tehran Press is licensed under [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) web site: <https://jsmdl.ut.ac.ir/> | Email: jsmdl@ut.ac.ir.

Extended Abstract

Introduction

Acute physical activity has been shown to enhance various aspects of cognitive function, particularly attention and executive control (Sosa et al., 2018). While many studies focus on the long-term effects of exercise, recent research emphasizes the significance of short-term physical activity on cognitive performance, especially in young people (Hillman et al., 2019). Event-related potentials (ERPs), such as P2, N2, and P3, offer detailed insights into these effects by reflecting attention allocation and cognitive processing (Kao et al., 2022). This study aims to examine the impact of a single 20-minute session of moderate-intensity aerobic exercise on ERP components (P2, N2, P3) during a Flanker task in adolescent boys, filling gaps in the neuroelectric evidence regarding the benefits of acute exercise on attention and cognitive control.

Methods

This quasi-experimental study utilized a randomized crossover design with one experimental group. Twenty boys aged 12 to 15 from Babolsar were recruited based on specific inclusion criteria, such as not engaging in regular exercise and having normal vision, while exclusion factors, including neurological disorders, were screened. Following pilot testing, EEG data from 15 participants were analyzed. Each participant completed a Flanker task twice: once after a 20-minute moderate-intensity aerobic run (70–75% of HR_{max}) and once without prior exercise. The session order was counterbalanced. EEG recordings were obtained using a 32-channel system configured according to the 10–20 system, and event-related potential (ERP) components (P2, N2, P3) were extracted using EEGLAB software, focusing specifically on the Fz and Pz electrodes. The Flanker task included congruent, neutral, and incongruent trials, with the ERP analysis concentrating on incongruent stimuli due to their higher cognitive load. Data preprocessing involved filtering, artifact rejection (using Independent Component Analysis (ICA) and the MARA method), re-referencing, and averaging. The final ERP measures were statistically analyzed using the Wilcoxon test in SPSS, with a significance level set at $\alpha = 0.05$.

Results

The results of the study showed that a single session of moderate-intensity aerobic exercise had significant positive effects on cognitive processing, as indicated by event-related potentials (ERPs) during a Flanker task. After the exercise session, there was a notable increase in the amplitude of the P3 component at both the frontal (Fz) and parietal (Pz) electrodes, with p-values of 0.001

and 0.023, respectively. This indicates enhanced allocation of attentional resources and greater cognitive engagement. Moreover, the amplitude of the N2 component also increased significantly at the Fz electrode ($p=0.003$), suggesting improved conflict monitoring or inhibitory control following the aerobic activity. However, no significant changes were observed in the amplitude of the P2 component at either location. In terms of latency, the P3 component appeared significantly earlier at the Fz site post-exercise ($p=0.003$), which reflects faster cognitive processing. Although there was no significant change in P3 latency at the Pz site ($p=0.003$ and $p=0.049$, respectively), the latencies of both the N2 and P2 components at the Pz site were significantly reduced, further indicating quicker neural responses to cognitive stimuli.

Conclusion

This study investigated the immediate effects of moderate-intensity aerobic exercise, specifically 20 minutes of running at 70–75% of maximum heart rate, on event-related potentials (ERPs) triggered by the Flanker task in adolescent boys. The results indicated significant increases in the amplitude and reductions in the latency of the endogenous P3 and N2 components at the frontal (Fz) site after exercising. This suggests enhanced cognitive processing and improved conflict monitoring. However, no significant changes in amplitude were observed for the exogenous P2 component, although its latency was reduced at the parietal (Pz) site. These findings imply that acute aerobic exercise enhances attentional and cognitive control processes, likely due to increased arousal, better cerebral blood flow, and neurochemical changes. The results support the incorporation of moderate aerobic exercise into educational programs to improve cognitive performance. Further research is necessary to explore potential gender differences and the effects of varying exercise intensities on neural and cognitive outcomes.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: All measurements were conducted at the Cognitive Science Lab, University of Mazandaran, under ethical approval (ID: IR.UMZ.REC.1403.002).

Funding: This study received no funding.

Authors' contribution: This article is based on the MSc thesis of the first author. Both authors collaborated on the research design, data collection, analysis of findings, and manuscript writing.

Conflict of interest: The authors of this article declare that they have no conflicts of interest.

Acknowledgments: The authors would like to express their gratitude to everyone who participated in this research.



اثر حاد فعالیت بدنی هوازی بر پتانسیل‌های فراخوانده‌شده از تکلیف توجهی فلانکر

در پسران نوجوان

محسن شیرمحمدلو^۱، سمیه نامدار طجری^۲

۱. گروه بیومکانیک ورزشی و رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. رایانامه: mohsenshirmohamadlu@gmail.com

۲. نویسنده مسؤل، گروه بیومکانیک ورزشی و رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. رایانامه: s.namdar@umz.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	مقدمه: سازوکارهای اثر حاد فعالیت بدنی بر شناخت و وابسته‌های نوروالکتریک آن مورد توافق نیست. هدف پژوهش حاضر بررسی اثر حاد فعالیت بدنی هوازی بر پتانسیل‌های فراخوانده‌شده از تکلیف توجهی فلانکر از طریق تحلیل پتانسیل‌های وابسته به رخداد (ERP) است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸	روش پژوهش: ۱۵ پسر نوجوان با میانگین سنی $11/12 \pm 14/07$ سال در این پژوهش شرکت کردند. شرکت‌کنندگان در دو روز متفاوت به آزمایشگاه مراجعه کردند. در یک روز بدون دوییدن و در روز دیگر بعد از ۲۰ دقیقه دوییدن هوازی آزمون فلانکر را اجرا کردند. همزمان فعالیت الکتریکی قشر نیز ثبت شد. از نرم‌افزار EEGLAB برای استخراج ERP‌های حاصل از فعالیت الکتریکی قشری حین اجرای تکلیف فلانکر استفاده شد و مؤلفه‌های P2، N2 و P3 در کانال‌های Fz، Pz استخراج شدند. از آزمون ناپارامتری ویلکاکسون و برای پاسخ به فرضیه‌های تحقیق استفاده شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۷	یافته‌ها: نتایج نشان داد که یک جلسه تمرین بدنی هوازی، دامنه مؤلفه‌های درون‌زا P3 و N2 در کانال Fz را افزایش معنادار و زمان تأخیر ظهور آنها را نیز کاهش داده است ($P < 0/05$). این تغییرات در کانال Pz تأیید نشد. دامنه مؤلفه P2 در اثر دوییدن هوازی تغییر معناداری نداشت ($P > 0/05$)، اما این مؤلفه در کانال Pz به شکل معناداری زودتر پدیدار شد ($P < 0/05$).
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸	نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که مؤلفه‌های درون‌زا ERP در تکلیف توجهی فلانکر پس از فعالیت بدنی هوازی به شکل معناداری تسهیل شده است. ممکن است وقوع سریع‌تر P2 حاصل یکپارچگی حسی ادراکی مؤثرتر در ناحیه آهیانه‌ای باشد. بنابراین فعالیت بدنی هوازی به‌عنوان یک راهکار برای تسهیل شناختی پیش از فعالیت‌هایی با نیاز پردازشی سطح بالا توصیه می‌شود.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱	

کلیدواژه‌ها:

الکتروانسفالوگرافی،
پتانسیل وابسته به رویداد،
پردازش شناختی،
درون‌زا،
برون‌زا.

استناد: شیرمحمدلو، محسن؛ و نامدار طجری، سمیه (۱۴۰۴). اثر حاد فعالیت بدنی هوازی بر پتانسیل‌های فراخوانده‌شده از تکلیف توجهی فلانکر در پسران نوجوان. نشریه رشد و یادگیری حرکتی ورزشی، (۲)، ۱۷، ۸۱-۹۹.

<https://doi.org/10.22059/jsmdl.2024.379551.1792>

این نشریه علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کپی‌رایت CC BY-NC 4.0 به نویسندگان واگذار کرده

است. تارنما: <https://jsmdl.ut.ac.ir> | رایانامه: jsmdl@ut.ac.ir



مقدمه

دانشمندان فواید بالقوه فعالیت بدنی را برای عملکرد شناختی از دهه ۱۹۵۰ به صورت حاد و مزمن بررسی کرده‌اند (پارک و اتنیر^۱، ۲۰۱۹). از بین این مطالعات بسیاری از انواع فعالیت‌های بدنی نیز بررسی شده است؛ مانند گلف (شیمادا^۲ و همکاران، ۲۰۱۸)، رقص (چاونگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۵)، تمرینات هوازی و مقاومتی (وو^۴ و همکاران، ۲۰۱۹) و در این پژوهش‌ها اثر مثبت فعالیت بدنی بر عملکرد شناختی نشان داده شد. در مقابل این آثار بلندمدت یا میان مدت فعالیت بدنی، مطالعات کمتری به آثار حاد فعالیت بدنی پرداخته‌اند. حال آنکه فعالیت‌های بدنی کوتاه مدت جنبه‌هایی از عملکرد عصبی-شناختی را تسهیل می‌کند که این تسهیل ممکن است به نفع عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان باشد (ریلی و همکاران، ۲۰۱۶). برای مثال کستیل^۵ و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که آمادگی هوازی با عملکرد تحصیلی بهتر در آزمون‌های استاندارد در کودکان دبستانی مرتبط است. سوسا^۶ و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که بزرگسالان پس از تمرین هوازی حاد بهتر می‌توانند درگیر طبقه‌بندی اطلاعات در محیط محرک خود باشند و این اطلاعات را سریع‌تر پردازش کنند. چنین یافته‌هایی محققان را امیدوار کرده است که با ایجاد مداخلات فعالیت‌های بدنی مختلف یک کاربرد عملی برای بهبود عملکرد شناختی را ایجاد کنند.

کارکردهای شناختی نقش مهمی در زندگی روزمره هر انسان ایفا می‌کنند، زیرا نشان‌دهنده توانایی‌های ذهنی اساسی برای انجام هر فعالیتی هستند. آنها شامل توجه، حافظه و یادگیری، عملکرد حرکتی ادراکی، عملکردهای اجرایی و زبان هستند (بوفانو^۷ و همکاران، ۲۰۲۴). یکی از مؤلفه‌های مهم عملکردهای شناختی، توجه است که پیش‌نیاز اساسی برای برآوردن مطالبات روزانه و تحصیلی است (زای^۸ و همکاران، ۲۰۲۴). عملکرد یک فرد سالم به این بستگی دارد که چه میزان از منابع توجه به‌طور عام و توجه انتخابی بینایی را به‌طور خاص، به شکلی مؤثر به تکالیف مختلف اختصاص دهد (زای و همکاران، ۲۰۲۴). در مطالعات رفتاری نشان داده شده است یک دوره‌ی کوتاه مدت تمرین هوازی با شدت متوسط سبب افزایش تخصیص منابع توجه و بهبود پردازش شناختی و سرعت طبقه‌بندی محرک می‌شود. چندین سازوکار عصبی برای توضیح بهبودهای مشاهده شده در کارکرد اجرایی پس از تمرینات حاد بدنی پیشنهاد شده است، مانند اهمیت فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز^۹ در پیدایش سیناپس، بیان عوامل رشد انسانی، آزادسازی فعال کاتکولامین‌ها و افزایش سطح لاکتات خون (هیلمن^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۹). لاتینو و تافوری^{۱۱} (۲۰۲۴) در تحقیق مروری خود چند دسته از عوامل را در توجیه اثر فعالیت بدنی بر عملکرد شناختی خلاصه کردند که عبارت‌اند از: تسهیل رشد عصبی، افزایش تعداد سیناپس‌ها، بهبود گردش خون در قشر مغز، تحریک ساخت انتقال‌دهنده‌های عصبی، رشد نورون، نورونزایی، رگ‌زایی و ترمیم نورونی.

تحقیقات با استفاده از ارزیابی نوروالکتریک پس از مداخلات حاد بدنی، به‌ویژه در کودکان و نوجوانان تا پایان سال ۲۰۰۰ میلادی وجود نداشت و این زمینه پژوهشی در سال‌های اخیر رونق یافته است (پونیفکس^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعات نشان داده‌اند که حتی جلسات کوتاه مدت فعالیت بدنی در کلاس درس می‌تواند تأثیر مثبتی بر رفتارهای تحصیلی مانند توجه و ماندن برای انجام کامل تکالیف داشته باشد (ریلی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۶). ما^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان دادند که بهبود در این رفتارها می‌تواند حتی با یک فعالیت بدنی با زمان چهار دقیقه در کلاس رخ دهد. چنین یافته‌هایی از ضرورت اجرای فعالیت بدنی قبل از تجربه یادگیری پشتیبانی می‌کند، که به نوبه خود می‌تواند عملکرد را در محیط یادگیری تقویت کند. اخیراً نیز میرشکاری، صمدی و صادقیان شاهی^{۱۵} (۲۰۲۴) نشان دادند فعالیت هوازی

1. Park and Etnier

2. Shimada

3. Chuang

4. Wu

5. Castelli

6. Sousa

7. Bufano

8. Xie

9. Brain-Derived Neurotrophic Factor

10. Hillman

11. Latino & Tafuri

12. Pontifex

13. Riley

14. Ma

با شدت متوسط و پایین حافظه جاری بهبود بخشید، اما اثر معناداری بر توجه انتخابی نداشت. بنابر آنچه گفته شد عمده تحقیقات از اثر مثبت فعالیت بدنی بر جنبه‌هایی از شناختی حمایت می‌کنند.

اگرچه برخی پژوهش‌ها در خصوص اثر تمرینات بدنی و بهبود عملکرد شناختی اثر معناداری را نشان داده است، اما تحقیقات در زمینه سازوکارهای اثرگذاری فعالیت‌های بدنی بسیار محدود بوده و مطالعات بیشتری برای آشکار ساختن چگونگی تأثیر فعالیت بدنی بر فرآیندهای توجهی زیربنایی عملکرد شناختی، مورد نیاز است (بامیدیس^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). رابطه بین فعالیت بدنی حاد و عملکرد شناختی چندان واضح نیست، زیرا به نظر می‌رسد مقالات مربوط به این موضوع تا حدودی یافته‌های کاملی را ارائه نمی‌دهند (المبرگ و اس‌تی-لویس^۲، ۲۰۱۰). برای مثال سوسا و همکاران (۲۰۱۸) پس از مطالعه مروری جامع درباره اثر فعالیت بدنی بر جنبه‌های شناختی و توجهی بیان کردند که چندین موضوع جالب و بالقوه ارزشمند برای تحقیقات آینده وجود دارد که سلامت شناختی و عملکرد مؤثر را در بین افراد را افزایش می‌دهد. آنها بیان کردند که به‌طور خاص، مطالعه رخدادهای عصبی-شناختی برای بررسی آثار حاد ورزش بر عملکرد شناختی با استفاده از نمونه‌هایی از کودکان، نوجوانان، سالمندان یا افراد مبتلا به بیماری‌های شناختی یا جسمی بسیار محدودند. این حوزه از تحقیقات به‌وضوح نیاز به توجه دارد، زیرا این جمعیت‌ها ممکن است به‌طور متفاوتی به مداخلات ورزشی حاد در عملکرد شناختی پاسخ دهند. تحقیقات آتی که آثار حاد ورزش بر شناخت را بررسی می‌کنند، باید از این جمعیت‌ها استفاده کنند تا مشخص شود که فرآیندهای شناختی آنها چگونه تحت تأثیر فعالیت بدنی حاد قرار می‌گیرد (سوسا و همکاران، ۲۰۱۸). چارچوب نظری تشریح این سازوکار هنوز در حال توسعه است و به تحقیقات بیشتری نیاز دارد (هیلمن و همکاران، ۲۰۱۹).

از آنجایی که آثار حاد فعالیت بدنی بر عملکرد شناختی را می‌توان بلافاصله پس از قطع فعالیت بدنی و در پی آن مشاهده کرد (ویلکه^۳ و همکاران، ۲۰۱۹)، استفاده از ابزارهای ثبت دقیق، بیشتر از آزمون‌های رفتاری کمک‌کننده است. یکی از این ابزارها پتانسیل وابسته به رویداد^۴ (ERP) است که پتانسیل‌های فراخوانده شده قشری را متعاقب یک محرک ارائه شده ثبت می‌کند. علاقه فزاینده به مغز انسان از زمان راه‌اندازی چندین طرح تحقیقاتی در سراسر جهان مانند تحقیقات مغز از طریق پیشرفت فناوری‌های عصبی نوآورانه (BRAIN) از سال ۲۰۱۳ در ایالات متحده، پروژه مغز انسان (HBP) از سال ۲۰۱۵ در اتحادیه اروپا، و نقشه‌برداری مغز توسط فناوری‌های عصبی یکپارچه برای مطالعات بیماری (Brain/MINDS) از سال ۲۰۱۴ در ژاپن، روانشناسان ورزش را به بررسی پاسخ‌های عصبی شناختی حاد به فعالیت بدنی با استفاده از انواع رویکردهای علوم اعصاب علاقمند کرده است. در دهه‌های گذشته از میان این تکنیک‌ها، پتانسیل مرتبط با رویداد (ERP) به دلیل ارتباط خوب آن با پردازش اطلاعات در زمینه رفتارهای انسانی هدفمند توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. تعداد مطالعاتی که از ERP برای ارزیابی تغییرات عصبی مرتبط با توجه و عملکرد اجرایی در پاسخ به ورزش استفاده می‌کنند، رو به افزایش است (کائو^۵ و همکاران، ۲۰۲۲). ERP برگرفته از الکتروانسفالوگرافی (EEG) است و شامل الگوهای فعال‌سازی عصبی فرایندهای ادراکی و شناختی در پاسخ به یک محرک است یا آماده‌سازی برای یک پاسخ را منعکس می‌کند و به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی تأثیرات عصبی شناختی ورزش استفاده شده است (هیلمن و همکاران، ۲۰۱۹).

ERPها منعکس‌کننده فعالیت همزمان تعداد زیادی از نورون‌ها هستند که در تکلیف موردنظر مشارکت دارند. در واقع پتانسیل استخراج‌شده، حاصل پردازش شناختی محرک است که با تکنیک ثبت فعالیت الکتریکی مجموعه صورت می‌گیرد. در شکل ۱ یک تصویر

¹. Bamidis

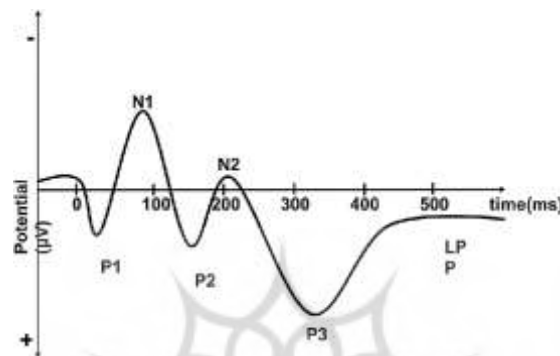
². Ellemberg, D. and St-Louis-Deschênes

³. Wilke

⁴. Event-related potentials

⁵. Kao

شماتیک از یک نمونه موج ERP نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این موج دارای قله‌های مثبت و منفی است که به ترتیب قله‌های مثبت P1، P2 و P3 و قله‌های منفی N1 و N2 نامیده می‌شوند. قله‌هایی که زود هنگام ظاهر می‌شوند (P1، N1 و P2)، پتانسیلی برون‌زا^۱ و جفت‌شده به پردازش محرک‌اند. قله‌هایی که با تأخیر بیشتر ظاهر می‌شوند (P3، N2)، پاسخ‌های شناختی سطح بالاترند که حاصل مشارکت فعال فرد (درون‌زا)^۲ هستند که به جنبه‌های درون‌زای عملکرد شناختی (برای مثال بازداری پاسخ و تخصیص منابع توجه) مربوط می‌شوند. هر مؤلفه ERP را می‌توان بر اساس زمان تأخیر ظاهر شدن و دامنه (شدت) آن تفسیر کرد، برای مثال تأخیر در P3 به‌طور کلی منعکس‌کننده زمان تشخیص محرک و اتمام ارزیابی محرک در نظر گرفته می‌شود که این موضوع مستقل از انتخاب پاسخ و کنش رفتاری است. به‌طور کلی، تأخیر کوتاه‌تر به عملکرد شناختی بهتر منجر می‌شود (پولیش^۳، ۲۰۰۷).



شکل ۱. نمودار شماتیک ERP (ایزنبارت^۴، ۲۰۱۸)

اعتقاد بر این است که دامنه P3 تخصیص منابع توجه را در خدمت حافظه فعال در طول درگیری با محرک قرار می‌دهد و دامنه بزرگ‌تر نشان‌دهنده تخصیص بیشتر منابع است. تصور می‌شود که تأخیر P3 سرعت طبقه‌بندی و ارزیابی محرک را نشان می‌دهد که با افزایش تأخیر، زمان پردازش طولانی‌تر خواهد شد. یافته‌های تحقیق هیلمن و همکاران (۲۰۰۹) و پونیفیکس و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهد که شرکت در یک مسابقه ۲۰ دقیقه‌ای هوازی با شدت متوسط موجب افزایش تخصیص منابع توجه و پردازش شناختی سریع‌تر می‌شود. هیلمن و همکاران (۲۰۱۹) در نقد مطالعه قبلی خود و مطالعه پونتفیکس و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که در این دو مطالعه از مسابقه حرکتی استفاده شده و تفسیر هیجانانگیزی از مسابقه در تغییرات شناختی ایجاد شده، نادیده گرفته شده است. ماگنی^۵ و همکاران (۲۰۰۰) در یک تکلیف فلانکر^۶ مؤلفه P3 را پس از یک تمرین بیشینه بررسی کردند. آنها کاهش تأخیر P3 و افزایش دامنه P3 را پس از یک جلسه فعالیت بدنی بیشینه مشاهده کردند و نشان دادند این مداخله مزایایی برای سرعت پردازش شناختی و تخصیص منابع توجه در طول انجام تکلیف فلانکر دارد. تکلیف فلانکر یک ماهیت بازداری دارد. تکالیف بازداری شامل تشخیص تضاد بین دو محرک‌اند که با توجه به ادبیات تحقیقات در حوزه ERP، مؤلفه N2 متعاقب تکالیف بازداری نمایان می‌شوند (تجری و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین به‌منظور بررسی مؤلفه‌های درون‌زای توجه بررسی مؤلفه N2 در کنار مؤلفه P3 ضروری به‌نظر می‌رسد که در تحقیق ماگنی و همکاران (۲۰۰۰) لحاظ نشده است. در تحقیق ماگنی و همکاران تأخیر مؤلفه P3 به سرعت پردازش و افزایش دامنه P3 به تخصیص منابع توجهی نسبت داده شده است. تفسیر آنها از این نتایج این بود که فعالیت بدنی، برانگیختگی سیستم عصبی مرکزی را افزایش می‌دهد.

¹. exogenous

². endogenous

³. Polich

⁴. Eisenbarth

⁵. Magnié

⁶. Flanker

در مجموعه کوچکی از پژوهش‌هایی که اثر حاد فعالیت هوازی را در با استفاده از ERP بررسی کرده‌اند، یافته‌ها نشان می‌دهند که تأثیر مفیدی بر پردازش شناختی تضاد، زمان پردازش و کنترل بازداری دارد (کائو و همکاران، ۲۰۲۲)، اما نتایج متناقض نیز وجود دارد و نشان داده شده است وقتی نیاز پردازشی افزایش می‌یابد، این اثر مثبت وجود ندارد (هیلمن و همکاران، ۲۰۰۹؛ پونتیفکس و همکاران، ۲۰۱۹). این یافته‌ها با تحقیقات قبلی در خصوص آثار حاد فعالیت بدنی بر شناخت که با استفاده از ابزارهای رفتاری مانند استفاده از زمان واکنش ساده و انتخابی، جنبه‌های مختلف تمرکز، ریاضیات، آزمون‌های مختصر پیشرفت تحصیلی و کنترل بازداری انجام شده است، مطابقت دارد. با این حال، تا به امروز، تنها تعداد انگشت‌شماری از تحقیقات قبلی، تأثیرات یک دوره حاد ورزش هوازی را بر شاخص‌های عصبی-الکتریک شناختی بررسی کرده‌اند (کائو و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین برای روشن شدن اثر حاد فعالیت بدنی بر جنبه‌های شناختی نیاز به تحقیقات بیشتری نیاز است.

یکی از پژوهش‌های پیشرو در این زمینه تحقیق کامیجو^۱ و همکاران (۲۰۰۴) است که از تکلیف برو/نرو^۲ تعدیل شده برای بررسی کنترل اجرایی سیستم عصبی پس از فعالیت بدنی حاد استفاده کردند. آنها تکلیف Go را مشابه تکلیف فلانکر طرح‌ریزی کردند. نتایج آنها نشان داد که در هر دو بخش تکلیف، دامنه P3 پس از فعالیت بدنی متوسط افزایش یافته است. آنها میزان تغییر در دو تکلیف را با هم مقایسه نکردند، اما داده‌های آنها از این ایده که تکالیفی که به مقادیر بیشتری از کنترل اجرایی نیاز دارند بیشتر تحت تأثیر فعالیت بدنی حاد قرار می‌گیرد، حمایت می‌کند (کامیجو و همکاران، ۲۰۰۴b). در مقابل گرگو^۳ و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کردند که ورزش با تعدیل مؤلفه P3 پس از فعالیت بدنی ارتباطی ندارد، درحالی‌که یاگی و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که سرعت پردازش شناختی در حین ورزش کاهش می‌یابد، اما با توقف تمرین به سطح پایه برمی‌گردد. این مطالعات حجم نمونه کمی داشتند (سه نفر) و در تعمیم نتایج آنها محدودیت وجود دارد.

تکلیف فلانکر با توجه به ماهیت بازداری خود می‌تواند نیاز توجهی را در حین پردازش به چالش بکشد و موجب فراخوانی مؤلفه‌های P3، N2 و P2 شود (زای و همکاران، ۲۰۲۰). همان‌طور که می‌دانیم تکلیف فلانکر یک تکلیف توجهی است. تحلیل فعالیت الکتریکی مغز در حین اجرای یک تکلیف توجهی مانند فلانکر شیوه مناسبی برای بررسی فرایندهای شناختی است. استفاده از تکنیک ERP این امکان را فراهم می‌کند که با وضوح زمانی بسیار بالا، رخداد‌های بسیار سریع پردازشی مورد سنجش قرار گیرد. فرایندهای توجهی تحت تأثیر منابع درونی و بیرونی قرار دارند. مؤلفه‌های P3 و N2 تحت تأثیر منابع درونی قرار می‌گیرند و مؤلفه‌های زود هنگام‌تر مانند P1، N1 و P2 در اثر منابع برون‌زا و وابسته به محرک تغییر می‌کنند (لاندري^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). در تحقیق حاضر دو مؤلفه درونی P3 و N2 و یک مؤلفه برون‌زا P2 بررسی شدند، زیرا همان‌طور که بیان شد این دو مؤلفه حاصل پتانسیل برآمده از مشارکت فعال فرد برای پاسخ به محرک‌های مشاهده شده است. مشاهده تغییرات این دو مؤلفه از ERP، نه تنها مشاهده تغییرات شناختی زیربنایی را امکان‌پذیر می‌کند، بلکه می‌تواند معیاری دقیق برای ارزیابی آثار تمرین بدنی و حتی مداخلات دیگر باشد.

مرور ادبیات با موضوع آثار حاد فعالیت بدنی بر سازوکارهای شناختی نشان داد که ابعاد شایان توجهی از آثار حاد فعالیت بدنی بر کنترل شناختی مکانیزم‌های توجهی با استفاده از متغیرهای نوروالکتریک قشر مغز بررسی نشده است. بررسی متغیرهای نوروالکتریک مانند مؤلفه‌های ERP فراخوانده شده از یک تکلیف توجهی که دقت زمانی بالایی دارند، می‌تواند درک تغییرات زیربنایی سازوکارهای شناختی کمک کند. همان‌طور که بیان شد، با این تکنیک آثار تمرین بدنی با دقت بیشتری نسبت به متغیرهای رفتاری، بررسی خواهد شد. بنابراین

^۱. Kamijo

^۲. Go/No Go

^۳. Grego

^۴. Landry

ترغیب شدیم تا با استفاده از تحلیل ERP، اثر یک جلسه ۲۰ دقیقه‌ای دویدن هوازی با ۷۰ تا ۷۵ درصد حداکثر ضربان قلب را بر مؤلفه‌های توجهی برون‌زا (P2) و درون‌زا (P3 و N2) فراخوانده‌شده متعاقب تکلیف توجهی (آزمون فلانکر) در پسران نوجوان ۱۲ تا ۱۵ ساله بررسی کنیم.

روش‌شناسی پژوهش

روش پژوهش حاضر شبه‌تجربی بود که با طرح متقاطع تصادفی و با یک گروه آزمایشی انجام گرفت. همه اندازه‌گیری‌های مربوط به متغیرهای وابسته تحقیق در آزمایشگاه علوم شناختی دانشگاه مازندران اجرا شد. طرح تحقیق حاضر در کمیته اخلاق دانشگاه مازندران بررسی و با شناسه IR.UMZ.REC.1403.002 تأیید شد.

شرکت‌کنندگان

جامعه آماری تحقیق، پسران ۱۲ تا ۱۵ ساله شهرستان بابلسر بود. معیارهای ورود عبارت بودند از: ۱. جنسیت مذکر، ۲. دامنه سنی ۱۲ تا ۱۵ سال، ۳. نداشتن فعالیت منظم ورزشی از دو سال قبل، ۴. بینایی طبیعی. معیارهای خروج عبارت بودند از: ۱. سابقه اختلال روان‌شناختی، ۲. سابقه ضربه به سر، ۳. جراحی ناحیه جمجمه و ۴. مصرف داروهای خاص. آزمودنی‌ها چنانچه تمایل به شرکت در طرح داشتند، از آنها جهت شنیدن توضیحات محقق درباره جلسه آزمون دعوت به عمل آمد. در نهایت، ۲۰ پسر نوجوان با توجه به معیارهای ورود به تحقیق به شکل در دسترس داوطلب شرکت در پژوهش شدند. شایان توضیح است که پیش از اجرای پروتکل تحقیق شش بار چیدمان آزمون و اجرای پروتکل جهت پایلوت دیتابرداری اجرا شد. در مجموع ۴۶ بار ثبت EEG انجام شد، شش مرتبه برای پایلوت و ۴۰ مرتبه برای آزمون‌های اصلی. در مرحله تحلیل داده‌های ERP، داده‌های مربوط به پنج آزمودنی به علت نویز زیاد برای پردازش غیرمناسب تشخیص داده شد و حذف شدند. در نهایت از اطلاعات ۱۵ آزمودنی برای پاسخ به فرضیه‌های تحقیق استفاده شد. به علت هزینه بالای اجرای تحقیق امکان افزایش حجم نمونه وجود نداشت.

ابزار

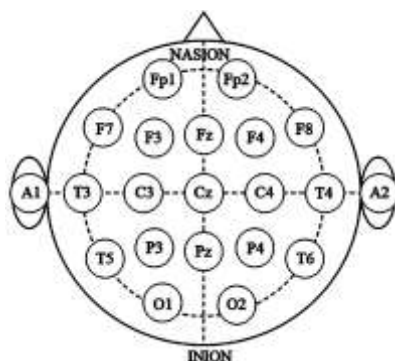
پرسشنامه ویژگی‌های دموگرافیک: این پرسشنامه اطلاعات مربوط به سن، قد، وزن، وضعیت بینایی، سابقه فعالیت بدنی و بیماری‌های روان‌شناختی، ضربه به سر و عمل جراحی در آن ناحیه را در رابطه با فرد آزمودنی مورد سؤال قرار داده بود.

دستگاه الکتروانسفالوگرافی ۳۲ کاناله اکتیو: از دستگاه الکتروانسفالوگراف ۳۲ کاناله اکتیو ساخت شرکت لیوفناوری هوشمند برای ثبت EEG/ERP استفاده شد. با استفاده از کابل ثبت تریگ که با دستگاه فوق همزمان شده بود، محرک‌های نمایش داده‌شده روی مانیتور روی EEG ثبت شده و پس از اتمام داده‌برداری کوشش‌های حاوی تکلیف فلانکر توسط نرم‌افزار EEGLAB بریده شده و برای تولید ERP‌ها میانگین‌گیری شدند. مؤلفه‌های ERP نیز با استفاده از EEGLAB استخراج شد که در ادامه شرح داده خواهد شد. برای ثبت ۳۲ کاناله از کلاه ثبت EEG که با الگوی بین‌المللی ۱۰-۲۰ مطابق شده بود، استفاده شد. برای این کار ابتدا فاصله دو گوش با متر نواری اندازه‌گیری شده و مرکز این فاصله علامت‌گذاری می‌شد. سپس فاصله بالای بینی بین دو ابرو^۱ تا برجستگی استخوان پس‌سری^۲ اندازه‌گیری

^۱. Nazion

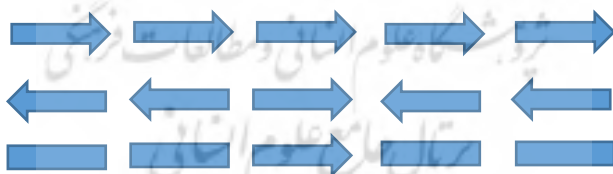
^۲. Inion

شده و وسط آن علامت‌گذاری می‌شد. سپس محل تقاطع الکتروود Cz جایگذاری می‌شد. الکتروود رفرنس پشت گوش چپ و الکتروود گراند پشت گوش راست روی استخوان جمجمه قرار داشت.



شکل ۲. محل جایگذاری الکتروودها در سیستم ۲۰-۱۰ (ماتسو^۱ و همکاران، ۲۰۲۴)

آزمون فلانکر: آزمون فلانکر با استفاده از نرم‌افزار Psytask ساخته و نمایش داده شد. نرم‌افزار Psytask ساخت شرکت میتسار روسیه است و امکان طراحی تکالیف شناختی را به کاربر می‌دهد. تکلیف فلانکر از تحقیق **روادا و همکاران (۲۰۰۴)** اقتباس شد. در هر آزمایش، یک علامت + به عنوان محرک تثبیت بینایی در مرکز صفحه نمایش به مدت ۱۰۰ میلی ثانیه ظاهر می‌شد، به دنبال آن با تأخیر تصادفی ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی ثانیه یکی از آرایه‌های شکل زیر به مدت ۷۵۰ هزارم ثانیه ظاهر می‌شد. آزمودنی‌ها باید با کلید مکان نما جهت فلش وسط را انتخاب می‌کردند (**روادا و همکاران، ۲۰۰۴**). آزمودنی در فاصله تقریباً ۶۰ سانتی متری از مانیتور قرار می‌گرفت و پاسخ‌ها توسط کلیدهای مکان نمای صفحه کلید روبه‌روی آزمودنی ثبت می‌شدند. همان‌طور که در شکل ۳ آمده است، آرایه‌ها به شکل همخوان، خنثی و ناهمخوان ارائه شدند. برای پاسخ به فرضیه‌های تحقیق از تحلیل ERP همزمان‌شده با محرک‌های ناهمخوان استفاده شد، زیرا بار شناختی بالاتری را برای آزمودنی ایجاد می‌کرد (**کامیجو و همکاران، ۲۰۰۴ b**).



شکل ۳. شماتیکی از محرک‌های همخوان، ناهمخوان و خنثی در تکلیف فلانکر. تعداد آرایه‌ها در تکرارهای متوالی از یک تا ۵ عدد متفاوت بودند.

روند اجرای پژوهش

هر شرکت‌کننده باید دو بار آزمون را تکمیل می‌کرد؛ یک‌بار بدون اینکه فعالیت هوازی انجام دهد و یک‌بار پس از دویدن هوازی. آزمون تکلیف فلانکر بود که در ادامه شرح داده شده است. پیش از انجام تکلیف فلانکر دستگاه EEG/ERP به آزمودنی متصل می‌شد تا فعالیت الکتریکی جمجمه حین اجرای آزمون فلانکر ثبت شود. از آنجایی که طرح تحقیق به شکل اندازه‌گیری مکرر بود (دو بار برای هر شرکت‌کننده) برای کنترل اثر ترتیب، این دو جلسه به شکل تصادفی برای هر آزمودنی اجرا شد، به‌طوری‌که نیمی از شرکت‌کنندگان جلسه

^۱. Matsuo

اول حضورشان در آزمایشگاه دویندن و نیمی دیگر در جلسه دوم تا شرایط طرح متقاطع تصادفی برای آنها اجرا شود. پروتکل دویندن شامل ۲۰ دقیقه دویدن با ۷۰ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه بود. برای محاسبه ضربان قلب بیشینه از سن از ۲۲۰ کسر شد (روبرگز و لندور^۱، ۲۰۰۲) و در ضریب ۷۰ درصد و ۷۵ درصد ضرب شد. از آزمودنی خواسته شد تا ضربان قلب خود را در این محدوده حفظ کند. ضربان قلب با استفاده از ساعت مچی هوشمند شیائومی مدل Maimo-WT2105 کنترل شد. آزمودنی‌ها ۴۸ ساعت پیش از شرکت در تحقیق از نوشیدن قهوه و الکل منع شدند و باید حداقل ۷ ساعت در شب قبل از داده‌برداری می‌خوابیدند و استحمام می‌کردند، زیرا خواب ناکافی و چربی پوست سر اثر نامطلوبی بر کیفیت EEG دارد. همه آزمودنی‌ها از ساعت ۹ تا ۱۲ برگزار شد.

فعالیت هوازی در مکانی سرباز انجام شد (محوطه مقابل آزمایشگاه علوم شناختی). شدت ۷۰ درصد ضربان قلب بیشینه، شدت متوسط در نظر گرفته شده و اعتقاد کلی بر این است که این میزان از ضربان قلب برای عملکرد ادراکی مفید است (کرامر^۲، ۲۰۲۰). به‌طور کلی می‌توان گفت که پروتکل ورزشی از سه فاز تشکیل شد. فاز گرم کردن به مدت پنج دقیقه، فاز تمرین به مدت ۲۰ دقیقه و فاز سرد کردن به مدت پنج دقیقه. طی فاز سرد کردن، آزمونگر کمکی موی سر شرکت‌کنندگان را با باد ملایم سشوار خشک کرد و کلاه ثبت EEG روی سر آزمودنی قرار داده شد. برای هر بار الکتروگذاری حدود ده دقیقه و چک کردن درستی ثبت بین ۵ تا ۱۰ دقیقه زمان صرف می‌شد. متغیر مستقل در پژوهش حاضر، فعالیت بدنی حاد و متغیر وابسته دامنه و زمان تأخیر سه مؤلفه P3، N2 و P2 در کانال‌های Fz و Pz بود.

روشی تحلیل داده‌ها

با توجه به اینکه دستگاه الکتروانسفالوگرافی داده‌ها را با فرمت EEG ثبت می‌کند، به‌منظور ورود اطلاعات به نرم‌افزار EEGLAB، فرمت اطلاعات به EDF تغییر داده شد. در گام بعدی نام، نوع، موقعیت و رفرنس همه کانال‌ها تعریف شده و سپس بیس لاین از داده‌ها کم شد و در محدوده یک هرتز از فیلتر بالا گذر استفاده شد. پس از این مرحله، نویز برق شهر به کمک ناچ فیلتر از تمامی کانال‌ها و در فرکانس‌های ۵۰ هرتز از داده‌ها حذف شده و سپس به کمک تکنیک تحلیل مؤلفه مستقل^۳ (ICA) و الگوریتم حذف نویزهای چندگانه^۴ (MARA) کانال‌های دارای نویز زیاد حذف شده و سپس این کانال‌ها از روی اطلاعات سایر کانال‌ها میانه‌یابی شدند. سپس رفرنس کانال‌ها بر اساس میانه‌گیری کانال‌ها محاسبه شده و مجدداً ICA و MARA به‌منظور حذف نویزها استفاده شد و مجدداً رفرنس کانال‌ها محاسبه شد (تجری و همکاران، ۲۰۲۳). پس از پایان مرحله پیش‌پردازش و پردازش اولیه، ERP جفت‌شده با محرک‌های ناهمخوان تکلیف فلانکر استخراج شده و مؤلفه‌های P2، N2 و P3 از نمودار ERP در الکترودهای خط میانی پوست سر (Fz، Pz) استخراج شدند، چراکه P3 و N2 تمایل دارند در نواحی جلویی نشان داده شوند و نیز P2 در ناحیه پری‌تال مشخص‌تر ظهور پیدا می‌کند (میلیت^۵ و همکاران، ۲۰۲۰؛ پولیچ، ۲۰۰۷). سپس داده‌های تحقیق با استفاده از نرم‌افزار اس. پی. اس. و آزمون غیرپارامتریک ویلکاکسون در سطح خطای $\alpha = 0.05$ تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌های پژوهشی

با توجه به اینکه طرح تحقیق حاضر متقاطع تصادفی بود و گروه تجربی به‌عنوان کنترل خودش یک‌بار بدون فعالیت و یک‌بار پس از دویندن هوازی (دو شرایط متفاوت) اندازه‌گیری شد، بنابراین مقایسه آماری زوجی برای دو گروه (داده) وابسته استفاده شد. با توجه به اینکه آزمون شاپیروویلک نشان داد که توزیع داده‌های تحقیق نرمال نیستند، بنابراین از آزمون آماری ویلکاکسون استفاده شد. در ادامه جدول مربوط به ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان آمده است.

¹. Robergs & Landwehr

². Kramer

³. Independent Component Analysis

⁴. Multiple Artifact Rejection Algorithm

⁵. Maillat

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان

قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	سن (سال)	شاخص توده بدنی
۱۷۱/۰۲ ± ۸/۳۲	۶۰/۵۸ ± ۱۴/۳۹	۱۴/۰۸ ± ۱/۰۲	۲۰/۰۷ ± ۲/۲۱

همان‌طور که در جدول ۲ آمده است آزمون ویلکاکسون نشان داد که دامنه مؤلفه P3 در هر کانال‌های Fz و Pz پس از دویدن افزایش معناداری داشته است ($P \leq 0/05$) افزایش معناداری داشته است. دامنه مؤلفه N2 نیز در کانال Fz افزایش معناداری را نشان می‌دهد ($0/05$). بنابراین یک جلسه تمرین بدنی هوازی می‌تواند افزایش معناداری در دامنه مؤلفه P3 و N2 در کانال Fz (پیشانی) ایجاد کند.

جدول ۲. مقایسه شدت مؤلفه‌های P2، N2 و P3 در آزمون فلانکر در شرایط بدون دویدن و پس از دویدن هوازی بر حسب میلی ولت

کانال	مؤلفه	بدون دویدن	پس از دویدن	Z	P
Fz	P3	$1/44 \pm 2/75$	$2/66 \pm 0/77$	-۳/۴۰۸	*۰/۰۰۱
	N2	$-2/18 \pm 1/27$	$-5/29 \pm 1/41$	-۳/۲۹۵	*۰/۰۰۱
	P2	$1/19 \pm 0/55$	$1/22 \pm 0/59$	-۱/۱۹۱	۰/۲۳۸
Pz	P3	$3/22 \pm 1/55$	$4/63 \pm 1/12$	-۲/۲۷۴	*۰/۰۲۳
	N2	$-2/85 \pm 1/25$	$-3/45 \pm 1/04$	-۱/۵۹۱	۰/۱۱۲
	P2	$3/13 \pm 1/22$	$3/22 \pm 1/51$	-۰/۹۴۸	۰/۴۵۱

*در سطح $P \leq 0/05$ معنادار است.

زمان تأخیر ظهور مؤلفه P3 در هر کانال Fz پس از دویدن هوازی کاهش معناداری داشته است ($P = 0/003$)، به این معنی که این مؤلفه زودتر پدیدار شده است، اما در کانال Pz تغییر معناداری مشاهده نشد. برای زمان تأخیر مؤلفه N2 و P2 کاهش معناداری در کانال Pz مشاهده می‌شود.

جدول ۳. مقایسه زمان تأخیر مؤلفه‌های P2، N2 و P3 در آزمون فلانکر در شرایط بدون دویدن و پس از دویدن هوازی بر حسب هزارم ثانیه

کانال	مؤلفه	بدون دویدن	پس از دویدن	Z	P
Fz	P3	$311/13 \pm 49/20$	$275/53 \pm 49/42$	-۳/۰۱۱	*۰/۰۰۳
	N2	$270/53 \pm 40/35$	$263/40 \pm 34/64$	-۰/۷۳۹	۰/۴۶۰
	P2	$175/63 \pm 41/37$	$163/32 \pm 34/22$	۱/۱۸	۰/۲۳۷
Pz	P3	$311/13 \pm 49/20$	$275/53 \pm 49/42$	-۱/۱۹۴	۰/۲۳۳
	N2	$212/80 \pm 38/55$	$179/67 \pm 26/91$	-۲/۹۲۸	*۰/۰۰۳
	P2	$132/52 \pm 35/41$	$101/63 \pm 32/01$	-۱/۹۳۴	*۰/۰۴۹

*در سطح $P \leq 0/05$ معنادار است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی اثر حاد فعالیت بدنی هوازی (۲۰ دقیقه دویدن با شدت ۷۰ تا ۷۵ درصد ضربان قلب بیشینه) بر پتانسیل‌های فراخوانده‌شده متعاقب تکلیف توجهی فلانکر در پسران نوجوان بود. برای فراخوانی مؤلفه‌های پتانسیل‌های حاصل از فعالیت الکتریکی قشر مغز از تکلیف فلانکر استفاده شد و مؤلفه‌های P2، N2 و P3 جفت‌شده با محرک‌های ارائه‌شده توسط تکلیف فلانکر استخراج شدند. نتایج

نشان داد که در اثر یک جلسه تمرین بدنی هوازی، شدت مؤلفه‌های درون‌زا P3 و N2 در کانال Fz افزایش معنادار داشته و زمان تأخیر ظهور آنها نیز کاهش معنادار یافته است. البته این تغییرات در کانال Pz تأیید نشد. شدت مؤلفه P2 در اثر دودیدن هوازی هیچ تغییر معناداری در هر دو کانال Fz و Pz نداشت، اما این مؤلفه به‌عنوان یک مؤلفه برون‌زا در کانال Pz به شکل معناداری زودتر پدیدار شد.

ورزش به مدت طولانی به‌عنوان یک رفتار بهداشتی مهم برای سلامت روان و رفاه شناخته شده است. تعداد فزاینده‌ای از تحقیقات اخیر که در زمینه روان‌شناسی ورزش، شواهد همگرایانه‌ای را نشان می‌دهند که درگیری طولانی‌مدت ورزش تأثیرات مثبتی بر عملکردهای شناختی دارد (چن^۱ و همکاران، ۲۰۲۰؛ لودیگا^۲ و همکاران، ۲۰۲۰؛ تومپوروفسکی و پسچه^۳، ۲۰۱۹؛ وو^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). اما همان‌طور که در مقدمه نیز اشاره شد در زمینه آثار حاد فعالیت بدنی بر شناخت و وابسته‌های عصبی آن ادبیات به این گستردگی نیست. بیشترین ادبیات موجود در خصوص مؤلفه P3 است که به شکل شایان توجهی بیشتر از سایر مؤلفه‌ها بررسی شده است.

در تحقیق کامیجو و همکاران (۲۰۰۴a) که از یک دوره تمرینات هوازی با شدت بالا، متوسط و سبک هوازی استفاده کرده بودند، دامنه P3 صرفاً پس از فعالیت هوازی متوسط افزایش یافته بود. درحالی‌که ورزش بسیار سبک و با شدت بسیار بالا دامنه P3 را تعدیل نکرد. در اولین تحقیق در این زمینه، ناکامورا^۵ و همکاران (۱۹۹۹) پس از یک مسابقه حرکتی ۳۰ دقیقه‌ای با شدت متوسط، افزایش دامنه P3 را حین اجرای تکلیف فلانکر مشاهده کردند. بنابراین احتمالاً فعالیت بدنی هوازی با شدت بالا تغییر معناداری در دامنه P3 ایجاد نمی‌کند (کائو و همکاران، ۲۰۲۲). در مقابل ماگنی و همکاران (۲۰۰۰) نمونه‌ای از بزرگسالان جوان دانشگاهی را در حالت استراحت و پس از یک فعالیت بیشینه روی دوچرخه کارسج حین انجام یک تکلیف فلانکر شنوایی بررسی کردند و نشان دادند که این فعالیت بیشینه به شکل معناداری دامنه P3 را افزایش و تأخیر P3 را کاهش داده است که هر دو نشان‌دهنده پردازش بهینه‌ترند.

در این تحقیق نشان داده شد که شدت مؤلفه P3 افزایش داشته است. سطوح برانگیختگی بالاتر سبب ایجاد شدت P3 بزرگ‌تر می‌شود (لوتیمپولیو^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). ورزش یک عامل استرس‌زای بدنی برای افزایش نه‌تنها برانگیختگی قلبی عروقی محیطی، بلکه فعال شدن نورون‌هاست و انتظار می‌رود ویژگی‌های P3 به‌واسطه این برانگیختگی تعدیل شود (مک موریس^۷ و همکاران، ۲۰۱۶). پژوهش‌هایی که شامل فعالیت‌های بدنی متفاوتی بودند، مانند فعالیت‌های بدنی مقاومتی و فعالیت موزون، افزایش مشابهی را در دامنه P3 نشان دادند (لودیگا و همکاران، ۲۰۱۷؛ لیند^۸ و همکاران، ۲۰۱۹؛ تسای^۹ و همکاران، ۲۰۲۱). البته در شدت‌های پایین و بالا آثار متفاوتی دیده شده است (کامیجو و همکاران، ۲۰۰۴a). کامیجو و همکاران (۲۰۰۴a) و کائو و همکاران (۲۰۱۸) بیان کرده‌اند که رابطه یو وارونه بین شدت تمرین و دامنه P3 وجود دارد و معتقدند بزرگ‌ترین دامنه P3 ممکن است در سطح برانگیختگی متوسط از طریق فعالیت بدنی با شدت متوسط به دست آید.

مطالعات مختلف انجام شده در رابطه با تعدیل مولفه P3 پس از ورزش، اکثراً^{۱۰} بر مردان متمرکز بوده است (چو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۷؛ دو ریتز^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۹؛ وون^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۷). به‌دلیل تفاوت عصبی آناتومیک و عصبی در زمینه تولید P3 بین زن و مرد تفاوت است (ملینیت، وانگ و گریسکووا^{۱۳}، ۲۰۱۸). در تحقیق حاضر نیز برای کنترل عامل جنسیت، از شرکت کنندگان پسر استفاده شد. این

1. Chen
2. Ludyga
3. Tomporowski & Pesce
4. Wu
5. Nakamura

6. LoTemplo
7. McMorris
8. Lind
9. Tsai
10. Chu

11. Du Rietz
12. Won
13. Melynyte, Wang & Griskova-Bulanova

موضوع موجب ایجاد محدودیت در تعمیم نتایج به گروه زنان شده است. در مجموع، اگرچه عوامل برخی از تفاوت‌های فردی که ممکن است تأثیرات حاد ورزش را بر P3 تعدیل کنند، شناسایی شده، اثر این تعدیل هنوز به‌طور جامع تعیین نشده است (کائو و همکاران، ۲۰۲۲). همسو با این تحقیق، کائو و همکاران (۲۰۲۲) از یک فعالیت هوازی ۲۰ دقیقه‌ای شدت متوسط و تکلیف شناختی برو/نرو استفاده کردند. آنها معتقد بودند که فعالیت هوازی با شدت متوسط راهبرد مؤثری برای بهبود موقت کنترل بازداری، افزایش توانایی سرکوب عوامل حواس‌پرتی نامربوط و در عین حال تمرکز بر اطلاعات مرتبط در تسهیل اجرای رفتار هدفدار، است. شرکت‌کنندگان آنها بزرگسال بودند. با اینکه نتایج رفتاری تفاوتی را نشان نداد، اما P3 سریع‌تر رخ داده بود. آنها این‌گونه تفسیر کردند که یک دوره کوتاه تمرین هوازی به کاهش‌های مربوط به زمان در ظرفیت پردازش و همچنین پردازش نوروالکتریک توجه و سرکوب تعارض، کمک می‌کند. یکی از موضوعات مورد توافق در تحقیقات گذشته، بهبود خون‌رسانی به مغز در اثر فعالیت‌های هوازی است (مولسر و موریو^۱، ۲۰۲۳). فراهم‌سازی اکسیژن و منابع غذایی عامل بسیار مهمی در تسهیل اعمال شناختی است. بنابراین تحقیق حاضر نشان داد ممکن است این فراهم‌سازی به نفع فرایندهای درون‌زا توجهی باشد.

تحقیقات با استفاده از فناوری‌های تصویربرداری مغزی نیز نشان داده‌اند که تمرینات هوازی نه تنها به افزایش جریان خون به مغز کمک می‌کند، بلکه سبب تحریک تولید عوامل نوروتروفیک مانند BDNF (عامل نوروتروفیک مشتق از مغز) می‌شود. این عامل پروتئینی نقشی حیاتی در رشد و بقای ارتباطات نورونی ایفا می‌کند، که از انعطاف‌پذیری سیناپسی حمایت کرده و به ایجاد و تقویت ارتباطات جدید بین نورون‌ها کمک می‌کند (وس^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). تحقیقات نشان می‌دهند که تمرینات هوازی کوتاه‌مدت، به‌خصوص وقتی با شدت متوسط تا بالا انجام گیرند، می‌توانند سطح BDNF را به شکل چشمگیری افزایش دهند. این افزایش به‌طور معمول موقتی است و سطح BDNF پس از چند ساعت به میزان اولیه برمی‌گردد، اما همین افزایش موقتی نیز می‌تواند تأثیرات مثبتی بر عملکردهای شناختی و حافظه کوتاه‌مدت بگذارد (دینوف^۳ و همکاران، ۲۰۱۷). نشان داده شده است که جلسات تمرینی کوتاه‌مدت سبب افزایش سطح BDNF در سرم خون و تحریک تولید BDNF در مغز، به‌ویژه در نواحی مرتبط با حافظه، مانند هیپوکامپ، می‌شوند (گریفین^۴ و همکاران، ۲۰۱۱). اگرچه افزایش موقت سطح BDNF در اثر تمرینات حاد مشاهده شده است، اما افزایش پایدار و طولانی‌مدت در سطح BDNF به‌طور معمول به تمرینات منظم و بلندمدت نیاز دارد (ژوهانی^۵ و همکاران، ۲۰۱۵).

سازوکار محتمل دیگری که در خصوص تسهیل عصبی سازوکارهای شناختی در پی یک جلسه تمرین بدنی مطرح می‌شود این است که تمرین بدنی می‌تواند سبب افزایش نوروترانسمیترهایی مانند دوپامین، سروتونین و نوراپی‌نفرین شود که همگی نقش مهمی در تنظیم خلق‌وخو، تمرکز و حافظه دارند. افزایش این نوروترانسمیترها به کاهش استرس و در نتیجه بهبود توجه و تمرکز کمک می‌کند. تمرینات هوازی تک‌جلسه‌ای سیستم آدرنرژیک را فعال می‌کند و باعث افزایش انگیزتگی و سطح هوشیاری می‌شود. این افزایش انگیزتگی می‌تواند در پردازش سریع‌تر و بهبود توجه نقش داشته باشد، به‌ویژه در تکالیف شناختی که به تمرکز بالا نیاز دارند (باسو و سوزوکی^۶، ۲۰۱۷).

در حوزه اثر فعالیت بدنی بر الگوی ERP بر مؤلفه P3 متمرکز شده است، که تفسیرپذیری تغییرات ناشی از فعالیت بدنی را محدود می‌کند. P3 تنها جزء ERP نیست که فرایندهای شناختی را طی ارزیابی محرک منعکس می‌کند. برای مثال P2 و N2 دیگر مؤلفه‌هایی هستند که سازوکارهای عصبی توجه و نظارت بر تعارض را نمایان می‌کنند (کائو و همکاران، ۲۰۲۲). بنا به ماهیت تکلیف فلانکر امکان استخراج

¹. Mulser & Moreau

². Voss

³. Dinoff

⁴. Griffin

⁵. Szuhany

⁶. Basso & Suzuki

مؤلفه‌های دیگری مانند N2 و P2 نیز وجود دارد که در پژوهش حاضر به آن پرداخته شده است. پژوهش‌ها در زمینه بررسی تغییرات این دو مؤلفه پس از فعالیت بدنی حاد بسیار محدود است و حتی تحقیقی که به‌طور مستقیم این موضوع را بررسی کند، در مرور ادبیات توسط محققان یافت نشد. کامیجو و همکاران (۲۰۰۴b) در تحقیق دیگری به بررسی اثر فعالیت بدنی حاد بر مؤلفه CNV^۱ پرداختند. این مؤلفه یک قله منفی در موج ERP است که دو بار در طول دوره بین یک محرک یا سیگنال هشدار و یک پاسخ، ظاهر می‌شود. اولین قله منفی به «جهت‌گیری توجه» و دومین قله منفی به «آمادگی حرکت مربوط» است. نتایج تحقیق کامیجو و همکاران نشان داد که فعالیت بدنی شدید دامنه هر دو مؤلفه را کاهش داده است. اما جالب توجه است که فعالیت بدنی با شدت کم و متوسط با تعدیل هر دو مؤلفه CNV رابطه‌ای را نشان نداد (کامیجو و همکاران، ۲۰۰۷). مؤلفه CNV اولیه، نزدیک‌ترین مؤلفه به N2 است. نتایج تحقیق حاضر، نتایج کامیجو و همکاران را تأیید نمی‌کند و همان‌طور که گفته شد، تحقیق حاضر نشان داد که شدت و دامنه N2 تغییراتی را به نفع نظارت شناختی تضاد (تشخیص محرک ناسازگار در تکلیف فلانکر) نشان می‌دهند. این تفاوت احتمالاً به علت تفاوت در تکالیف ارائه‌شده است، چراکه پیچیدگی سیستم عصبی آنقدر زیاد است که یک تکلیف نسبتاً ساده، یک شبکه عصبی بزرگ را درگیر می‌کند که مسئول تخصیص منابع توجهی و به‌روزرسانی حافظه فعال در آن تکلیف است. بنابراین تغییر در محرک‌های ارائه‌شده، شبکه‌های عصبی و مولدهای ساختاری متفاوتی را برای پردازش آن محرک‌ها فعال می‌کند (سوسا و همکاران، ۲۰۱۸).

در تحقیق حاضر مؤلفه P2 به‌عنوان یک مؤلفه برون‌زا بررسی شد. این مؤلفه به ویژگی‌های محرک بستگی دارد. تحقیقات درباره P2 بصری در مقایسه با سایر مؤلفه‌های ERP در مراحل اولیه است و هنوز اطلاعات زیادی در این باره وجود ندارد. توافق نسبی بین محققان در زمینه علوم اعصاب شناختی وجود دارد که P2 جنبه‌ای از پردازش ادراکی مرتبه بالاتر را نشان می‌دهد و از طریق توجه تعدیل می‌شود. مشخص است که P2 به‌طور معمول به‌عنوان بخشی از پاسخ طبیعی به محرک‌های بصری برانگیخته می‌شود و در رابطه با جست‌وجوی بینایی و توجه بصری مورد توجه محققان قرار گرفته است. به‌طور کلی، P2 ممکن است بخشی از سیستم تطبیق شناختی باشد که ورودی‌های حسی را با حافظه ذخیره‌شده مقایسه می‌کند (فرانبرگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۷).

در تحقیق حاضر نشان داده شد که شدت مؤلفه P2 در اثر دویدن هوازی هیچ تغییر معناداری در هر دو کانال Fz و Pz نداشت، زمان تأخیر نیز در کانال Fz تغییر معناداری نداشت، اما در کانال Pz به شکل معناداری زودتر پدیدار شد. این نتیجه نشان می‌دهد که ممکن است منابع شناختی افزوده‌تری در اختیار پردازش مورد نیاز برای جست‌وجوی بینایی و یا تطبیق شناختی محرک‌های ارائه‌شده قرار نگرفته است. اما با توجه به اینکه مؤلفه P2 در ناحیه پری‌تال زودتر پدیدار شده، احتمالاً یکپارچگی حسی محرک‌های بصری تکلیف، سریع‌تر رخ داده است. برای اینکه بتوان این نتیجه را بهتر تفسیر کرد یا تعمیم داد، به تکرار تجارب مشابه نیاز است. بر اساس ادبیات موجود در خصوص اعمال ناحیه پری‌تال و پردازش شناختی متناظر با P2 نتایج تحقیق حاضر منطقی به نظر می‌رسد، زیرا ناحیه آهیانه‌ای ایستگاه یکپارچه‌سازی سطح بالا برای محاسبه دستورهای حرکتی بدن بر اساس ورودی حسی لمسی و بصری خارجی است و این سیگنال‌های حسی یکپارچه‌شده هستند که به اعمال بدنی مانند پاسخ به یک محرک خاص تبدیل می‌شوند (اوربن و سپ^۳ و بونینی^۳، ۲۰۲۱).

در تحقیق حاضر با توجه به نوع ابزار در دسترس تلاش شد تا حداقل تأخیر زمانی ممکن بین فعالیت بدنی و تکلیف شناختی وجود داشته باشد، اما امکان حذف فاصله زمانی وجود نداشت. از طرفی دویدن در فضای غیرآزمایشگاهی انجام گرفت تا نتایج قابلیت تعمیم به شرایط واقعی در مدارس را داشته باشد. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، فعالیت بدنی هوازی با شدت متوسط اثر مثبتی بر فرایندهای

^۱. Contingent negative variation

^۲. Freunberger

^۳. Orban, Sepe & Bonini

عصبی-شناختی و عملکردهای مرتبط با توجه و پردازش شناختی دارد. افزایش دامنه و کاهش تأخیر مؤلفه‌های ERP مانند P3 و N2 نشان‌دهنده بهبود کارایی مغز در نظارت بر تعارض و پردازش اطلاعات در کوتاه‌مدت است. این نتایج تأیید می‌کند که تمرینات هوازی می‌توانند به عنوان مداخلات کاربردی برای ارتقای توانمندی‌های شناختی، به‌ویژه در شرایطی که سرعت و دقت تصمیم‌گیری مهم است، استفاده شوند. از نظر کاربردی، حوزه آموزش می‌تواند از این اطلاعات برای طراحی برنامه‌های تمرین بدنی به‌منظور ارتقای عملکرد شناختی و روانی دانش‌آموزان استفاده کند. به‌طور خاص، پیشنهاد می‌شود که تمرینات هوازی با شدت متوسط در برنامه‌های آموزشی و تربیتی گنجانده شود تا توانایی‌های شناختی، توجه و حافظه تقویت شوند. با توجه به آنچه بحث شد جنسیت و شدت تمرین، تفاوت‌های احتمالی را بر فرایند شناختی دارد. انجام تحقیقات مشابه برای جمعیت زنان و نیز استفاده از شدت‌های مختلف تمرینی درک بهتری از آثار فعالیت بدنی هوازی بر وابسته‌های عصبی شناخت ایجاد خواهد کرد.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دانشجوی کارشناسی ارشد رشته روانشناسی ورزشی در دانشگاه مازندران است. نویسندگان بدین‌وسیله مراتب سپاسگزاری و قدردانی خود را از دانش‌آموزان شرکت‌کننده در این تحقیق و اولیای محترمشان، ابراز می‌کنند.

References

- Bamidis, P. D., Vivas, A. B., Styliadis, C., Frantzidis, C., Klados, M., Schlee, W., ... & Papageorgiou, S. G. (2014). A review of physical and cognitive interventions in aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, 206-220. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.03.019>
- Basso, J.C. & Suzuki, W.A. (2017). The Effects of Acute Exercise on Mood, Cognition, Neurophysiology, and Neurochemical Pathways: A Review. *Brain Plasticity*, 2, 127 – 152. <https://doi.org/10.3233/BPL-160040>
- Bufano, P., Di Tecco, C., Fattori, A., Barnini, T., Comotti, A., Ciocan, C., ... & Bonzini, M. (2024). The effects of work on cognitive functions: a systematic review. *Frontiers in psychology*, 15, 1351625. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1351625>
- Castelli, D. & Valley, J. (2007). Chapter 3: The Relationship of Physical Fitness and Motor Competence to Physical Activity. *Journal of Teaching in Physical Education*, 26, 358-374. <https://doi.org/10.1123/jtpe.26.4.358>
- Chen, F. T., Etnier, J. L., Chan, K. H., Chiu, P. K., Hung, T. M. & Chang, Y. K. (2020). Effects of exercise training interventions on executive function in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(8), 1451–1467. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01292-x>
- Chu, C.-H., Kramer, A. F., Song, T.-F., Wu, C.-H., Hung, T.-M. & Chang, Y.-K. (2017). Acute exercise and neurocognitive development in preadolescents and young adults: An ERP study. *Neural Plasticity*, 2017, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2017/2631909>
- Chuang, L. Y., Hung, H. Y., Huang, C. J., Chang, Y. K. & Hung, T. M. (2015). A 3-month intervention of Dance Revolution improves interference control in elderly females: a preliminary investigation. *Experimental Brain Research*, 233(4): 1181-1188. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4196-x>

- Dinoff, A. Herrmann, N. Swardfager, W. & Lanctôt, K. L. (2017). The effect of acute exercise on blood concentrations of brain-derived neurotrophic factor in healthy adults: A meta-analysis. *European Journal of Neuroscience*, 46(1), 1635-1646. <https://doi.org/10.1111/ejn.13603>
- Du Rietz, E. Barker, A. Michelini, G. Rommel, A. S. Vainieri, I. Asherson, P. & Kuntsi, J. (2019). Beneficial effects of acute high-intensity exercise on electrophysiological indices of attention processes in young adult men. *Behavioural Brain Research*, 359, 474–484. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2018.11.024>
- Eisenbarth, H. (2018). Methods in Cognitive Neuroscience: A primer for Forensic Psychologists. *Psychology, Crime & Law*, 24, 1-33. <https://doi.org/10.1080/1068316X.2018.1425409>
- Ellemborg, D. & St-Louis-Deschênes, M. (2010). The effect of acute physical exercise on cognitive function during development. *Psychology of Sport and exercise*, 11(2), 122-126. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2009.09.006>
- Freunberger, R. Klimiesch, W. Doppelmayr, M & Holler, Y. (2007). Visual P2 component is related to theta phase-locking. *Neuroscience Letters*, 426, 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.08.062>
- Grego, F. Vallier, J.-M. Collardeau, M. Bermon, S. Ferrari, P. Candito, M. Bayer, P. Magnié, M. & Brisswalter, J. (2004). Effects of long duration exercise on cognitive function, blood glucose, and counterregulatory hormones in Male cyclists. *Neuroscience Letters*, 364 (2), 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2004.03.085>
- Griffin, É. W. Bechara, R. G., Birch, A. M. & Kelly, Á. M. (2011). Exercise enhances hippocampal-dependent learning in the rat: Evidence for a BDNF-related mechanism. *Hippocampus*, 21(5), 582-593. <https://doi.org/10.1002/hipo.20631>
- Hillman, C. H. Logan, N. E. & Shigeta, T. T. (2019). A review of acute physical activity effects on brain and cognition in children. *Translational Journal of the American College of Sports Medicine*, 4(17), 132-136. <https://doi.org/10.1002/hipo.20631>
- Hillman, C. H. Pontifex, M. B., Raine, L. B. Castelli, D. M. Hall, E. E. & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044–1054. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057>
- Kamijo, K. Nishihira, Y. Hatta, A. Kaneda, T. Kida, T. Higashiura, T. & Kuroiwa, K. (2004). Changes in arousal level by differential exercise intensity. *Clinical Neurophysiology*, 115(12), 2693-2698. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.06.016>
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Hatta, A., Kaneda, T., Wasaka, T., Kida, T., & Kuroiwa, K. (2004b). Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system *European Journal of Applied Physiology*, 92(3), 305–311. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-097-2>
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Higashiura, T., & Kuroiwa, K. (2007). The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. *International Journal of Psychophysiology*, (2)65, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2007.04.001>
- Kao, S. C. Drollette, E. S. Ritondale, J. P. Khan, N. & Hillman, C. H. (2018). The acute effects of highintensity interval training and moderate-intensity continuous exercise on declarative memory and inhibitory control. *Psychology of Sport and Exercise*, 38, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.05.011>
- Kao, S.-C. Baumgartner, N. Nagy, C., Fu, H.-L. Yang, C.-T. & Wang, C.-H. (2022). Acute effects of aerobic exercise on conflict suppression, response inhibition, and processing efficiency underlying inhibitory control processes: AnERPandSFTstudy. *Psychophysiology*, 59(8), e14032. <https://doi.org/10.1111/psyp.14032>
- Kramer, A. (2020). An overview of the beneficial effects of exercise on health and performance. *Physical Exercise for Human Health*, 1228, 3-22. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1_1

- Landry, M. da Silva Castanheira, J. Raz, A., Baillet, S. & Sackur, J. (2022). Exogenous attention interferes with endogenous attention processing via lateralized alpha power. *bioRxiv*, 12 (23). 521791. <https://doi.org/10.1101/2022.12.23.521791>
- Latino, F., & Tafuri, F. Physical Activity and Cognitive Functioning. *Medicina*, 60(2), 216. <https://doi.org/10.3390/medicina60020216>
- Lind, R. R. Beck, M. M. Wikman, J. Malarski, K. Krstrup, P. Lundbye-Jensen, J. & Geertsen, S. S. (2019). Acute high-intensity football games can improve children's inhibitory control and neurophysiological measures of attention. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29 (10), 1546–1562. <https://doi.org/10.1111/sms.13485>
- LoTemplio, S., Silcox, J., Federmeier, K., & Payne, B. (2021). Inter-and intra-individual coupling between pupillary, electrophysiological, and behavioral responses in a visual oddball task. *Psychophysiology*, 58(4), e13758. <https://doi.org/10.1111/psyp.13758>.
- Ludyga, S. Brand, S. Gerber, M. Weber, P. Brotzmann, M. Habibifar, F. & Puhse, U. (2017). An event related potential investigation of the acute effects of aerobic and coordinative exercise on inhibitory control in children with ADHD. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 28, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.10.007>
- Ludyga, S. Gerber, M. Pühse, U. Looser, V. & Kamiyo, K. (2020). Systematic review and meta-analysis investigating moderators of long-term effects of exercise on cognition in healthy individuals. *Nature Human Behaviour*, 4(6), 603–612. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0851-8>.
- Ma, J. K. Le Mare, L. Gurd, B. J. (2014). Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9-to 11-year olds. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 238–44. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-030>
- Magnié, M. Bermon, S. Martin, F. Madany-Lounis, M. Suisse, G. Muhammad, W & Dolisi, C. (2000). P300, N400, aerobic fitness, and maximal aerobic exercise. *Psychophysiology*, 37, 369–77. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3730369>
- Maillet, D. Yu, L. Lau, B. Chow, R. Alain, C. & Grady, C. L. (2020). Differential effects of mind-wandering and visual distraction on age-related changes in neuro-electric brain activity and variability. *Neuropsychologia*, 146, 107565. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107565>
- Matsuo, M. Higuchi, T. Ishibashi, T. Egashira, A. Abe, T. and Miyabara, H. (2024) Enhancement of Visual Attention by Color Revealed Using Electroencephalography. *Open Journal of Therapy and Rehabilitation*, 12, 1-9. <https://doi.org/10.4236/ojtr.2024.121001>
- McMorris, T. Turner, A. Hale, B. J. & Sproule, J. (2016). Beyond the catecholamines hypothesis for an acute exercise-cognition interaction: A neurochemical perspective. In T. McMorris (Ed.), *Exercise cognition interaction: Neuroscience perspectives* (pp. 65–103). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800778-5.00004-9>.
- Melynyte, S. Wang, G. & Griskova-Bulanova, I. (2018). Gender effects on auditory P300: A systematic review. *International Journal of Psychophysiology*, 133, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.08.009>
- Mirshekari, Z. Samadi, H. & Shahi, M. S. (2024). Comparing the Effects of Resistance Training and Aerobic Exercise With Low and Moderate Intensities on Working Memory and Selective Attention of Inactive Young Girls. *Iran J Health Sci*, 12 (2), 119-130. <https://doi.org/10.32598/ijhs.12.2.1014.1>
- Mulser L & Moreau D. (2023). Effect of acute cardiovascular exercise on cerebral blood flow: A systematic review. *Brain Research*, 1809, 148355. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2023.148355>

- Nakamura, Y. Nishimoto, K. Akamatu, M. Takahashi, M. & Maruyama, A. (1999). The effect of jogging on P300 event related potentials. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 39(2), 71-74. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10207674/>
- Tajari N, S. Gholami, S. Rostami, R. Trabelsi, K. & Taheri, M. (2023). The effect of perceptual-motor exercise on temporal dynamics of cognitive inhibition control in children with developmental coordination disorder. *Mental Health and Physical Activity*, (24), 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2022.100495>
- Orban, G. A. Sepe, A. & Bonini, L. (2021). Parietal maps of visual signals for bodily action planning. *Brain Structure & Function*, 226(9), 2967-2988. <https://doi.org/10.1007/s00429-021-02378-6>
- Park, S. & Etnier, J. L. (2019). Beneficial effects of acute exercise on executive function in adolescents. *Journal of Physical Activity and Health*, 16(6), 423-429. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2022.100495>
- Pontifex, M. B. McGowan, A. L. Chandler, M. C. Gwizdala, K. L. Parks, A. C. Fenn, K. & Kamijo, K. (2019). A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition. *Psychology of Sport and Exercise*, 40, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.08.015>
- Riley, N. Lubans, D. R. Holmes, K. & Morgan, P. J. (2016). Findings from the EASY minds cluster randomized controlled trial: evaluation of a physical activity integration program for mathematics in primary schools. *Journal of physical activity and health*, 13(2), 198-206. <https://doi.org/10.1123/jpah.2015-0046>
- Robergs, R & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the "HRmax=220-age" equation. *International Journal of Online Engineering - iJOE*, 5.
- Rueda, M.R. Posner, M.I. Rothbart, M.K. & Davis-Stober, C.P. (2004). Development of the time course for processing conflict: an event-related potentials study with 4 year olds and adults. *BMC Neurosci*, 5, 39. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-5-39>
- Shimada, H. Lee, S. Akishita, M. Kozaki, K. Iijima, K., Nagai, K. Ishii, S. Tanaka, M. Koshihara, H. Tanaka, T. & Toba, K. (2018). Effects of golf training on cognition in older adults: a randomised controlled trial. *J Epidemiol Community Health*, 72(10), 944-950. <https://doi.org/10.1136/jech-2017-210052>
- Sousa, A. Medeiros, A. Del Rosso, S. Stults-Kolehmainen, M & Boullousa, D. (2018). The influence of exercise and physical fitness status on attention: a systematic review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 12, 202-234. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2018.1455889>
- Szuhany, K. L. Bugatti, M. & Otto, M. W. (2015). A meta-analytic review of the effects of exercise on brain-derived neurotrophic factor. *Journal of Psychiatric Research*, 60, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2014.10.003>
- Tomprowski, P. & Pesce, C. (2019). Exercise, sports, and performance arts benefit cognition via a common process. *Psychological Bulletin*, 145, 929-951. <https://doi.org/10.1037/bul0000200>
- Tsai, Y. J., Hsieh, S. S., Huang, C. J., & Hung, T. M. (2021). Dose-response effects of acute aerobic exercise intensity on inhibitory control in children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 316. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.617596>
- Voss, M. W. Nagamatsu, L. S. Liu-Ambrose, T. & Kramer, A. F. (2013). Exercise, brain, and cognition across the life span. *Journal of Applied Physiology*, 115(6), 1237-1245. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00210.2011>
- Wilke, J. Giesche, F., Klier, K., Vogt, L., Herrmann, E. and Banzer, W., (2019). Acute effects of resistance exercise on cognitive function in healthy adults: a systematic review with multilevel meta-analysis. *Sports Medicine*, 49(6): 905-916. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01085-x>
- Won, J. Wu, S. Ji, H., Smith, J. C. & Park, J. (2017). Executive function and the P300 after treadmill exercise and futsal in college soccer players. *Sports*, 5(4), <https://doi.org/10.3390/sports5040073>

- Wu, C. H., Karageorghis, C. I., Wang, C. C., Chu, C. H., Kao, S. C., Hung, T. M., et al. (2019). Effects of acute aerobic and resistance exercise on executive function: an ERP study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22: 1367–1372. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.07.009>
- Wu, S. Ji, H., Won, J. Liu, X. & Park, J. J. (2021). Effects of acute visual stimulation exercise on attention processes: An ERP study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1107. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031107>
- Xie, L. Cao, B. Li, Z. & Li, F. (2020). Neural dynamics of cognitive control in various types of incongruence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 512674. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00214>
- Yagi et al. (1999) Yagi Y, Coburn KL, Estes KM, Arruda JE. Effects of aerobic exercise and gender on visual and auditory p300, reaction time, and accuracy. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1999; 80(5):402–408. <https://doi.org/10.1007/s004210050611>

