

The acute effect of aerobic exercise on evoked potentials from flanker attentional task in adolescent boys

Mohsen Shirmohamadloo¹, Somayeh Namdar Tajari^{2✉}

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 of the acute effect of aerobic exercise on cognition and neuroelectrical dependents are not completely clear. The present study aims to investigate the impact of physical activity on evoked potentials during the flanker attention task through the analysis of 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 participated in this study. The participants came to the laboratory on two different days. Once without running and once after 20 minutes of aerobic running, they performed the flanker test while recording ERP. Using EEGLAB, ERP components including P2, N2, and P3 were extracted in Fz and Pz channels. Wilcoxon non-parametric test and SPSS version 20 software were used to answer the research hypotheses.
Keywords: <i>Electroencephalography, Event Related Potentials, Cognitive process, Endogenous, Exogenous.</i>	Results: The results of the research showed that a session of aerobic exercise significantly increased the amplitude of the P3 and N2 in the Fz channel and decreased the delay time of their appearance ($P < 0.05$). These changes were not confirmed in the Pz channel. The amplitude of the P2 did not change significantly due to aerobic running ($P < 0.05$), but this component appeared significantly earlier in the Pz channel ($P < 0.05$).
	Conclusion: The study's results demonstrated that the endogenous ERP components during the flanker attention task were significantly enhanced following aerobic Exercise. The quicker appearance of the P2 is likely a result of improved perception in the parietal region. Therefore, engaging in aerobic physical activity is suggested as a method to enhance cognitive performance before engaging in activities that require high levels of mental processing.

Cite this article: Shirmohamadloo, M., Namdar Tajari, S. (2025). The acute effect of aerobic exercise on evoked potentials from flanker attentional task in adolescent boys. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 17 (2), p-p.

<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 | web site: <https://jsmdl.ut.ac.ir/> | Email: jsmdl@ut.ac.ir.

Extended Abstract

Introduction

Acute physical activity has been shown to enhance aspects of cognitive function, particularly attention and executive control (Sosa et al., 2018). While many studies focus on chronic effects, recent work highlights the importance of short-term exercise on cognitive performance, especially in youth (Hillman et al., 2019). Event-related potentials (ERPs), such as P3 and N2, provide high-resolution 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, addressing gaps in neuroelectric evidence of acute exercise benefits on attention and cognitive control.

Methods

This quasi-experimental study employed a randomized crossover design with one experimental group. Twenty boys aged 12–15 from Babolsar were recruited based on inclusion criteria (e.g., no regular exercise, normal vision) and screened for exclusion factors (e.g., neurological disorders). After 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% HR_{max}) and once without prior exercise. Sessions were counterbalanced. EEG was recorded using a 32-channel system (10–20 configuration), and ERP components (P2, N2, P3) were extracted using EEGLAB software, focusing on Fz and Pz electrodes. The Flanker task included congruent, neutral, and incongruent trials, with ERP analysis focused on incongruent stimuli due to their higher cognitive load. Data preprocessing included filtering, artifact rejection (ICA, MARA), re-referencing, and averaging. Final ERP measures were statistically analyzed using the Wilcoxon test in SPSS at $\alpha = 0.05$.

Results

The results of the study demonstrated that a single session of moderate-intensity aerobic exercise had significant positive effects on cognitive processing, as measured by event-related potentials (ERPs) during a Flanker task. Following the exercise session, there was a significant increase in the amplitude of the P3 component at both frontal Fz ($p=0.001$) and parietal Pz ($p=0.023$) electrodes, indicating enhanced attentional resource allocation and cognitive engagement.

Additionally, the amplitude of the N2 component significantly increased at the Fz electrode ($p=0.003$), suggesting improved conflict monitoring or inhibitory control after aerobic activity. However, no significant changes were observed in the amplitude of the P2 component at either site.

In terms of latency, the P3 component appeared significantly earlier at the Fz site post-exercise ($p=0.003$), reflecting faster cognitive processing. Although P3 latency at the Pz site did not show a significant change ($p=0.003$ and $p=0.049$, respectively), the latencies of both N2 and P2 components at the Pz site were significantly reduced, further indicating quicker neural responses to cognitive stimuli.

Conclusion

This study examined the acute effects of moderate-intensity aerobic exercise (20 minutes of running at 70–75% of maximum heart rate) on event-related potentials (ERPs) elicited by the Flanker task in adolescent boys. The results showed significant increases in the amplitude and reductions in the latency of the endogenous P3 and N2 components at the frontal (Fz) site following exercise, indicating enhanced cognitive processing and conflict monitoring. No significant amplitude changes were observed for the exogenous P2 component, although its latency was reduced at the parietal (Pz) site. These findings suggest that acute aerobic exercise facilitates attentional and cognitive control processes, likely mediated by increased arousal, improved cerebral blood flow, and neurochemical modulation. The results support the integration of moderate aerobic exercise into educational programs to boost cognitive performance. Further research is needed to explore gender differences and the effects of exercise intensity on neural and cognitive outcomes.

Ethical Considerations

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

Funding: There is no funding.

Authors' contribution: This article was extracted from the Msc thesis of the first author. The research design, data collection, analysis of findings, and manuscript composition were collaboratively conducted by both authors.

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

Acknowledgments: The authors thank all those who have 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 $12 \pm 1/14$ سال در این پژوهش شرکت کردند. شرکت کنندگان در دو روز متفاوت به آزمایشگاه مراجعه کردند. در یک روز بدون دویدن و در روز دیگر بعد از ۲۰ دقیقه دویدن هوازی آزمون فلانکر را اجرا کردند. همزمان فعالیت الکتریکی قشر نیز ثبت شد. از نرم‌افزار EEGLAB برای استخراج ERP های 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 دویدن 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: ۱۴۰۴/۰۴/۱	

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، ۱۷(۲)، ص-ص.

<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



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

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 (چاؤنگ^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 میان‌مدت فعالیت بدنی، مطالعات کمتری به آثار حاد فعالیت بدنی پرداخته‌اند. حال آنکه فعالیت‌های بدنی کوتاه‌مدت 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، ۲۰۰۲). 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 کوتاه‌مدت 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 مشاهده‌شده 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 کوتاه‌مدت 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

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

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 (۲۰۲۴)** نشان دادند فعالیت هوازی 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^۲ 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-لوئیس دسچنس^۳، 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 موثر را در بین افراد را افزایش می‌دهد. آنها بیان کردند که به طور 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 به وضوح نیاز به توجه دارد، زیرا این جمعیت‌ها ممکن است به طور 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^۴ و همکاران، ۲۰۱۹**)، استفاده از ابزارهای ثبت دقیق، بیشتر از آزمون‌های رفتاری کمک‌کننده است. یکی از این ابزارها پتانسیل وابسته به رویداد^۵ (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^۶ و همکاران، ۲۰۲۲**). ERP برگرفته از الکتروانسفالوگرافی (EEG) است و شامل الگوهای فعال‌سازی عصبی فرآیندهای ادراکی و شناختی در پاسخ به یک محرک است یا آماده‌سازی برای یک پاسخ را منعکس می‌کند و به طور 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 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)،

1. Ma

2. Bamidis

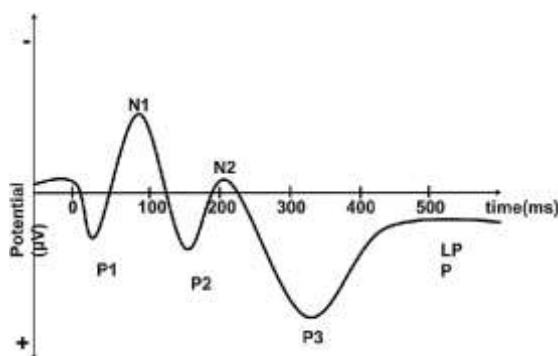
3. Ellemberg, D. and St-Louis-Deschênes

4. Wilke

5. Event-related potentials

6. Kao

پتانسیلی برون‌زا^۱ و جفت‌شده به پردازش محرک‌اند. قله‌هایی که با تأخیر بیشتر ظاهر می‌شوند (N2، P3)، 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 (پولچ^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 پونیفیکس و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که در این دو مطالعه از مسابقه حرکتی استفاده شده و تفسیر هیجانات ناشی 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.

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

¹. exogenous

². endogenous

³. Polich

⁴. Eisenbarth

⁵. Magnié

⁶. Flanker

داده شده است وقتی نیاز پردازشی افزایش می‌یابد، این اثر مثبت وجود ندارد (هیلمن و همکاران، ۲۰۰۹؛ پوتنیفکس 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 گروگو^۳ و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کردند که ورزش با تعدیل مؤلفه P3 پس از فعالیت بدنی ارتباطی ندارد، درحالی که 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 الکتریک 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 درون‌زا قرار می‌گیرند و مؤلفه‌های زود هنگام‌تر مانند P1، N1 و P2 در اثر منابع برون‌زا و وابسته به محرک تغییر می‌کنند (لاندری^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). در تحقیق حاضر دو مؤلفه درون‌زا 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 در 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 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) فراخوانده شده متعاقب تکلیف توجهی (آزمون فلانکر) در پسران نوجوان ۱۲ تا ۱۵ ساله بررسی کنیم.

1. Kamijo

2. Go/No Go

3. Grego

4. Landry

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.

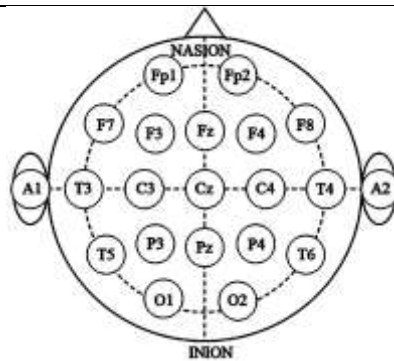
ابزار

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 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.

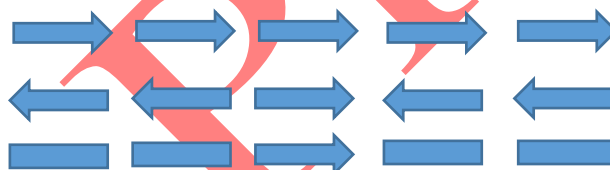
^۱. Nazion

^۲. Inion



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

آزمون فلانکر: آزمون فلانکر با استفاده از نرم افزار Psytask ساخته و نمایش داده شد. نرم افزار Psytask ساخت شرکت میتسار روسیه است و امکان طراحی تکالیف شناختی را به کاربر می دهد. 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 می شود، به دنبال آن با تأخیر تصادفی ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی ثانیه یکی از آرایه های شکل زیر به مدت ۷۵۰ هزارم ثانیه ظاهر می شود. آزمودنی ها باید با کلید مکان نما جهت فلش وسط را انتخاب می کردند (**روادا و همکاران، ۲۰۰۴**). آزمودنی در فاصله تقریباً ۶۰ سانتی متری از مانیتور قرار می گرفت و پاسخ ها توسط کلیدهای مکان نما صفحه کلید روبه روی آزمودنی ثبت می شدند. همان طور که در شکل ۳ آمده است، آرایه ها به شکل همخوان، خنثی و ناهمخوان ارائه شدند. برای پاسخ به فرضیه های تحقیق از تحلیل ERP همزمان شده با محرک های ناهمخوان استفاده شد، زیرا بار شناختی بالاتری را برای آزمودنی ایجاد می کرد (**کامیجو و همکاران، ۲۰۰۴ b**).



شکل ۳. شماتیکی از محرک های همخوان، ناهمخوان و خنثی در تکلیف فلانکر. تعداد آرایه ها در تکرارهای متوالی از یک تا ۵ عدد متفاوت بودند.

روند اجرای پژوهش

هر شرکت کننده باید دو بار آزمون را تکمیل می کرد؛ یک بار بدون اینکه فعالیت هوازی انجام دهد و یک بار 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 می شد تا فعالیت الکتریکی مجموعه حین اجرای آزمون فلانکر ثبت شود. از آنجایی که طرح تحقیق به شکل اندازه گیری مکرر بود (دو بار برای هر شرکت کننده) برای کنترل اثر ترتیب، این دو جلسه به شکل تصادفی برای هر آزمودنی اجرا شد، به طوری که نیمی از شرکت کنندگان جلسه اول حضورشان در آزمایشگاه دویدند و نیمی دیگر در جلسه دوم تا شرایط طرح متقاطع تصادفی برای آنها اجرا شود. پروتکل دویدن 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، 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. آزمودنی ها ۴۸ ساعت پیش از شرکت در

^۱. Matsuo

^۲. Robergs & Landwehr

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 آزمون‌ها 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^۱، 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 P2، N2 و P3 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^۲ (ICA) و الگوریتم حذف نویزهای چندگانه (MARA)^۳ 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^۴ و همکاران، ۲۰۲۰؛ پولیج، 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 پژوهش

با توجه به اینکه طرح تحقیق حاضر متقاطع تصادفی بود و گروه تجربی به‌عنوان کنترل خودش یک‌بار بدون فعالیت و یک‌بار پس از دویدن هوازی (دو شرایط متفاوت) اندازه‌گیری شد، بنابراین مقایسه آماری زوجی برای دو گروه (داده) وابسته استفاده شد. با توجه به اینکه آزمون شاپیرو-ویلک 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.

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان

قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	سن (سال)	شاخص توده بدنی
----------------	---------------	----------	----------------

^۱. Kramer

^۲. Independent Component Analysis

^۳. Multiple Artifact Rejection Algorithm

^۴. Maillat

$20/07 \pm 2/21$ $14/08 \pm 1/02$ $60/58 \pm 14/39$ $171/02 \pm 8/32$

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 ($P \leq 0/05$). 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, P3 در آزمون فلانکر در شرایط بدون دویدن و پس از دویدن هوازی بر حسب میلی ولت

P	Z	پس از دویدن	بدون دویدن	مؤلفه	کانال
		X±Sd	X±Sd		
*0/001	-3/408	2/66 ± 0/77	1/44 ± 2/75	P3	Fz
*0/001	-3/295	-5/29 ± 1/41	-2/18 ± 1/27	N2	
0/238	-1/191	1/22 ± 0/59	1/19 ± 0/55	P2	
*0/023	-2/274	4/63 ± 1/12	3/22 ± 1/55	P3	Pz
0/112	-1/591	-3/45 ± 1/04	-2/85 ± 1/25	N2	
0/451	-0/948	3/22 ± 1/51	3/13 ± 1/22	P2	

*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, P3 در آزمون فلانکر در شرایط بدون دویدن و پس از دویدن هوازی بر حسب هزارم ثانیه

P	Z	پس از دویدن	بدون دویدن	مؤلفه	کانال
		X±Sd	X±Sd		
*0/003	-3/011	275/53 ± 49/42	311/13 ± 49/20	P3	Fz
0/460	-0/729	263/40 ± 34/64	270/53 ± 40/35	N2	
0/237	1/18	163/32 ± 34/22	175/63 ± 41/37	P2	
0/233	-1/194	275/53 ± 49/42	311/13 ± 49/20	P3	Pz
*0/003	-2/928	179/67 ± 26/91	212/80 ± 38/55	N2	
*0/049	-1/934	101/63 ± 32/01	132/52 ± 35/41	P2	

*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, 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 دویدن 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 به عنوان یک رفتار بهداشتی مهم برای سلامت روان و رفاه شناخته شده است. تعداد فزاینده‌ای از تحقیقات اخیر که در زمینه روان‌شناسی ورزش، شواهد همگرایی‌ای 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 کارسنج 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 (لوتمپولیو^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). ورزش یک عامل استرس‌زای بدنی برای افزایش نه تنها برانگیختگی قلبی عروقی محیطی، بلکه فعال شدن نورون‌هاست و انتظار می‌رود ویژگی‌های P3 به واسطه 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). به دلیل 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. LoTemplio

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، ۲۰۲۳). فراهم سازی اکسیژن و منابع غذایی عامل بسیار مهمی در تسهیل اعمال شناختی است. بنابراین تحقیق حاضر نشان داد ممکن است این فراهم سازی 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 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

¹. Mulser & Moreau

². Voss

³. Dinoff

⁴. Griffin

⁵. Szuhany

⁶. Basso & Suzuki

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 تکلیف ارائه شده 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 به‌نظر 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 سب^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 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 به‌عنوان مداخلات کاربردی برای ارتقای توانمندی‌های شناختی، به‌ویژه در شرایطی که سرعت و دقت تصمیم‌گیری مهم است،

1. contingent negative variation

2. Freunberger

3. Orban, Sepe & Bonini

استفاده شوند. از نظر کاربردی، حوزه آموزش می‌تواند از این اطلاعات برای طراحی برنامه‌های تمرین بدنی به‌منظور ارتقای عملکرد شناختی و روانی دانش‌آموزان استفاده کنند. 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 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. & Pühse, 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. & Kamijo, 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.clinph.2007.04.019>
- Pontifex, M. B. McGowan, A. L. Chandler, M. C. Gwizdala, K. L. Parks, A. C. Fenn, K. & Kamijo, K. (2018). 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 & Boullosa, 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>

- [Szuhanly, 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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](https://doi.org/10.1007/s004210050611)