

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

Mohsen Shirmohamadloo¹, 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

Article type: Research

Article history:

Received:

18 July 2024

Received in revised form:

7 December 2024

Accepted:

8 December 2024

Published online :

22 June 2025

Keywords:

Electroencephalography,

Event Related Potentials,

Cognitive process,

Endogenous,

Exogenous.

ABSTRACT

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).

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.

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.



اثر حاد فعالیت بدنی هوازی بر پتانسیل‌های فراخوانده شده از تکلیف توجهی فلانکر

در پسران نوجوان

محسن شیرمحمدلو , سمیه نامدار طجری 

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

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه: مکانیزم‌های اثر حاد فعالیت بدنی بر شناخت و وابسته‌های نوروالکتريک آن مورد توافق نیست. هدف پژوهش حاضر بررسی اثر حاد فعالیت بدنی هوازی بر پتانسیل‌های فراخوانده شده از تکلیف توجهی فلانکر از طریق تحلیل پتانسیل‌های وابسته به رخداد (ERP) است.

روش پژوهش: ۱۵ پسر نوجوان با میانگین سنی $11/12 \pm 14/07$ در این پژوهش شرکت کردند. شرکت‌کنندگان 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 نرم افزار 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.

یافته‌ها: نتایج تحقیق نشان داد که یک جلسه تمرین بدنی هوازی، دامنه مؤلفه‌های درونزا P3 و N2 در کانال Fz را افزایش معنادار داده است 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 ($P < 0.05$).

نتیجه گیری: نتایج نشان دادند 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 موثرتر در ناحیه آهیانه‌ای باشد. بنابراین فعالیت بدنی هوازی به عنوان یک راهکار برای تسهیل شناختی قبل از فعالیت‌هایی با نیاز پردازشی سطح بالا توصیه می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸
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 فراخوانده شده از تکلیف توجهی فلانکر در پسران نوجوان. نشریه رشد و یادگیری حرکتی ورزشی، ۱۷(۲)، ص-ص.

<https://doi.org/10.22059/jsmidl.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 بالقوه‌ی فعالیت بدنی را برای عملکرد شناختی از دهه‌ی ۱۹۵۰ به صورت حاد و مزمن مورد بررسی قرار دادند (پارک و انتیر^۱، ۲۰۱۹). از بین این مطالعات بسیاری از انواع فعالیت‌های بدنی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است؛ از قبیل: گلف (شیمادا و همکاران^۲، ۲۰۱۸)، رقص (چاونگ و همکاران^۳، ۲۰۱۵)، تمرینات هوازی و مقاومتی (وو و همکاران^۴، ۲۰۱۹) و در این مطالعات اثر مثبت فعالیت بدنی بر عملکرد شناختی نشان داده شد. در مقابل این آثار بلند مدت یا میان مدت فعالیت بدنی، مطالعات کمتری به آثار حاد فعالیت بدنی پرداخته اند. 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). به عنوان مثال کستیل و همکاران^۵ (۲۰۰۷) نشان دادند که آمادگی هوازی با عملکرد تحصیلی بهتر در آزمون‌های استاندارد در کودکان دبستانی مرتبط است. سوسا و همکاران^۶ (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که بزرگسالان پس از تمرین هوازی حاد بهتر می‌توانند درگیر طبقه بندی 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 نشان دهنده توانایی‌های ذهنی اساسی برای انجام هر فعالیتی هستند. آنها شامل توجه، حافظه و یادگیری، عملکرد حرکتی ادراکی، عملکردهای اجرایی و زبان هستند (بوفانو و همکاران^۷، ۲۰۲۴). یکی از مؤلفه‌های مهم عملکردهای شناختی، توجه است که پیش‌نیاز اساسی برای برآوردن مطالبات روزانه و تحصیلی است (زای و همکاران^۸، ۲۰۲۴). عملکرد یک فرد سالم به این بستگی دارد که چه میزان از منابع توجه به طور عام و توجه انتخابی بینایی را به طور 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 باعث افزایش تخصیص منابع توجه و بهبود پردازش شناختی و سرعت طبقه‌بندی محرک می‌شود. چندین مکانیسم 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 و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۹). لاتینو و تافوری^{۱۱} (۲۰۲۴) در مطالعه مروری خود چند دسته از عوامل را در توجیه اثر فعالیت بدنی بر عملکرد شناختی خلاصه کردند که عبارتند از: تسهیل رشد عصبی، افزایش تعداد سیناپس‌ها، بهبود گردش خون در قشر مغز، تحریک ساخت انتقال دهنده‌های عصبی، رشد نورو، نورونزایی، رگزایی و ترمیم نورونی.

تحقیقات با استفاده از ارزیابی نوروالکترونیک پس از مداخلات حاد بدنی، به ویژه در کودکان و نوجوانان تا پایان سال ۲۰۰۰ میلادی وجود نداشت و این زمینه پژوهشی در سال‌های اخیر رونق یافته است (پونیفکس و همکاران^{۱۲}، 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

1. Park and Etnier et al.

2. Shimada et al.

3. Chuang et al.

4. Wu et al.

5. Castelli et al.

6. Sousa et al.

7. Bufano et al.

8. Xie et al.

9. Brain-Derived Neurotrophic Factor

10. Hillman et al

11. Latino & Tafuri

12. Pontifex et al

باشد (ریلی و همکاران، ۲۰۱۶). ما و همکاران^۱، (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 تجربه‌ی یادگیری پشتیبانی می‌کند، که به نوبه‌ی خود می‌تواند عملکرد را در یک محیط یادگیری تقویت کند. اخیراً نیز میرشکاری، صمدی و صادقان 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 مطالعات از اثر مثبت فعالیت بدنی بر جنبه‌هایی از شناختی حمایت می‌کنند.

اگرچه برخی از مطالعات در مورد اثر تمرینات بدنی و بهبود عملکرد شناختی اثر معناداری را نشان داده است، اما مطالعات در زمینه‌ی مکانیزم‌های 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 و همکاران^۲، ۲۰۱۴). رابطه‌ی بین فعالیت بدنی حاد و عملکرد شناختی چندان واضح نیست، زیرا به نظر می‌رسد که مقالات مربوط به این موضوع تا حدودی یافته‌های کاملی را ارائه نمی‌دهند (المبرگ و اس‌تی-لوئیس^۳، ۲۰۱۰). برای مثال سوسا و همکاران (۲۰۱۸) پس از انجام یک مطالعه مروری جامع درباره اثر فعالیت بدنی بر جنبه‌های شناختی و توجهی بیان داشتند که چندین موضوع جالب و بالقوه ارزشمند برای تحقیقات آینده وجود دارد که سلامت شناختی و عملکرد مؤثر را در شناختی با استفاده از نمونه‌هایی از کودکان، نوجوانان، سالمندان یا افراد مبتلا به بیماری‌های شناختی یا جسمی بسیار محدود هستند. 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). چهارچوب نظری تشریح این مکانیزم هنوز در حال توسعه است و نیاز به تحقیقات بیشتری دارد (هیلمن و همکاران، ۲۰۱۹).

از آنجاییکه آثار حاد فعالیت بدنی بر عملکرد شناختی را می‌توان بلافاصله پس از قطع فعالیت بدنی و به دنبال آن مشاهده کرد (ویلکه و همکاران^۴، ۲۰۱۹)، استفاده از ابزارهای ثبت دقیق، بیشتر از آزمون‌های رفتاری کمک کننده است. یکی از این ابزارها پتانسیل وابسته به رویداد^۵ (ERP) می‌باشد که پتانسیل‌های فراخوانده شده قشری را متعاقب یک محرک ارایه شده ثبت می‌کند. علاقه فزاینده به مغز انسان از زمان راه اندازی 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 نقشه برداری مغز توسط فناوری‌های عصبی یکپارچه برای مطالعات بیماری (Brain/MINDS) از سال ۲۰۱۴ در ژاپن، تلاش روانشناسان ورزش را برای بررسی پاسخ‌های عصبی شناختی حاد به فعالیت بدنی با استفاده از انواع رویکردهای علوم اعصاب تحریک 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 قابل توجهی را به خود جلب کرده است. با توجه به افزایش تعداد مطالعاتی که از ERP برای ارزیابی تغییرات عصبی مرتبط با توجه و عملکرد عملکرد اجرایی در پاسخ به ورزش استفاده می‌کنند (کائو و همکاران^۶، ۲۰۲۲). ERP برگرفته از الکتروانسفالوگرافی (EEG) است و شامل الگوهای فعال سازی عصبی فرآیندهای ادراکی و شناختی در پاسخ به یک محرک یا پاسخ یا در آماده سازی برای آن را منعکس می‌کند و به طور گسترده ای برای ارزیابی اثرات عصبی شناختی ورزش استفاده شده است (هیلمن و همکاران، ۲۰۱۹).

1. Riley et al

2. Ma et al.

3. Bamidis et al.

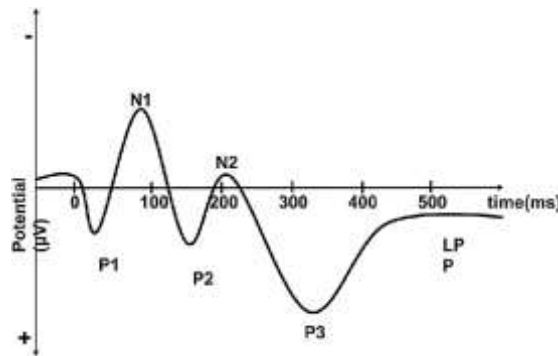
4. Ellemberg, D. and St-Louis-Deschênes

5. Wilke et al.

6. Event-related potentials

7. Kao et al.

ERPها منعکس کننده فعالیت همزمان تعداد زیادی از نورون‌ها است که در تکلیف مورد نظر مشارکت دارند. در واقع پتانسیل استخراج شده، حاصل پردازش شناختی محرک است که با تکنیک ثبت فعالیت الکتریکی مجموعه صورت می‌گیرد. در شکل زیر 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) پتانسیلی برونزا^۱ و جفت شده به پردازش محرک هستند. قله‌هایی که با تأخیر بیشتر ظاهر می‌شوند (N2، P3) پاسخ‌های شناختی سطح بالاتر هستند که حاصل مشارکت فعال فرد (درون‌زا^۲) می‌باشند که به جنبه‌های درون‌زای عملکرد شناختی (به عنوان مثال، بازداری پاسخ و تخصیص منابع توجه) مربوط می‌شوند. هر مؤلفه‌ی ERP را می‌توان بر اساس زمان تأخیر ظاهر شدن و دامنه (شدت) آن تفسیر کرد، برای مثال تأخیر در P3 به طور کلی منعکس کننده‌ی زمان تشخیص محرک و اتمام ارزیابی محرک در نظر گرفته می‌شود که این موضوع مستقل از انتخاب پاسخ و کنش رفتاری می‌باشد. به طور کلی، تأخیر کوتاه‌تر منجر به عملکرد شناختی بهتر می‌شود (پولیچ^۳، ۲۰۰۷).



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

اعتقاد بر این است که دامنه‌ی P3 تخصیص منابع توجه را در خدمت حافظه فعال در طول درگیری با محرک قرار می‌دهد و دامنه‌ی بزرگ‌تر نشان‌دهنده‌ی 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 مسابقه‌ی ۲۰ دقیقه‌ای هوازی با شدت متوسط موجب افزایش تخصیص منابع توجه و پردازش شناختی سریعتر می‌شوند. هیلمن و همکاران در سال ۲۰۱۹ در نقد مطالعه قبلی خود و مطالعه پونیفیکس و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که در این دو مطالعه از مسابقه حرکتی استفاده شده است و تفسیر هیجانانگیزی از مسابقه در تغییرات شناختی ایجاد شده، نادیده گرفته شده است (هیلمن و همکاران، ۲۰۱۹). ماگنی و همکاران^۵ (۲۰۰۰) در یک تکلیف فلانکر^۶ مؤلفه P3 را پس از یک تمرین پیشینه بررسی کردند. آنها کاهش تأخیر P3 و افزایش دامنه P3 را پس از یک جلسه فعالیت بدنی پیشینه مشاهده کردند و نشان دادند این مداخله مزایایی برای سرعت پردازش شناختی و تخصیص منابع توجه در طول انجام تکلیف فلانکر دارد. تکلیف بازداری دارد. تکالیف بازداری شامل تشخیص تضاد بین دو محرک هستند که با توجه به ادبیات تحقیقات در حوزه ERP، مؤلفه N2 متعاقب تکالیف بازداری نمایان می‌شوند (تجری و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین جهت بررسی مؤلفه‌های درون‌زای توجه بررسی مؤلفه N2 در کنار مؤلفه P3 ضروری به نظر می‌رسد؛ که در تحقیق ماگنی و همکاران (۲۰۰۰) لحاظ نشده است. در مطالعه ماگنی و همکاران تأخیر مؤلفه P3 به سرعت پردازش و

1. exogenous
2. endogenous
3. Polich
4. Eisenbarth
5. Magnié et al
6. Flanker

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 مطالعاتی 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؛ پونتیکس و همکاران، ۲۰۱۹). این یافته‌ها با تحقیقات قبلی در مورد 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 انگشت شماری از تحقیقات قبلی، تأثیرات یک دوره حاد ورزش هوازی را بر شاخص‌های عصبی-الکترونیک شناختی بررسی کرده‌اند (کائو و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین برای روشن شدن اثر حاد فعالیت بدنی بر جنبه‌های شناختی نیاز به انجام مطالعات بیشتری هست.

یکی از مطالعات پیشرو در این زمینه مطالعه کامیجو و همکاران^۱ (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 و همکاران^۳ (۲۰۰۴) مشاهده کردند که ورزش با تعدیل مؤلفه P3 پس از فعالیت بدنی ارتباطی ندارد در حالیکه 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 الکترونیک 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 هنگام تر مانند P1، N1 و P2 در اثر منابع برونزا و وابسته به محرک تغییر می‌کنند (لاندری و همکاران، ۲۰۲۲). در تحقیق حاضر دو مؤلفه درونزا P3 و N2 و یک مؤلفه برونزا P2 مورد بررسی قرار گرفتند. زیرا همانطور که قبل‌تر 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 به عنوان یک معیار دقیق برای ارزیابی آثار تمرین بدنی و حتی مداخلات دیگر باشد.

مرور ادبیات با موضوع آثار حاد فعالیت بدنی بر مکانیزم‌های شناختی نشان داد که ابعاد قابل توجهی از آثار حاد فعالیت بدنی بر کنترل شناختی مکانیزم‌های توجهی با استفاده از متغیرهای نوروالکترونیک قشر مغز مورد بررسی قرار نگرفته است. بررسی متغیرهای نوروالکترونیک مانند مؤلفه‌های ERP فراخوانده شده از یک تکلیف توجهی که دقت زمانی بالایی دارند می‌تواند در درک تغییرات زیربنایی مکانیزم‌های

1. Kamijo et al

2. Go/No Go

3. Grego et al

4. Landry et al

شناختی کمک کند. همانطور که بیان شد، با این تکنیک آثار تمرین بدنی با دقت بیشتری نسبت به متغیرهای رفتاری، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. 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.

روش‌شناسی پژوهش

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

شرکت‌کنندگان

جامعه‌ی آماری تحقیق، پسران ۱۲ تا ۱۵ ساله‌ی 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 و معیارهای خروج عبارت بودند از: ۱- سابقه اختلال روان شناختی، ۲- سابقه ضربه به سر، ۳- جراحی ناحیه جمجمه، ۴- مصرف داروهای خاص. آزمودنی‌ها چنانچه تمایل به شرکت در طرح داشتند، از آن‌ها جهت شنیدن توضیحات محقق درباره‌ی جلسه‌ی آزمون دعوت به عمل آمد. در نهایت، تعداد ۲۰ پسر نوجوان با توجه به معیارهای ورود به تحقیق به شکل دردسترس داوطلب شرکت در پژوهش شدند. لازم به توضیح است که قبل 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 ۵ آزمودنی به علت نویز زیاد برای پردازش غیر مناسب 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.

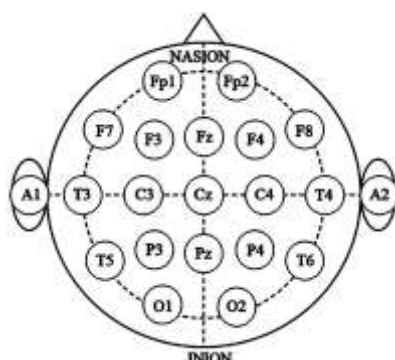
ابزار

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

دستگاه الکتروانسفالوگرافی ۳۲ کاناله‌ی اکتیو: از دستگاه الکتروانسفالوگراف ۳۲ کاناله‌ی 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 داده شده 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 علامت گذاری می‌شد. سپس فاصله بالای بینی بین دو ابرو^۱ تا برجستگی استخوان پس سری^۲ اندازه‌گیری شده و وسط آن علامت گذاری می‌شد. سپس محل تقاطع الکتروود Cz جایگذاری می‌شد. الکتروود رفرنس پشت گوش چپ و الکتروود گراند پشت گوش راست روی استخوان جمجمه قرار داشت.

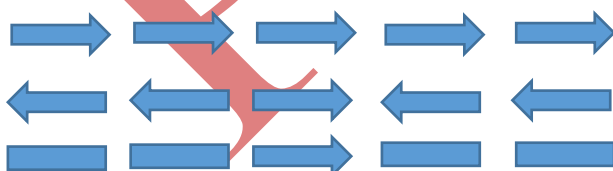
1. Nazion

2. Inion



شکل ۲: محل جایگذاری الکترودها در سیستم ۱۰-۲۰ (ماتسو 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 مطالعه [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 بایستی 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 پاسخها توسط کلیدهای مکان نما صفحه کلید روبروی آزمودنی ثبت می شدند. همانطور که در شکل زیر 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 بایستی دوبار آزمون را تکمیل می کرد. یکبار بدون اینکه فعالیت هوازی انجام دهد و یکبار پس از دویدن هوازی. آزمون تکلیف فلانکر بود که در ادامه شرح داده شده است. قبل از انجام تکلیف فلانکر دستگاه EEG/ERP به آزمودنی متصل می شد تا فعالیت الکتریکی جمجمه حین اجرای آزمون فلانکر ثبت گردد. از آنجاییکه 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، بطوریکه نیمی از شرکت کنندگان جلسه اول حضورشان در آزمایشگاه دویدند و نیمی دیگر در جلسه دوم تا شرایط طرح متقاطع تصادفی برای آنها اجرا گردد. 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](#)).

^۱. Matsuo

^۲. Robergs & Landwehr

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 قبل از شرکت در تحقیق از نوشیدن قهوه و الکل منع شدند و بایستی 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. همه‌ی 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، ۲۰۲۰). به طور کلی می‌توان اظهار داشت 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 ۵ دقیقه. طی فاز سرد کردن، آزمون گر کمکی موی سر شرکت‌کنندگان را با باد ملایم سشوار خشک نمود 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، P3 و Pz در کانال‌های Fz و Pz بود.

روش تحلیل داده‌ها

با توجه به اینکه دستگاه الکتروآنسفالوگرافی داده‌ها را با فرمت EEG ثبت می‌کند، جهت ورود اطلاعات به نرم افزار EEGLAB، فرمت اطلاعات به EDF تغییر داده شد. در گام بعدی نام، نوع، موقعیت و رفرنس همه‌ی کانال‌ها تعریف شده و سپس بیس لاین از داده‌ها کم شد و در محدوده‌ی یک هرتز از فیلتر بالا گذر استفاده شد. بعد 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 براساس میانه‌گیری کانال‌ها محاسبه شده و مجدداً ICA و MARA به منظور حذف نویزها مورد استفاده قرار گرفت و مجدداً رفرنس کانال‌ها محاسبه شد (تجری و همکاران، ۲۰۲۳). پس از پایان مرحله‌ی پیش‌پردازش و پردازش اولیه، ERP جفت شده 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، چرا که P3 و N2 تمایل دارند در نواحی جلویی نشان داده شوند و نیز P2 در ناحیه پری‌تال مشخص تر ظهور پیدا می‌کند (میلیت و همکاران، ۲۰۲۰؛ پولیج، ۲۰۰۷). سپس داده‌های تحقیق با استفاده از نرم‌افزار اس پی اس 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 به عنوان کنترل خودش یکبار بدون فعالیت و یکبار پس از دویدن هوازی (دو شرایط متفاوت) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت 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. ادامه جدول مربوط به ویژگی‌های جمعیت شناختی شرکت‌کنندگان آمده است.

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های جمعیت شناختی شرکت‌کنندگان

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

1. Kramer

2. Independent Component Analysis

3. Multiple Artifact Rejection Algorithm

4. Mailliet et al

۱۷۱/۰۲ ± ۸/۳۲ ۶۰/۵۸ ± ۱۴/۳۹ ۱۴/۰۸ ± ۱/۰۲ ۲۰/۰۷ ± ۲/۲۱

همانطور که در جدول زیر آمده است آزمون ویلکاکسون نشان داد که دامنه مؤلفه ی 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 مؤلفه های P3 و N2, P2 در آزمون فلانکر در شرایط بدون دویدن و پس از دویدن هوازی بر حسب میلی ولت

P	Z	مؤلفه		کانال
		بدون دویدن	بعد از دویدن	
		X±Sd	X±Sd	
*0/001	-۳/۴۰۸	۲/۶۶ ± ۰/۱۷۷	۱/۴۴ ± ۲/۷۵	P3
*0/001	-۳/۲۹۵	-۵/۲۹ ± ۱/۴۱	-۲/۱۸ ± ۱/۲۷	N2
0/۲۳۸	-۱/۱۹۱	۱/۲۲ ± ۰/۵۹	۱/۱۹ ± ۰/۵۵	P2
*0/0۲۳	-۲/۲۷۴	۴/۶۳ ± ۱/۱۲	۳/۲۲ ± ۱/۵۵	P3
0/۱۱۲	-۱/۵۹۱	-۳/۴۵ ± ۱/۰۴	-۲/۸۵ ± ۱/۲۵	N2
0/۴۵۱	-۰/۹۴۸	۳/۲۲ ± ۱/۵۱	۳/۱۳ ± ۱/۲۲	P2

*در سطح $P \leq 0/05$ معنادار است.

زمان تاخیر ظهور مؤلفه ی 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 تاخیر مؤلفه ی N2 و P2 کاهش معناداری در کانال Pz مشاهده می‌شود.

جدول ۳. مقایسه زمان تاخیر مؤلفه های P3 و N2, P2 در آزمون فلانکر در شرایط بدون دویدن و پس از دویدن هوازی بر حسب هزارم ثانیه

P	Z	مؤلفه		کانال
		بدون دویدن	بعد از دویدن	
		X±Sd	X±Sd	
*0/003	-۳/۰۱۱	۲۷۵/۵۳ ± ۴۹/۴۲	۳۱۱/۱۳ ± ۴۹/۲۰	P3
0/۴۶۰	-۰/۷۳۹	۲۶۳/۴۰ ± ۳۴/۶۴	۲۷۰/۵۳ ± ۴۰/۳۵	N2
0/۲۳۷	۱/۱۸	۱۶۳/۳۲ ± ۳۴/۲۲	۱۷۵/۶۳ ± ۴۱/۳۷	P2
0/۲۳۳	-۱/۱۹۴	۲۷۵/۵۳ ± ۴۹/۴۲	۳۱۱/۱۳ ± ۴۹/۲۰	P3
*0/003	-۲/۹۲۸	۱۷۹/۶۷ ± ۲۶/۹۱	۲۱۲/۸۰ ± ۳۸/۵۵	N2
*0/0۴۹	-۱/۹۳۴	۱۰۱/۶۳ ± ۳۲/۰۱	۱۳۲/۵۲ ± ۳۵/۴۱	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 فراخوانده شده متعاقب تکلیف توجهی فلانکر در پسران نوجوان بود. برای فراخوانی مؤلفه‌های پتانسیل‌های حاصل از فعالیت الکتریکی قشر مغز از تکلیف فلانکر استفاده شد و مؤلفه های P2، N2 و P3 جفت شده با محرک‌های ارائه شده توسط تکلیف فلانکر استخراج شدند. نتایج تحقیق نشان داد که در اثر یک جلسه تمرین بدنی هوازی، شدت مؤلفه‌های درونزا P3 و N2 در کانال Fz افزایش معنادار داشته است و زمان تاخیر ظهور آنها نیز کاهش معنادار یافته است. البته این تغییرات در کانال Pz تایید نشد. شدت مؤلفه P2 در اثر دویدن هوازی

هیچ تغییر معناداری در هر دو کانال Fz و Pz نداشت اما این مؤلفه به عنوان 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 متمرکز شده‌اند، شواهد همگرایی‌های را نشان می‌دهند که درگیری طولانی مدت ورزش تأثیرات مثبتی بر عملکردهای شناختی دارد (چن و همکاران^۱، ۲۰۲۰؛ لودیگا و همکاران^۲، ۲۰۲۰؛ تومپوروفسکی و پسچه^۳، ۲۰۱۹؛ وو و همکاران^۴، ۲۰۲۱). اما همانطور که در مقدمه نیز اشاره شد در رابطه با آثار حاد فعالیت بدنی بر شناخت و وابسته‌های عصبی آن ادبیات به این گستردگی نیست. بیشترین ادبیات موجود در رابطه با مؤلفه P3 می باشد که به شکل قابل توجهی بیشتر از سایر مؤلفه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. در مطالعه 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. در حالی که ورزش بسیار سبک و با شدت بسیار بالا دامنه P3 را تعدیل نکرد. در اولین تحقیق در این زمینه، ناکامورا و همکارانش^۵ (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 بر در دامنه P3 ایجاد نمی کند (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 بر روی دوچرخه کارسنج حین انجام یک تکلیف فلانکر شنوایی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که این فعالیت بیشینه به شکل معناداری دامنه P3 را افزایش داده و تأخیر P3 را کاهش داده است که هر دو نشان دهنده پردازش بهینه‌تر هستند. در این تحقیق نشان داده شد که شدت مؤلفه P3 افزایش داشته است. سطوح برانگیختگی بالاتر باعث ایجاد شدت P3 بزرگتر می‌شود (لوتمپولیو و همکاران^۶، ۲۰۲۱). ورزش یک عامل استرس زای بدنی برای افزایش نه تنها برانگیختگی قلبی عروقی محیطی، بلکه فعال شدن نورون‌ها است و انتظار می‌رود ویژگی‌های P3 به واسطه این برانگیختگی تعدیل گردد (مک موریس و همکاران^۷، ۲۰۱۶). مطالعاتی 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 و همکاران^۸، ۲۰۱۹؛ تسای و همکاران^۹، 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) پیشنهاد داده‌اند که یک 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.

گروه‌های تحقیقاتی مختلف درباره تعدیل P3 پس از ورزش، اکثراً بر مردان متمرکز شده‌اند (چو و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۷؛ دو ریتز و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۹ و وون و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۷) به دلیل تفاوت عصبی آناتومیک و عصبی در زمینه تولید P3 بین زن و مرد متفاوت است

1. Chen et al.

2. Ludyga et al.

3. Tomporowski & Pesce

4. Wu et al.

5. Nakamura et al.

6. LoTempio et al.

7. McMorris et al.

8. Lind et al.

9. Tsai et al.

10. Chu et al.

11. Du Rietz et al.

12. Won et al.

(ملینیت، وانگ و گریسکووا، ۲۰۱۸). در تحقیق حاضر نیز جهت کنترل این عامل فقط از پسران استفاده شد. این یک محدودیت ایجاد می‌کند که ما نمی‌توانیم در رابطه با زنان نیز این نتایج را با اطمینان تعمیم دهیم. در مجموع، اگرچه عوامل برخی از تفاوت‌های فردی که ممکن است اثرات حاد ورزش را بر P3 تعدیل کنند، شناسایی شده‌است، اثر این تعدیل هنوز به‌طور جامع تعیین نشده است (کائو و همکاران، ۲۰۲۲).

همسو با این تحقیق، کائو و همکاران (۲۰۲۲) که از یک فعالیت هوازی ۲۰ دقیقه‌ای شدت متوسط و تکلیف شناختی برو/نرو استفاده کردند. آنها معتقد بودند که فعالیت هوازی با شدت متوسط یک استراتژی موثر 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. شرکت کنندگان 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 نوروالکترونیک توجه و سرکوب تعارض، کمک می‌کند. یکی از موضوعات مورد توافق در تحقیقات گذشته، بهبود خون رسانی 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 باعث تحریک تولید عوامل نوروتروفیک مانند BDNF (عامل نوروتروفیک مشتق از مغز) می‌شود. این عامل پروتئینی نقشی حیاتی در رشد و بقا ارتباطات نورونی ایفا می‌کند، که از انعطاف‌پذیری سیناپسی حمایت می‌کند و به ایجاد و تقویت ارتباطات جدید بین نورون‌ها کمک می‌کند (وس و همکاران، ۲۰۱۳). تحقیقات نشان می‌دهند که تمرینات هوازی کوتاه‌مدت، به‌خصوص وقتی با شدت متوسط تا بالا انجام شوند، می‌توانند سطح BDNF را به شکل قابل توجهی افزایش دهند. این افزایش معمولاً موقتی است و سطح BDNF بعد از چند ساعت به میزان اولیه برمی‌گردد، اما همین افزایش موقتی نیز می‌تواند اثرات مثبتی بر عملکردهای شناختی و حافظه کوتاه‌مدت بگذارد (دینوف و همکاران، ۲۰۱۷). نشان داده شده است که جلسات تمرینی کوتاه‌مدت باعث افزایش سطح BDNF در سرم خون و تحریک تولید BDNF در مغز، به‌ویژه در نواحی مرتبط با حافظه، مانند هیپوکامپ، می‌شوند (گریفین و همکاران، ۲۰۱۱). اگرچه افزایش موقت سطح BDNF در اثر تمرینات حاد مشاهده شده است، اما افزایش پایدار و طولانی‌مدت در سطح BDNF معمولاً به تمرینات منظم و بلندمدت نیاز دارد (ژوهانی و همکاران، ۲۰۱۵).

مکانیزم محتمل دیگری که در خصوص تسهیل عصبی مکانیزم‌های شناختی به دنبال یک جلسه تمرین بدنی مطرح می‌شود این است که تمرین بدنی می‌تواند باعث 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 کرده و باعث افزایش انگیزندگی و سطح هوشیاری می‌شود. این افزایش انگیزندگی می‌تواند در پردازش سریع‌تر و بهبود توجه نقش داشته باشد، به‌ویژه در تکالیف شناختی که نیاز به تمرکز بالا دارند (باسو و سوزوکی، 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 در طی ارزیابی محرک منعکس می‌کند. به عنوان مثال، P2 و N2 دیگر مؤلفه‌هایی هستند که مکانیزم‌های عصبی توجه و نظارت بر تعارض را نمایان می‌کنند (کائو و همکاران، ۲۰۲۲). بنا به ماهیت تکلیف فلانکر امکان

1. Melynyte, Wang & Griskova-Bulanova

2. Mulser & Moreau

3. Voss et al.

4. Dinoff et al.

5. Griffin et al.

6. Szuhany et al.

7. Basso & Suzuki

استخراج مؤلفه های دیگری مانند N2 و P2 نیز وجود دارد که در مطالعه حاضر به آن پرداخته شده است. مطالعات در زمینه بررسی تغییرات این دو مؤلفه پس از فعالیت بدنی حاد بسیار محدود است و حتی مطالعه‌ای که مستقیماً این موضوع را بررسی کند در مرور ادبیات توسط محققین یافت نشد. کامیجو و همکاران (۲۰۰۴b) در مطالعه دیگری به بررسی اثر فعالیت بدنی حاد بر مؤلفه CNV^۱ پرداختند. این مؤلفه یک قله منفی در موج ERP است که دوبار 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 مطالعه 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 تایید نمی‌کند و همانطور که قبل‌تر 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 ارائه شده است چرا که پیچیدگی سیستم عصبی آنقدر زیاد است که یک تکلیف نسبتاً ساده، یک شبکه عصبی بزرگ را درگیر می‌کند که مسوول تخصیص منابع توجهی و به روز رسانی حافظه فعال در آن تکلیف است. بنابراین تغییر در محرک‌های ارائه شده، شبکه‌های عصبی و مولدهای ساختاری متفاوتی را برای پردازش آن محرک‌ها فعال می‌کند (سوسا و همکاران، ۲۰۱۸).

در تحقیق حاضر مؤلفه P2 به عنوان یک مؤلفه برونزا مورد بررسی قرار گرفت. 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 توسط توجه تعدیل می‌شود. مشخص است که P2 معمولاً به عنوان بخشی از پاسخ طبیعی به محرک‌های بصری برانگیخته می‌شود و در رابطه با جستجوی بینایی و توجه بصری مورد توجه محققان قرار گرفته است. به طور کلی، P2 ممکن است بخشی از سیستم تطبیق شناختی باشد که ورودی‌های حسی را با حافظه ذخیره شده مقایسه می‌کند (فرانبرگ و همکاران، ۲۰۰۷).

در مطالعه 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 جستجوی بینایی و یا تطبیق شناختی محرک‌های ارائه شده قرار نگرفته است. اما با توجه به اینکه مؤلفه P2 در ناحیه پریتال زودتر پدیدار شده است، احتمالاً یکپارچگی حسی محرک‌های بصری تکلیف، سریعتر رخ داده است. برای اینکه بتوان این نتیجه را بهتر تفسیر کرد یا تعمیم داد نیاز به تکرار تجربیات مشابه است. بر اساس ادبیات موجود در رابطه با 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 دستورات 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 و بونینی، ۲۰۲۱).

در مطالعه حاضر با توجه به نوع ابزار در دسترس تلاش شد تا حداقل تاخیر زمانی ممکن بین فعالیت بدنی و تکلیف شناختی وجود داشته باشد اما امکان حذف فاصله زمانی وجود نداشت. از طرفی دویدن در یک فضای غیر آزمایشگاهی انجام شد 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 فرآیندهای 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، به ویژه در شرایطی که سرعت و دقت تصمیم‌گیری مهم است،

1. contingent negative variation

2. Freunberger et al

3. Orban, Sepe & Bonini

استفاده شوند. از نظر کاربردی، حوزه آموزش می‌توانند از این اطلاعات برای طراحی برنامه‌های تمرین بدنی به منظور ارتقای عملکرد شناختی و روانی دانش‌آموزان استفاده کنند. به طور 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 مطالعات 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 مقاله، بدین‌وسیله مراتب سپاسگزاری و قدردانی خود را از دانش‌آموزان شرکت‌کننده در این تحقیق و اولیای محترمشان، ابراز می‌نمایند.

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. Michelin, 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>](#)
- [Elleberg, 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>
- LoTempio, 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 & Boulosa, 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](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)