Sport Psychology

Shahid Beheshti University

Biquarterly Journal of Sport Psychology

Spring & Summer 2022/ Vol. 14/ No. 1/ Pages 251-263

Effectiveness of Virtual Reality Motor Games on Brain Waves (Alpha, Theta, and Beta), Sustained Attention, and Working Memory in 7- to 9-Year-Old Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder

Jaleh Bagherli[1*]

1. Department of Motor Behavior, Ka.C, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

Received: 11/12/2020 Revised: 27/05/2021 Accepted: 02/07/2021

Abstract

Purpose: The aim of this study was to investigate the effectiveness of VR Motor games on alpha, theta, and beta brain waves, sustained attention, and working memory in 7- to 9-year-old children with ADHD.

Methods: In this quasi-experimental study, 26 children aged 7–9 years with ADHD were randomly assigned to either a VR group (n = 13) or a control group (n = 13). In the pre-test, brain wave patterns (alpha, theta, and beta) were recorded using electroencephalography (EEG), and sustained attention and working memory were assessed using the Continuous Performance Test (CPT) and the N-back task, respectively. Then, VR motor game software consisting of 10 three-minute sessions (from very easy to very difficult), totaling 30 minutes, was designed and developed. The VR group practiced with a VR headset for 6 weeks, twice per week, 30 minutes per session. The control group received their daily routine exercises and did not undergo VR intervention. In the post-test, the same procedures as the pre-test were performed.

Results: The results showed that the VR group, compared to the control group, led to a greater reduction in alpha and theta brain waves ($P \leq 0.05$). Additionally, sustained attention and working memory improved significantly in the VR group compared to the control group ($P \leq 0.05$). No significant changes in beta waves were observed between the two groups.

Conclusion: It appears that training under VR conditions can help reduce alpha and theta waves and improve sustained attention and working memory in 7- to 9-year-old children with ADHD. These findings suggest that VR can be used as an effective non-pharmacological intervention in the neurocognitive and cognitive domains for children with ADHD.

Keywords: Virtual Reality, Alpha Brain Waves, Theta Brain Waves, Beta Brain Waves, Sustained Attention, Working Memory, Children With ADHD, Electroencephalography.

* Corresponding author: Jaleh Bagherli, Tel: +98-9123161561, E-mail: bagherli2000@gmail.com

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication Under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

روان‌شناسی ورزش

دانشگاه شهید بهشتی

دو فصلنامه روان‌شناسی ورزش

بهار تابستان ۱۴۰۱، دوره ۱۴، شماره ۱، صفحه‌های ۲۶۳-۲۵۱

اثربخشی بازی‌های حرکتی واقعیت مجازی بر امواج مغزی (آلفا، تتا و بتا)، توجه پایدار و حافظه کاری در کودکان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی

ژاله باقرلی [۱*]

۱. گروه رفتارحرکتی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۱ اصلاح مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۰۶ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۱۱

چکیده

مقدمه: هدف از این مطالعه بررسی اثربخشی بازی‌های حرکتی واقعیت مجازی بر امواج مغزی آلفا، تتا و بتا، توجه پایدار و حافظه کاری در کودکان ۷ تا ۹ ساله مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی می‌باشد.

روش‌ها: در این مطالعه نیمه‌تجربی، ۲۶ کودک ۷ تا ۹ ساله دارای اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی به‌صورت تصادفی در یکی از دو گروه واقعیت مجازی (۱۳ نفر) و کنترل (۱۳ نفر) قرار گرفتند. در پیش‌آزمون، الگوی امواج مغزی (آلفا، تتا و بتا) با استفاده از الکتروانسفالوگرافی ثبت شد و توجه پایدار و حافظه کاری به‌ترتیب با آزمون عملکرد پیوسته (CPT) و آزمون حافظه کاری ان-بک سنجیده شد. سپس نرم‌افزار بازی‌های حرکتی واقعیت مجازی شامل ۱۰ جلسه ۳ دقیقه‌ای (از خیلی آسان تا خیلی مشکل) در مجموع ۳۰ دقیقه طراحی و ساخته شد. گروه واقعیت مجازی به مدت ۶ هفته، دو بار در هفته و هر جلسه ۳۰ دقیقه با دوربین واقعیت مجازی تمرین کردند. گروه کنترل تمرینات روزمره خود را دریافت کرد و تحت مداخله واقعیت مجازی قرار نگرفت. در پس‌آزمون، مشابه با پیش‌آزمون اقدام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد گروه واقعیت مجازی نسبت به گروه کنترل منجر به کاهش بیشتری در امواج مغزی آلفا و تتا شد ($P\leq0.05$). همچنین، توجه پایدار و حافظه کاری در گروه واقعیت مجازی نسبت به گروه کنترل بهبود معناداری یافت($P\leq0.05$) . در مورد موج بتا، تغییرات معناداری بین دو گروه مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد تمرین با شرایط واقعیت مجازی می‌تواند به کاهش امواج آلفا و تتا و بهبود توجه پایدار و حافظه کاری در کودکان ۷ تا ۹ ساله بیش‌فعال کمک کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که واقعیت مجازی می‌تواند به‌عنوان یک مداخله غیردارویی مؤثر در حوزه عصب‌شناختی و شناختی برای کودکان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: واقعیت مجازی، امواج مغزی آلفا، امواج مغزی تتا، امواج مغزی بتا، توجه پایدار، حافظه کاری، کودکان بیش‌فعال، الکتروانسفالوگرافی.

* نویسنده مسئول: ژاله باقرلی، شماره تماس: ۰۹۱۲۳۱۶۱۵۶۱، ایمیل: bagherli2000@yahoo.com

مقدمه

اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی (ADHD) یکی از شایع‌ترین اختلالات عصب‌شناختی دوران کودکی است که از سال‌های نخست قرن بیستم به‌عنوان اختلالی عصب‌شناختی مورد مطالعه قرار گرفته است. این اختلال با الگوی پایدار عدم توجه و/یا تکانشگری مشخص می‌شود که میزان آن در کودکان با سطح رشد مشابه، شدیدتر و شایع‌تر است و می‌تواند منجر به اشکال در عملکردهای رفتاری، اجتماعی و تحصیلی گردد (۱). مطالعات نشان داده‌اند که در مغز این کودکان، بخش‌های مختلفی از جمله شبکه‌های درگیر در توجه و هوشیاری، عقده‌های قاعده‌ای، مخچه و قطعه پیشانی دچار نابهنجاری است. قطعه پیشانی، که دارای کارکردهای اساسی در برنامه‌ریزی، سازماندهی، تصمیم‌گیری، ادراک زمان، بازداری و تفکر است، در این کودکان دچار مشکل می‌باشد (۲).

از جمله کارکردهای اجرایی که در ADHD به‌طور جدی آسیب می‌بیند، توجه پایدار[۱] و حافظه کاری[۲] هستند. توجه پایدار توانایی حفظ تمرکز بر یک تکلیف در طول زمان است و حافظه کاری ظرفیت نگهداری و دستکاری موقت اطلاعات برای انجام وظایف شناختی پیچیده را شامل می‌شود. نقص در این دو کارکرد، هسته اصلی مشکلات شناختی کودکان بیش‌فعال را تشکیل می‌دهد و با نابهنجاری‌های فعالیت عصبی در ناحیه فرونتال ارتباط مستقیم دارد (۳). بنابراین، هر مداخله‌ای که بتواند هم‌زمان امواج مغزی و این کارکردهای شناختی را هدف قرار دهد، از ارزش بالینی ویژه‌ای برخوردار است. مطالعات مختلفی در زمینه درمان‌های دارویی انجام شده است که نشان می‌دهد این درمان‌ها با وجود قدرت بالای اثر (۴)، با چالش‌هایی روبرو هستند. یکی از این چالش‌ها اثرات جانبی داروهاست که در تحقیقات گزارش شده و مشخص نیست چه اثراتی در آینده روی کودکان و عملکرد بزرگسالی و سلامتی آن‌ها دارد (۵). همچنین در بیشتر موارد، پس از دوره مصرف، علائم کودکان ADHD بازگشت می‌کند و علائم نقص توجه، تکانشگری و بیش‌فعالی دوباره ظاهر می‌شود (۶, ۷). مشکلاتی از این دست، لزوم ایجاد مداخله‌های غیردارویی را برجسته کرده است که در طول چند دهه اخیر به خوبی گسترش یافته است.

یکی از این مداخلات، محیط‌های واقعیت مجازی[۳] است. استفاده از واقعیت مجازی برای درمان اختلالات مختلف روانی در کودکان، نوجوانان و بزرگسالان و کارآمدی آن در پژوهش‌های مختلف تأیید شده است. این مسئله ممکن است به‌خصوص برای کودکانی که به بازی‌های رایانه‌ای علاقه نشان می‌دهند و به موفقیت می‌رسند، مفید باشد (۸). واقعیت مجازی یک رویارویی پیچیده کاربر است که شامل تحریک‌ها در زمان واقعی به‌وسیله کانال‌های حسی چندگانه (دیداری، شنوایی، لامسه و بویایی) است و کاربر را در یک محیط سه‌بعدی ساخته‌شده به‌وسیله رایانه قرار می‌دهد که تجارب واقعی در آن شبیه‌سازی شده است (۹). با این وجود، تحقیقات واقعیت مجازی پیرامون کودکان بیش‌فعال توسط محققان کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

از طرف دیگر، بیشتر مطالعات اثرات مداخلات را تنها در حوزه رفتاری نشان داده‌اند. اما از آنجا که این اختلال ریشه در سیستم عصبی مرکزی دارد، اهمیت و ضرورت بررسی‌ها در سطح عصب‌شناختی نیز برجسته می‌شود. بررسی اثرات عصب‌شناختی واقعیت مجازی با استفاده از سیگنال‌های الکتروانسفالوگرافی (EEG)[۴] امکان‌پذیر می‌باشد. سیگنال‌های EEG به طور گسترده در مطالعه توانایی شناختی استفاده می‌شوند. به‌عنوان مثال، تاپا و همکاران از سیگنال‌های EEG برای مطالعه برنامه‌های تمرینی مبتنی بر واقعیت مجازی استفاده کردند که عملکردهای شناختی و فیزیکی بیماران را در مقایسه با تمرینات معمولی بهبود بخشید (۱۰). ترمل و همکاران (۱۱) تعامل کاربران در محیط مجازی را بر اساس میانگین اختلاف دامنه طیفی سیگنال‌های EEG ثبت‌شده در استفاده از دستگاه‌های واقعیت مجازی تنظیم کردند. بنابراین، نحوه استفاده از سیگنال‌های EEG برای طبقه‌بندی کمی سطح تغییرات توانایی شناختی، ارزش ارجاعی زیادی برای تحقیقات توانایی‌های شناختی آینده دارد (۱۲). در برخی تحقیقات

حوزه عصب‌شناختی واقعیت مجازی انجام‌شده در خارج کشور، تمرکز محققان بر استفاده از دستگاه EEG جهت بررسی مکانیسم عصب‌شناختی زیربنایی واقعیت مجازی می‌باشد. ردلینگر و شاوو (۱۳) در مطالعه ای به بررسی فعالیت‌های مغز در حین شرایط با و بدون واقعیت مجازی پرداختند و نتایج نشان داد که در ناحیه فرونتال مغز، میزان توان مطلق موج تتا و میزان توان مطلق موج آلفا در گروه واقعیت مجازی کاهش یافت. تران و همکاران در تحقیقی دیگر به تجزیه و تحلیل EEG از اثرات واقعیت مجازی در بیماران نوروپاتی به دنبال آسیب نخاعی پرداختند و نتایج نشان داد که توان باند دلتا و گاما پایین افزایش یافت و میزان فعالیت آلفا و تتا در گروه واقعیت مجازی کاهش معناداری را نشان داد (۱۴). نتایج بیتل و همکاران (۱۵) نیز نشان از افزایش در فعالیت امواج تتا و آلفا و کاهش در فعالیت موج بتا به‌واسطه مداخله واقعیت مجازی بود. در کل، با وجود اثرات عصب‌شناختی بازی‌های واقعیت مجازی، این تحقیقات در حوزه افراد بیش‌فعال نمی‌باشد و حتی در میان تحقیقات انجام‌شده نیز در مورد میزان فعالیت امواج مختلف توافق نظری جدی وجود ندارد.

با توجه به اینکه نوسانات EEG طبیعی بر روی طیفی از فرکانس‌ها قرار دارد، فرکانس یکی از پارامترهای کارکرد مغز است که عبارت است از تعداد تکرار امواج در ثانیه. طبقه‌بندی رایج امواج EEG بر اساس فرکانس آن‌ها عبارت است از: ریتم دلتا (۴-۱ هرتز)، تتا (۸-۴ هرتز)، آلفا (۱۳-۸ هرتز)، بتا (۳۰-۱۳ هرتز) و موج گاما که فرکانس آن بالاتر از ۳۰ هرتز است. موج تتا جز امواج آهسته با ریتم سینوسی است و با خلاقیت، بی‌توجهی و حواس‌پرتی، فکر و خیال روزانه، افسردگی و اضطراب ارتباط دارد (۱۶). موج آلفا یک موج سینوسی ریتمیک است که با مدیتیشن و حس سکوت درونی یا آرامش مربوط است و با بسته شدن چشم‌ها افزایش و با باز شدن چشم‌ها کاهش می‌یابد (۱۷). موج بتا نیز با هوشیاری، تمرکز و پردازش فعال شناختی ارتباط دارد و در کودکان بیش‌فعال الگوهای غیرطبیعی آن گزارش شده است. حال، با توجه به مطالبی که در بالا ذکر شد، محقق با سوالات متعددی در این زمینه مواجه می‌شود. با توجه به تأثیرپذیری این دسته از افراد از شرایط متفاوت واقعیت مجازی (بدون عینک واقعیت مجازی که هدف این تحقیق می‌باشد)، سوال مطرح‌شده این است که آیا واقعیت مجازی جدای از اثرات رفتاری می‌تواند تغییراتی را در الگوی امواج مغزی آلفا، تتا و بتا به‌عنوان اثرات عصب‌شناختی ایجاد کند یا خیر؟ و آیا این تغییرات با بهبود کارکردهای شناختی از جمله توجه پایدار و حافظه کاری همراه است؟ همچنین، آیا کاهش یا افزایش‌های نشان داده‌شده در امواج فوق‌الذکر در تحقیقات پیشین بر روی جوامع دیگر، به افراد بیش‌فعال نیز قابل تعمیم می‌باشد؟

به طور کلی، در این مطالعه اثربخشی واقعیت مجازی بر تغییرات امواج مغزی آلفا، تتا و بتا و همچنین توجه پایدار و حافظه کاری را پیش و پس از تمرین با شرایط واقعیت مجازی اندازه‌گیری شد. در حقیقت، هدف مطالعه این است که اثرات واقعیت مجازی را در حوزه عصب‌شناختی و شناختی بررسی نماید. همچنین این مقاله به دنبال پاسخ به این سوال بود که آیا واقعیت مجازی می‌تواند نوسانات امواج آلفا، تتا و بتا را در کودکان مبتلا به بیش‌فعالی در ناحیه فرونتال تغییر دهد و آیا این تغییرات با بهبود توجه پایدار و حافظه کاری همراه است؟

روش‌شناسی پژوهش

طرح پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون–پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بود. متغیر مستقل شامل مداخله بازی‌های حرکتی واقعیت مجازی در دو سطح (گروه آزمایش و گروه کنترل) و متغیرهای وابسته شامل امواج مغزی آلفا، تتا و بتا، توجه پایدار و حافظه کاری بود. از طرح عاملی ۲×۲ (گروه × زمان) با اندازه‌گیری مکرر عامل زمان استفاده شد تا امکان مقایسه تغییرات درون‌گروهی (پیش‌آزمون به پس‌آزمون) و بین‌گروهی (آزمایش در برابر کنترل) فراهم گردد. انتخاب طرح نیمه‌تجربی به دلیل ملاحظات اخلاقی و عملی در دسترسی تصادفی کامل به

کودکان مبتلا به ADHD در مراکز درمانی بود؛ با این حال، تخصیص آزمودنی‌ها به دو گروه به‌صورت تصادفی انجام شد.

جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری شامل کودکان ۷ تا ۹ ساله مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی مراجعه‌کننده به مراکز درمانی کودکان دارای اختلال بیش‌فعالی منطقه ۷ شهر تهران بود. نمونه پژوهش شامل ۲۶ کودک (۱۳ نفر در گروه واقعیت مجازی و ۱۳ نفر در گروه کنترل) بود که بر اساس معیارهای ورود و خروج انتخاب شدند. معیارهای ورود شامل تشخیص قطعیADHD توسط روان‌پزشک بر اساس ملاک‌های DSM-5، دامنه سنی ۷ تا ۹ سال، ضریب هوشی مناسب مطابق با معیار ورود، عدم وجود اختلالات عصبی-رشدی همراه، و عدم مصرف داروهای محرک در طول دوره مداخله یا دارای رژیم دارویی ثابت بود. معیارهای خروج شامل عدم همکاری در جلسات، بروز مشکل پزشکی، و تمایل به انصراف از پژوهش بود.

ابزار اندازه‌گیری

۱. دستگاه الکتروانسفالوگرافی (EEG): جهت ثبت امواج مغزی آلفا (۸-۱۳ هرتز)، تتا (۴-۸ هرتز) و بتا (۱۳-۳۰ هرتز) در ناحیه فرونتال استفاده شد. ثبت داده‌ها در حالت استراحت و با چشم‌بسته انجام گرفت و توان مطلق هر باند فرکانسی استخراج گردید (۱).

۲. آزمون عملکرد پیوسته (CPT): برای سنجش توجه پایدار به کار رفت. این آزمون نخستین بار توسط رازولد و همکاران (۱۹۶۵) تهیه شد و هدف اصلی آن سنجش نگهداری توجه و کنترل تکانه است. در فرم فارسی رایانه‌ای، اعداد فارسی به‌عنوان محرک ارائه می‌شود و از میان محرک‌ها، ۲۰ درصد به‌عنوان محرک هدف در نظر گرفته می‌شود. فاصله بین ارائه دو محرک ۵۰ میلی‌ثانیه و زمان ارائه هر محرک ۱۵۰ میلی‌ثانیه است. ضرایب اعتبار بازآزمایی بخش‌های مختلف آزمون با فاصله ۲۰ روز در دامنه ۰.۵۹ تا ۰.۹۰ گزارش شده و روایی آن از طریق مقایسه گروه بهنجار و گروه ADHD تأیید شده است. در پژوهش حاضر، خطاهای حذف و ارتکاب و زمان واکنش به‌عنوان شاخص‌های توجه پایدار ثبت شد (۸،۹).

۳. آزمون ان-بک: برای سنجش حافظه کاری مورد استفاده قرار گرفت. در این تکلیف، مجموعه‌ای از توالی محرک‌ها به مراجع نشان داده می‌شود و فرد باید تصمیم بگیرد آیا محرک نمایش داده‌شده با N توالی قبل یکسان است یا خیر. در حین انجام آزمون، کنش‌های اجرایی نظیر کنترل و تخصیص توجه، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی درگیر می‌شوند و بیشترین میزان درگیری در عملکرد سیستم پردازشگر مرکزی ایجاد می‌گردد .پایایی این آزمون در پژوهش‌های مختلف از جمله ۰.۷۸ گزارش شده و در ایران نیز مورد تأیید قرار گرفته است .در این مطالعه از نسخه دیداری-فضایی با درجات دشواری متناسب با سن کودکان استفاده شد (۳).

۴. پرسشنامه کانرز (فرم والدین و معلم): جهت تأیید تشخیص و کنترل شدت علائم ADHD به کار رفت. فرم والدین دارای ۲۶ سوال و فرم معلم دارای ۳۸ سوال است که توسط والدین و معلم تکمیل می‌شود .پایایی بازآزمایی برای نمره کل فرم والدین ۰.۵۸ و ضریب آلفای کرونباخ ۰.۷۳و روایی آن ۰.۸۴ گزارش شده است؛ همچنین پایایی مقیاس معلم با روش بازآزمایی برای کل مقیاس ۰.۷۶ و ضرایب آلفای کرونباخ برای زیرمقیاس‌ها از ۰.۷۴ تا ۰.۸۹ متغیر بوده است (۸،۱).

روش اجرا

پس از مراجعه به مراکز کودکان دارای اختلال بیش‌فعالی واقع در شهر مشهد و انجام هماهنگی‌های لازم جهت دسترسی به پرونده‌های بیماران، افرادی که تشخیص بیش‌فعالی توسط روان‌پزشک داشتند انتخاب شدند. در

مرحله بعد با ارزیابی عینی، افرادی که قابلیت همکاری در پژوهش را داشتند گزینش شدند. سپس تمامی شرکت‌کنندگان در زمان مناسب توسط روان‌شناس مرکز مورد سنجش ضریب هوشی قرار گرفتند و افرادی که ضریب هوشی مناسب مطابق با معیار ورود را داشتند به پژوهش وارد شدند. سپس شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی به یکی از دو گروه آزمایش (واقعیت مجازی) و کنترل تقسیم شدند. جلسه اول مربوط به آشناسازی با هدف تحقیق و دستگاه‌های واقعیت مجازی و EEG بود. جلسه دوم مربوط به ثبت داده‌های EEG و اجرای پیش‌آزمون‌های توجه پایدار و حافظه کاری در هر دو گروه بود. آزمودنی‌های گروه واقعیت مجازی به مدت ۶ هفته، دو بار در هفته و هر جلسه ۳۰ دقیقه با عینک واقعیت مجازی تمرین کردند و در فضای مجازی کلاس درس غوطه‌ور شدند و ضمن شرکت در فرایند یادگیری، به محرکات خاص نیز پاسخ دادند. جلسات با درجه دشواری خیلی آسان شروع و تا درجه خیلی مشکل ادامه یافت. گروه کنترل تمرینات روزمره خود را دریافت کرد و تحت مداخله واقعیت مجازی قرار نگرفت. پس از پایان تمرینات، مجدداً داده‌های EEG و آزمون‌های شناختی ثبت شد.

تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. در بخش آمار توصیفی، میانگین و انحراف استاندارد متغیرها در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون برای هر دو گروه محاسبه گردید. در بخش آمار استنباطی، ابتدا جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک و برای بررسی برابری واریانس‌ها از آزمون لوین استفاده شد. با توجه به نتایج این آزمون‌ها و تأیید مفروضات، برای تحلیل داده ها از آزمون تحلیل کوواریانس (ANCOVA) استفاده شد. تحلیل کوواریانس با کنترل نمرات پیش‌آزمون، جهت مقایسه اثر گروه بر متغیرهای وابسته در پس‌آزمون به کار رفت. سطح معناداری در تمامی تحلیل‌ها ۰.۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

میانگین و انحراف استاندارد سن و ضریب هوشی شرکت‌کنندگان در دو گروه در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بین دو گروه از نظر متغیرهای سن و ضریب هوشی تفاوت معناداری وجود نداشت. بنابراین آزمودنی‌ها از نظر این متغیرها همگن بودند.

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد سن و ضریب هوشی شرکت‌کنندگان در دو گروه

متغیر	گروه واقعیت مجازی	گروه کنترل	معناداری
سن (سال)	۸.۱۵±۰.۶۹	۸.۳۱±۰.۷۵	۰.۵۴۲
ضریب هوشی	۱۰۲.۶۴±۱.۱۲	۱۰۱.۸۵±۱.۰۷	۰.۱۶۸

میانگین و انحراف استاندارد امواج مغزی آلفا، تتا و بتا در دو گروه و در دو مرحله پیش آزمون و پس آزمون در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۲ گزارش شده است، از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون در گروه بازی‌های واقعیت مجازی نسبت به گروه کنترل، کاهش معناداری در امواج مغزی آلفا و تتا در کودکان بیش‌فعال مشاهده شد. در مورد موج بتا، تغییرات معناداری بین دو گروه مشاهده نشد.

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد توان مطلق امواج مغزی (میکروولت مربع) در پیش آزمون و پس آزمون

متغیر	مرحله	گروه واقعیت مجازی	گروه کنترل
موج تتا	پیش‌آزمون	۳۱.۴۵ ± ۴.۱۲	۳۰.۸۷ ± ۳.۹۶
موج تتا	پس‌آزمون	۱۹.۲۳ ± ۳.۵۸	۲۹.۶۴ ± ۴.۲۷
موج آلفا	پیش‌آزمون	۲۲.۷۶ ± ۳.۲۱	۲۳.۰۹ ± ۲.۸۸

موج آلفا	پس‌آزمون	۱۴.۸۵ ± ۲.۶۴	۲۲.۴۱ ± ۳.۰۵
موج بتا	پیش‌آزمون	۱۸.۳۲ ± ۲.۷۵	۱۸.۹۶ ± ۲.۴۳
موج بتا	پس‌آزمون	۱۷.۸۹ ± ۲.۵۱	۱۸.۵۴ ± ۲.۶۸

در جدول ۳ میانگین و انحراف استاندارد نمرات توجه پایدار و حافظه کاری در دو گروه و در دو مرحله پیش آزمون و پس آزمون ارائه شده اند. جهت بررسی همگنی متغیرهای مورد مطالعه از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده و نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به سطح معناداری به‌دست‌آمده بالای ۰.۰۵ در آزمون شاپیرو-ویلک، مفروضه نرمال بودن توزیع داده‌ها تأیید و استفاده از آزمون‌های پارامتریک مجاز بود. آزمون لوین نیز برابری واریانس‌ها را تأیید کرد.

جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد نمرات توجه پایدار و حافظه کاری در دو گروه و در مراحل پیش آزمون و پس آزمون

مرحله	متغیر	گروه واقعیت مجازی	گروه کنترل
پیش‌آزمون	توجه پایدار (خطاهای حذف)	۱۴.۶۲± ۳.۴۸	۱۴.۳۸ ± ۳.۱۲
پس‌آزمون	توجه پایدار (خطاهای حذف)	۷.۹۳ ± ۲.۵۶	۱۳.۸۵ ± ۳.۲۷
پیش‌آزمون	توجه پایدار (زمان واکنش، میلی‌ثانیه)	۵۸۲.۴۵ ± ۲۳.۴۱	۵۷۹.۶۸± ۳۸.۷۶
پس‌آزمون	توجه پایدار (زمان واکنش، میلی‌ثانیه)	۵۲۱.۳۷ ± ۳۵.۶۴	۵۷۴.۲۹ ± ۴۰.۱۸
پیش‌آزمون	حافظه کاری (نمره کلی ان بک)	۱۲.۴۶ ± ۲.۸۵	۱۲.۸۱ ± ۲.۶۳
پس‌آزمون	حافظه کاری (نمره کلی ان بک)	۱۸.۷۳ ± ۳.۱۲	۱۳.۰۹ ± ۲.۹۴

جدول ۴. نتایج آزمون شاپیرو-ویلک برای متغیرهای پژوهش در مراحل مختلف

متغیر	مرحله	درجات آزادی	شاخص آزمون	سطح معناداری
موج تتا	پیش‌آزمون	۲۶	۰.۹۵	۰.۲۴
موج تتا	پس‌آزمون	۲۶	۰.۹۷	۰.۴۱
موج آلفا	پیش‌آزمون	۲۶	۰.۹۳	۰.۱۲
موج آلفا	پس‌آزمون	۲۶	۰.۹۶	۰.۳۳
توجه پایدار	پیش‌آزمون	۲۶	۰.۹۴	۰.۱۸
توجه پایدار	پس‌آزمون	۲۶	۰.۹۶	۰.۲۹
حافظه کاری	پیش‌آزمون	۲۶	۰.۹۵	۰.۲۲
حافظه کاری	پس‌آزمون	۲۶	۰.۹۷	۰.۳۸

نتایج آزمون تحلیل کوواریانس برای تغییرات امواج مغزی در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که پس از کنترل نمرات پیش‌آزمون، اثر گروه بر امواج آلفا (۶۱.۱۵ =F، p<۰.۰۰۱، مجذور اتا=۰.۶۹۸) و تتا (۷۲.۸۶ =F، p<۰.۰۰۱، مجذور اتا=۰.۷۳۴) معنادار بود؛ به‌طوری‌که گروه واقعیت مجازی نسبت به گروه کنترل

کاهش معنادار بیشتری در توان این امواج داشتند. در مورد موج بتا، اثر گروه معنادار نبود، بنابراین مداخله واقعیت مجازی تأثیر معناداری بر فعالیت موج بتا نداشت.

جدول ۵. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس برای تغییرات امواج مغزی آلفا، تتا و بتا

متغیر وابسته	منبع تغییرات	میانگین مجذورات	مجموع مجذورات	df	F	معناداری	مجذور اتا
موج آلفا	پیش‌فرض همگنی شیب رگرسیون	۰.۶۲	۰.۶۲	۱	۰.۱۱	۰.۷۴۲	۰.۰۰۵
	پیش‌آزمون	۱۱۵.۴۷	۱۱۵.۴۷	۱	۲۴.۸۳	*۰.۰۰۱	۰.۴۷۹
	گروه	۲۸۴.۳۶	۲۸۴.۳۶	۲	۶۱.۱۵	*۰.۰۰۱	۰.۶۹۸
	خطا	۵.۰۵	۱۱۶.۲۸	۲۳	—	—	—
موج تتا	پیش‌فرض همگنی شیب رگرسیون	۲۹.۸۴	۲۹.۸۴	۱	۱.۰۸	۰.۳۰۹	۰.۰۳۸
	پیش‌آزمون	۳۷۲.۶۱	۳۷۲.۶۱	۱	۲۶.۴۵	*۰.۰۰۱	۰.۴۹۲
	گروه	۹۸.۷۵	۹۸.۷۵	۲	۷۲.۸۶	*۰.۰۰۱	۰.۷۳۴
	خطا	۱۶.۸۴	۳۸۷.۴۳	۲۳	—	—	—
موج بتا	پیش‌فرض همگنی شیب رگرسیون	۱.۴۷	۱.۴۷	۱	۰.۴۲	۰.۵۲۳	۰.۰۱۸
	پیش‌آزمون	۸۴.۱۲	۸۴.۱۲	۱	۲.۴۷	۰.۱۲۹	۰.۰۹۷
	گروه	۱.۹۳	۳.۸۶	۲	۰.۵۶	۰.۵۷۸	۰.۰۲۴
	خطا	۳۴.۰۵	۷۸۳.۲۵	۲۳	—	—	—

نتایج آزمون تحلیل کوواریانس برای توجه پایدار و حافظه کاری در جدول ۶ رائه شده است. نتایج نشان داد پس از کنترل نمرات پیش‌آزمون، اثر گروه بر توجه پایدار با مولفه خطاهای حذف شده (F=۳۹.۵۴ ،p<۰.۰۰۱)، مجذور اتا=۰.۶۳۲)، توجه پایدار با مولفه زمان واکنش (۳۲.۸۷ =F،p<۰.۰۰۱، مجذور اتا=۰.۵۸۸) و حافظه کاری (F=۴۷.۸۱ ،p<۰.۰۰۱، مجذور اتا=۰.۶۷۵) معنادار بود؛ به‌طوری‌که گروه واقعیت مجازی نسبت به گروه کنترل بهبود معنادار بیشتری در توجه پایدار (کاهش خطاهای حذف و زمان واکنش) و حافظه کاری نشان دادند.

جدول ۶. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس برای توجه پایدار و حافظه کاری

متغیر وابسته	منبع تغییرات	میانگین مجذورات	مجموع مجذورات	df	F	معناداری	مجذور اتا
توجه پایدار (خطاهای حذف)	پیش‌فرض همگنی شیب رگرسیون	۰.۵۴	۰.۵۴	۱	۰.۰۹	۰.۷۶۸	۰.۰۰۴
	پیش‌آزمون	۹۸.۴۶	۹۸.۴۶	۱	۱۸.۷۲	*۰.۰۰۱	۰.۴۴۹
	گروه	۱۵۶.۸۳	۱۵۶.۸۳	۲	۳۹.۵۴	*۰.۰۰۱	۰.۶۳۲
	خطا	۳.۹۷	۹۱.۲۷	۲۳	—	—	—
توجه پایدار (زمان واکنش)	پیش‌فرض همگنی شیب رگرسیون	۲۱.۳۶	۲۱.۳۶	۱	۰.۳۸	۰.۵۴۵	۰.۰۱۶
	پیش‌آزمون	۴۱۲.۸۵	۴۱۲.۸۵	۱	۱۵.۶۴	*۰.۰۰۱	۰.۴۰۵
	گروه	۶۸۷.۴۲	۶۸۷.۴۲	۲	۳۲.۸۷	*۰.۰۰۱	۰.۵۸۸

	خطا	۲۰.۹۱	۴۸۰.۹۶	۲۳	—	—	—
حافظه کاری	پیش‌فرض همگنی شیب رگرسیون	۱۸.۷۴	۱۸.۷۴	۱	۰.۵۲	۰.۴۷۹	۰.۰۲۲
	پیش‌آزمون	۷۲.۵۸	۷۲.۵۸	۱	۱۴.۳۶	*۰.۰۰۱	۰.۳۸۴
	گروه	۱۸۹.۴۲	۱۸۹.۴۲	۲	۴۷.۸۱	*۰.۰۰۱	۰.۶۷۵
	خطا	۳.۹۶	۹۱.۱۵	۲۳	—	—	—

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثربخشی بازی‌های حرکتی واقعیت مجازی بر امواج مغزی (آلفا، تتا و بتا)، توجه پایدار و حافظه کاری در کودکان مبتلا به اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی انجام شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که مداخله واقعیت مجازی منجر به کاهش معنادار توان امواج آلفا و تتا در ناحیه فرونتال و بهبود معنادار توجه پایدار و حافظه کاری در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل شد، در حالی که تغییرات موج بتا معنادار نبود. این الگوی یافته‌ها، یعنی کاهش هم‌زمان توان آلفا و تتا در فرونتال همراه با بهبود کارکردهای شناختی، چارچوبی منسجم برای تبیین اثرات عصبی‌شناختی واقعیت مجازی فراهم می‌کند و با فرضیه «کارایی عصبی» قابل تفسیر است؛ بر این اساس، کاهش فعالیت غیرضروری باندهای آلفا و تتا می‌تواند نشانه‌ای از تخصیص بهینه‌تر منابع عصبی و پردازش کارآمدتر اطلاعات باشد (۲۰).

کاهش معنادار توان امواج آلفا و تتا در گروه واقعیت مجازی با یافته‌های تران و همکاران همخوان است. آن‌ها در مطالعه خود به تحلیل EEG از اثرات واقعیت مجازی در بیماران نوروپاتی پرداختند و گزارش کردند که میزان فعالیت آلفا و تتا در گروه واقعیت مجازی کاهش معناداری یافت. همچنین ردلینگر و شاوو نشان دادند که در ناحیه فرونتال مغز، توان مطلق موج تتا و آلفا در گروه واقعیت مجازی کاهش می‌یابد. در تفسیر این یافته‌ها می‌توان اشاره کرد که کاهش توان آلفا و تتا با اثرات حواس‌پرتی و غوطه‌وری به‌واسطه فناوری‌های واقعیت مجازی مرتبط است. مطابق با گزارش سوئوزا و نووس، واقعیت مجازی از طریق سرکوب باند آلفا و تتا باعث جلوگیری از حواس‌پرتی شده و از طرف دیگر باعث افزایش غوطه‌وری عمیق فرد می‌شود. از منظر نظری، باند آلفا به‌عنوان یک دروازه‌بان حسی عمل می‌کند و سرکوب آن در حین غوطه‌وری، ورود محرک‌های نامرتبط را محدود می‌سازد؛ در همین حال، کاهش تتای فرونتال با کاهش تلاش شناختی و انتقال از پردازش کنترل‌شده به پردازش خودکار در تکالیف تثبیت‌شده همخوانی دارد (۲۱). بنابراین، غوطه‌وری ایجادشده به‌واسطه بازی‌های واقعیت مجازی یکی از دلایل محکم و تفسیر قوی در مورد کاهش توان باند آلفا و تتا می‌باشد که در تحقیق حاضر نیز چنین چیزی نشان داده شده است .عدم تغییر معنادار موج بتا در پژوهش حاضر با برخی یافته‌های متناقض ادبیات همخوان است. بیتل و همکاران کاهش فعالیت موج بتا را به‌واسطه مداخله واقعیت مجازی گزارش کردند، در حالی که برخی مطالعات دیگر تغییری در بتا نشان ندادند. این تناقض ممکن است به تفاوت در نوع محتوا، مدت مداخله، سطح دشواری تکالیف و ویژگی‌های نمونه مربوط باشد. در پژوهش حاضر، مدت مداخله ۶ هفته و هر جلسه ۳۰ دقیقه بود که ممکن است برای ایجاد تغییر پایدار در باند بتا (که با هوشیاری و پردازش فعال شناختی مرتبط است) کافی نبوده باشد. همچنین، موج بتا برخلاف آلفا و تتا که به غوطه‌وری و آرامش حساس‌ترند، ممکن است به ماهیت تکلیف و سطح بار شناختی وابسته‌تر باشد. بهبود معنادار توجه پایدار و حافظه کاری در گروه واقعیت مجازی با یافته‌های شماع-شیراتزکی و همکاران همخوان است. آن‌ها نشان دادند که توانبخشی شناختی مبتنی بر واقعیت مجازی به‌طور معناداری نمرات پس‌آزمون کارکردهای اجرایی از جمله توجه پایدار را در کودکان ADHD افزایش می‌دهد. در تبیین این یافته می‌توان

گفت که محیط واقعیت مجازی با ارائه محرک‌های چندحسی و تکالیف هدفمند، کودکان را در فرایند یادگیری فعال درگیر می‌کند و از آنجا که کودکان بیش‌فعال به بازی‌های رایانه‌ای علاقه نشان می‌دهند (۱۱)، انگیزش و مشارکت بالاتری در تکالیف دارند که این امر می‌تواند به تقویت توجه پایدار و حافظه کاری منجر شود. این تبیین با نظریه بار شناختی و نقش انگیزش در تخصیص منابع توجه نیز همسو است؛ محیط‌های تعاملی و پاداش‌محور، بار شناختی بیرونی را کاهش داده و ظرفیت توجه پایدار را آزاد می‌کنند (۲۲). شماع-شیراتزکی و همکاران نیز نشان دادند که تمرین ترکیبی حرکتی-شناختی با VR در کودکان ADHD موجب بهبود کارکرد اجرایی و حافظه می‌شود، هرچند در مطالعه آن‌ها توجه بدون تغییر ماند؛ تفاوت در یافته‌ها ممکن است ناشی از تفاوت در نوع تکلیف (تردمیل و موانع مجازی در برابر بازی‌های حرکتی تعاملی) و مدت مداخله باشد.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کاهش توان آلفا و تتا در ناحیه فرونتال با بهبود توجه پایدار و حافظه کاری همراه بوده است. این هم‌زمانی با نقش ناحیه فرونتال در کارکردهای اجرایی از جمله توجه پایدار و حافظه کاری همخوان است (۵). به عبارت دیگر، می‌توان گفت که نوسانات موج آلفا و تتا یک توضیح عصب‌شناختی برای عملکرد بهتر گروه بازی‌های واقعیت مجازی ارائه می‌دهد. این احتمال وجود دارد که مکانیسم زیربنایی عصب‌شناختی واقعیت مجازی همان نوسانات موج آلفا و تتا یا به نوعی کاهش فرکانس موج آلفا و تتا در ناحیه فرونتال باشد. بنابراین، فعالیت آلفا و تتا پایین‌تر در ناحیه فرونتال بیشتر با شرایط بازی‌های واقعیت مجازی مرتبط می‌باشد. این تحقیق به‌عنوان یکی از اولین تحقیقات در داخل کشور می‌باشد که به بررسی مکانیسم‌های زیربنایی عصب‌شناختی واقعیت مجازی در کودکان بیش‌فعال می‌پردازد و هم‌زمان امواج مغزی و کارکردهای شناختی (توجه پایدار و حافظه کاری) را به‌عنوان پیامدهای مداخله بررسی می‌کند. یافته‌های آن می‌تواند مورد استفاده افرادی که با کودکان بیش‌فعال در حوزه پردازش‌های ادراکی و شناختی کار می‌کنند قرار گیرد. کودکان بیش‌فعال دارای مشکلات بالایی به‌خصوص در تکانشگری و نقص توجه هستند که این عوامل می‌تواند منجر به پرخاشگری آن‌ها و حتی آسیب زدن به افراد دیگر به دلیل نداشتن آرامش ذهنی شود. از آنجایی که مطابق با تحقیقات اشاره‌شده، کاهش در توان آلفا و تتا با آرامش ذهنی همراه است، استفاده از این فناوری واقعیت مجازی می‌تواند به کودکان بیش‌فعال در کنترل رفتارهای ناسازگارانه آن‌ها کمک شایانی کند. پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی همراه بود. حجم نمونه نسبتاً کوچک (۲۶ نفر) قدرت آماری آزمون‌های پارامتریک را کاهش می‌دهد و تعمیم‌پذیری نتایج را محدود می‌کند. دامنه سنی محدود به ۷ تا ۹ سال بود که امکان تعمیم به سایر گروه‌های سنی را کاهش می‌دهد. همچنین، عدم استفاده از گروه مقایسه فعال (مانند بازی رایانه‌ای دوبعدی یا تمرین حرکتی معمولی) اجازه نمی‌دهد اثر واقعیت مجازی از اثر بازی/حرکت به‌تنهایی تفکیک شود. عدم اجرای آزمون پیگیری نیز مانع از بررسی پایداری اثرات مداخله در طول زمان می‌شود. علاوه بر این، عدم کنترل کامل متغیرهایی مانند مصرف دارو، نوع زیرگروه ADHD و جنسیت می‌تواند بر نتایج تأثیرگذار باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که بین تأثیر بازی‌های شرایط واقعیت مجازی و گروه کنترل بر تغییرات الگوی امواج مغزی آلفا و تتا تفاوت معناداری وجود دارد؛ به‌صورتی که گروه بازی‌های حرکتی واقعیت مجازی منجر به کاهش چشمگیر بیشتری در موج آلفا و تتا ناحیه فرونتال نسبت به گروه کنترل شد. همچنین، توجه پایدار و حافظه کاری در گروه واقعیت مجازی نسبت به گروه کنترل بهبود معناداری یافت. در مورد موج بتا، تفاوت معناداری بین دو گروه مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان گفت که شرایط واقعیت مجازی ارتباط بیشتری با کاهش موج آلفا و تتا در ناحیه فرونتال دارد و این تغییرات با بهبود کارکردهای شناختی همراه است. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد که تمرین با شرایط واقعیت مجازی می‌تواند به کاهش الگوی مغزی

آلفا و تتا و بهبود توجه پایدار و حافظه کاری در کودکان بیش‌فعال کمک کند و به‌عنوان یک مداخله غیردارویی مؤثر در حوزه عصب‌شناختی و شناختی برای این کودکان مورد استفاده قرار گیرد. البته ذکر این نکته لازم به نظر می‌رسد که برای تعمیم بیشتر نتایج، نیاز به تحقیقات بیشتری می‌باشد.

پانویس ها

1. Sustained Attention
2. Working Memory
3. Virtual Reality
4. Electroencephalography

منابع

1. Rohani DA, Sorensen HBD, Puthusserypady S. Brain-computer interface using P300 and virtual reality: a gaming approach for treating ADHD. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2014:3606-3609.
2. Bashiri A, Ghazisaeedi M, Shahmoradi L. The opportunities of virtual reality in the rehabilitation of children with attention deficit hyperactivity disorder: a literature review. Korean J Pediatr. 2017;60(11):337-343.
3. Shema-Shiratzky S, Brozgol M, Cornejo-Thumm P, Geva-Dayan K, Rotstein M, Leitner Y, et al. Virtual reality training to enhance behavior and cognitive function among children with attention-deficit/hyperactivity disorder: brief report. Dev Neurorehabil. 2019; 22(6):431-436.
4. Coleman B, Marion S, Rizzo A, Turnbull J, Nolty A. Virtual reality assessment of classroom-related attention: an ecologically relevant approach to evaluating the effectiveness of working memory training. Front Psychol. 2019; 10:1851.
5. Barati Z, Sepahmansour M, Radfar S. Comparison of the Effectiveness of Virtual Reality-based Cognitive Rehabilitation With Classical Cognitive Rehabilitation on Improving Executive Function in Children with Attention Deficit-Hyperactivity Disorder. J Arak Uni Med Sci. 2021; 24 (5) :688-703.
6. Amin, H. U., Ousta, F., Yusoff, M. Z.; Malik, A. S. Modulation of cortical activity in response to learning and long-term memory retrieval of 2D verses stereoscopic 3D educational contents: Evidence from an EEG study. Computers in Human Behavior, 2021, 114, 106526.
7. Sanuki F, Nakphu N, Tahara A, Iramina K. The comparison of electroencephalography power and event related potential in success and failure during multitask game. Front Neurorobot. 2022;16:1044071.
8. Shams, A., Nosratabadi, M. E., Sangari, M., & Mirmoezzi, M. Effect of cognitive rehabilitation combined with physical exercise on sustained, selective, and alternating attention in school-aged girls attention-deficit/hyperactivity disorder. Iranian Journal of Psychiatry and Clinical Psychology, 2021, 27(3), 276–287.
9. Redlinger E, Shao C. Comparing brain activity in virtual and non-virtual environments: A VR & EEG study. Meas Sens. 2021;18:100062.
10. Clarke AR, Barry RJ, McCarthy R, Selikowitz M. Electroencephalogram differences in two subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder. Psychophysiology. 2001;38(2):212-221.
11. Austin, P.D.; Craig, A.; Middleton, J.W.; Tran, Y.; Costa, D.S.J.;Wrigley, P.J.; Siddall, P.J. The short-term effects of head-mounted virtual-reality on neuropathic pain intensity in people with spinal cord injury pain: A randomised cross-over pilot study. Spinal Cord 2021, 59, 738– 746.
12. Shabanali-Fami F, Ghasemzadeh S, Nejati S. The effectiveness of cognitive rehabilitation (computer-based and classic) interventions on cognitive functions of children with specific learning disorder in Iran: A meta-analytic study. Feyz Med Sci J. 2022; 26 (2) :166-183.
13. Bioulac, S., de Sevin, E., Sagaspe, P., Claret, A., Philip, P., Micoulaud-Franchi, J.A. and Bouvard, M.P. What do virtual reality tools

bring to child and adolescent psychiatry? Encephale; 2018, 44(3):280-285.
14. Butcher, J. Mineka, S. & Hooley, J. Psychopathology Volume 1, Translated by SeyyedMohammadi, Y. Tehran: Arasbaran Publication. 2014
15. Crepaldi, M., Colombo, V., Mottura, S., Baldassini, D., Sacco, M., Cancer, A.;Antonietti, A. Antonyms: a computer game to improve inhibitory control of impulsivity in children with attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD). Information, 2020, 11(4), 230.
16. Franklin, M. S., Mrazek, M. D., Anderson, C. L., Johnston, C., Smallwood, J., Kingstone, A., Schooler, J. W. Tracking distraction: The relationship between mindwandering, meta-awareness, and ADHD symptomatology. Journal of Attention Disorders, 2017, 21(6), 475–486.
17. Horner, S. L., Mrachko, A.; Connor, E. A,;Yasik, A. E. Pre-Service Teachers; Knowledge of Special Education Laws. Mid-Western Educational Researcher, 2020, 32(1).
18. Janssen, T. W., Bink, M., Gelade, K., van Mourik, R., Maras, A., Oosterlaan, J. A randomized controlled trial into the effects of neurofeedback, methylphenidate, and physical activity on EEG power spectra in children with ADHD. J Child Psychol Psychiatry, 2016, 57(5), 633644.
19. Mihara, S., Higuchi, S. Cross-sectional and longitudinal epidemiological studies of Internet gaming disorder: a systematic review of the literature. Psychiatry Clin. Neurosci. 2017, 71, 425–444.
20. Neubauer AC, Fink A. Intelligence and neural efficiency. Neurosci Biobehav Rev. 2009 Jul;33(7):1004-23.
21. Klimesch W. α-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. Trends Cogn Sci. 2012 Dec;16(12):606-17.
22. Sweller, J. Cognitive Load Theory. In Psychology of Learning and Motivation (Vol. 55, pp. 37-76). Academic Press. 2011.