

اثر بازی‌های رایانه‌ای حرکتی و بازخورد عصبی بر توانش حرکتی واقعی و ادراک‌شده و توجه پایدار کودکان با اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی

مجید حیدریان^۱، افخم دانشفر^{۲*}، معصومه شجاعی^۳، کیوان ملانوروزی^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

۳. دکتری گروه علوم ورزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: a.daneshfar@alzahra.ac.ir

تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۱۱/۲۴

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه اثربخشی بازی‌های رایانه‌ای حرکتی و بازخورد عصبی بر توانش حرکتی واقعی و ادراک‌شده و توجه پایدار کودکان دارای اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی (ADHD) انجام شد. در این پژوهش کاربردی از طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون - پیگیری گروه‌های تصادفی استفاده گردید. شرکت‌کننده‌های پژوهش ۵۲ کودک با ADHD با میانگین سن ۸/۶۵ (±۱/۲) سال بودند که پس از غربالگری ۱۱۷۸ دانش‌آموز، تشخیص قطعی با مصاحبه بالینی روان‌پزشکی و بررسی معیارهای ورود و خروج از جامعه آماری دانش‌آموزان پسر پایه‌های اول تا چهارم ابتدایی شهر قزوین انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی در چهار گروه بازخورد عصبی، بازی‌های رایانه‌ای حرکتی، مداخله نما (بازخورد عصبی ساختگی) و کنترل قرار گرفتند. گروه‌های آزمایشی طی ۳۰ جلسه، سه جلسه در هفته و هر جلسه ۴۵ دقیقه، تحت مداخلات مربوطه و گروه مداخله نما تحت بازخورد عصبی ساختگی قرار گرفتند. توانش حرکتی واقعی با مجموعه آزمون سنجش حرکت کودکان ۲، توانش حرکتی ادراک‌شده با زیرمقیاس توانش جسمانی پرسشنامه خودادراکی کودکان و توجه پایدار با آزمون عملکرد پیوسته سنجیده شد. بر اساس نتایج تحلیل واریانس ترکیبی دو عاملی، اثر متقابل زمان و گروه بر توانش حرکتی واقعی، $F(۶,۹۶)=۴۶۸۰$ ، $p<۰.۰۰۱$ ، $\eta^2p=۰.۷۴$ ، توانش حرکتی ادراک‌شده، $F(۶,۹۶)=۱۰.۵۰$ ، $p<۰.۰۰۱$ ، $\eta^2p=۰.۳۹$ ، تعداد پاسخ‌های صحیح، $F(۶,۹۶)=۳۷.۷۰$ ، $p<۰.۰۰۱$ ، $\eta^2p=۰.۷۰$ ، خطاهای حذف، $F(۶,۹۶)=۳۱.۵۰$ ، $p<۰.۰۰۱$ ، $\eta^2p=۰.۶۶$ ، زمان پاسخ، $F(۶,۹۶)=۴۶.۳۰$ ، $p<۰.۰۰۱$ ، $\eta^2p=۰.۷۴$ ، و خطاهای ارتکاب، $F(۶,۹۶)=۵.۱۴$ ، $p<۰.۰۰۱$ ، $\eta^2p=۰.۲۴$ ، معنادار بود. مقایسه‌های زوجی با اصلاح بونفرونی نشان داد هر دو مداخله اصلی در مقایسه با کنترل موجب بهبود معنادار بیشتر پیامدهای حرکتی و توجهی شدند. بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در مرحله پیگیری بر توانش حرکتی واقعی، تعداد پاسخ‌های صحیح و خطاهای حذف اثر بیشتری نسبت به بازخورد عصبی داشتند. بر اساس یافته‌ها بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی می‌توانند به‌عنوان مداخلات غیردارویی مکمل برای بهبود توانش حرکتی و توجه پایدار کودکان با ADHD استفاده شوند؛ با این حال، بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در برخی پیامدهای ماندگار برتری بیشتری نشان داد.

کلیدواژه‌گان: اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی، بازی‌های دیجیتال تعاملی، بازی‌های ویدئویی فعال، بازخورد عصبی، توانش حرکتی واقعی، توانش حرکتی ادراک‌شده، توجه پایدار

شیوه استناددهی: حیدریان، مجید، دانشفر، افخم، شجاعی، معصومه، و ملانوروزی، کیوان. (۱۴۰۵). اختلال نارسایی توجه/بیش‌فعالی، بازی‌های رایانه‌ای حرکتی، بازخورد عصبی، توانش حرکتی واقعی، توانش حرکتی ادراک‌شده، توجه پایدار. شناخت، رفتار، یادگیری، ۳(۶)، ۱-۲۸.

The Effects of Exergames and Neurofeedback on Actual and Perceived Motor Competence and Sustained Attention in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder

Majid Heydarian¹, Afkham Daneshfar^{2*}, Masoumeh Shojaei², Keyvan Molanorouzi³

1. PhD student, Department of Sport Science, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran
3. Department of Sport Science, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Corresponding Author's Email: a.daneshfar@alzahra.ac.ir

Submit Date: 2026-02-13

Revise Date: 2026-06-03

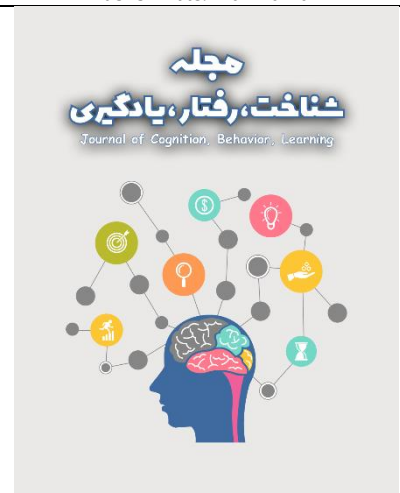
Accept Date: 2026-06-29

Publish Date: 2027-02-04

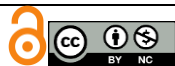
Abstract

The present study aimed to investigate and compare the effects of exergames and neurofeedback training on actual and perceived motor competence, as well as sustained attention in children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). This applied study employed a randomized pretest-posttest-follow-up design. Participants were 52 male children with ADHD (mean age = 8.65 years, SD = 1.2), selected from a screening pool of 1,178 elementary students (grades 1–4) in Qazvin, Iran. Final diagnosis was confirmed via psychiatric clinical interviews and adherence to inclusion/exclusion criteria. Participants were randomly assigned to neurofeedback, exergames, sham neurofeedback, and control groups. The experimental groups underwent 30 sessions of their respective intervention (45 min per session, three sessions per week). Actual motor competence was assessed using the Movement Assessment Battery for Children—Second Edition (MABC-2); perceived motor competence was measured via the physical competence subscale of the self-perception profile for children; and sustained attention was evaluated through the Continuous Performance Test (CPT). A two-way mixed ANOVA revealed significant time-by-group interaction effects for actual motor competence, $F_{(6,96)}=46.80$, $p<.001$, $\eta^2_p=.74$; perceived motor competence, $F_{(6,96)}=10.50$, $p<.001$, $\eta^2_p=.39$; correct responses, $F_{(6,96)}=37.70$, $p<.001$, $\eta^2_p=.70$; omission errors, $F_{(6,96)}=31.50$, $p<.001$, $\eta^2_p=.66$; response time, $F_{(6,96)}=46.30$, $p<.001$, $\eta^2_p=.74$; and commission errors, $F_{(6,96)}=5.14$, $p<.001$, $\eta^2_p=.24$. Bonferroni-adjusted pairwise comparisons indicated that both active interventions produced significantly greater improvements than the control group in motor and attentional outcomes. At follow-up, exergames showed sustained effects than neurofeedback on actual motor competence, correct responses, and omission errors. According to the results, both neurofeedback and exergames can serve as complementary nonpharmacological interventions to improve motor competence and sustained attention in children with ADHD; however, exergames demonstrated stronger sustained effects on several outcomes.

Keywords: Active video games, actual motor competence, attention-deficit/hyperactivity disorder, EEG biofeedback, interactive digital games, perceived motor competence, sustained attention



How to cite: Heydarian, M., Daneshfar, A., Shojaei, M., Molanorouzi, K. (2027). The Effects of Movement-Based Video Games and Neurofeedback on Actual and Perceived Motor Competence and Sustained Attention in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Cognition, Behavior, Learning*, 3(6), 1-28.



مقدمه

اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی (ADHD) یکی از شایع‌ترین اختلالات رشد عصبی دوران کودکی است که با الگوهای پایدار بی‌توجهی، بیش‌فعالی و تکانشگری شناخته می‌شود و می‌تواند عملکرد تحصیلی، روابط اجتماعی، خودتنظیمی رفتاری و مشارکت کودک در فعالیت‌های روزمره را مختل کند. تحول مفهوم تشخیصی این اختلال در طول چند دهه گذشته نشان می‌دهد که ADHD صرفاً یک مشکل رفتاری ساده نیست، بلکه اختلالی چندبعدی است که فرایندهای شناختی، حرکتی، هیجانی و سازگاری اجتماعی کودک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Adam & Young-Walker, 2014). مطالعات همه‌گیرشناختی نیز نشان داده‌اند که این اختلال در جمعیت‌های مختلف و در دوره‌های زمانی متفاوت، شیوع قابل‌توجهی دارد و تفاوت‌های گزارش‌شده بیش از آنکه نشان‌دهنده افزایش یا کاهش واقعی اختلال باشند، ممکن است از تفاوت در روش‌های تشخیص، منابع اطلاعاتی و معیارهای مورد استفاده ناشی شوند (Polanczyk et al., 2014). مرورهای نظام‌مند انجام‌شده در ایران نیز شیوع قابل‌ملاحظه نشانه‌های این اختلال را در دانش‌آموزان دوره ابتدایی از دیدگاه والدین و معلمان گزارش کرده‌اند؛ موضوعی که ضرورت شناسایی زود هنگام و طراحی مداخلات مؤثر برای کودکان مدرسه‌ای را برجسته می‌سازد (Arjmandi et al., 2015).

پیامدهای اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی به نشانه‌های آشکار رفتاری محدود نمی‌شود. بسیاری از کودکان مبتلا در توجه پایدار، حافظه کاری، بازداری پاسخ، برنامه‌ریزی، انعطاف‌پذیری شناختی، سرعت پردازش و نظارت بر عملکرد با ضعف روبه‌رو هستند. این نارسایی‌ها موجب می‌شوند کودک در انجام تکالیفی که مستلزم حفظ تمرکز، نادیده گرفتن محرک‌های نامرتب و تداوم پاسخ هدفمند هستند، عملکرد ضعیف‌تری نشان دهد. ارزیابی عصب‌روان‌شناختی چنین کودکانی می‌تواند اطلاعاتی فراتر از تشخیص بالینی فراهم کند و چگونگی ارتباط نارسایی‌های شناختی با عملکرد تحصیلی، رفتاری و روزمره آنان را مشخص سازد (Pritchard et al., 2012). توجه پایدار به توانایی حفظ آمادگی ذهنی و پاسخ‌دهی منظم به محرک‌های هدف در یک بازه زمانی نسبتاً طولانی اشاره دارد. ضعف در این توانایی معمولاً با افزایش خطاهای حذف، افزایش پاسخ‌های نابجا، نوسان در زمان واکنش و کاهش تعداد پاسخ‌های صحیح در آزمون عملکرد پیوسته همراه است. از این‌رو، توجه پایدار یکی از شاخص‌های اساسی در بررسی کارکرد شناختی کودکان با ADHD محسوب می‌شود، هر چند نتایج این ابزار نباید به عنوان ابزار تشخیصی مستقل در نظر گرفته شود (Ali et al., 2026; Arrondo et al., 2024; Rivella et al., 2025).

در کنار نارسایی‌های شناختی کودکان با ADHD، مشکلات حرکتی از دیگر پیامدهای این اختلال است. کودکان با ADHD ممکن است در هماهنگی حرکتی، کنترل وضعیت بدن، برنامه‌ریزی حرکات، تعادل، مهارت‌های دستی و هماهنگی چشم و دست با مشکل مواجه باشند. بی‌توجهی، عجله در پاسخ‌دهی، ضعف در مهار حرکتی و دشواری در تنظیم شدت و توالی حرکت می‌تواند کیفیت اجرای تکالیف حرکتی را کاهش دهند. توانش حرکتی واقعی به سطح عینی مهارت کودک در اجرای فعالیت‌های حرکتی اشاره دارد و معمولاً با آزمون‌های استاندارد عملکردی سنجیده می‌شود. در مقابل، توانش حرکتی ادراک‌شده بیانگر برداشت کودک از شایستگی جسمانی و توانایی خود در انجام فعالیت‌های حرکتی است. این دو سازه اگرچه با یکدیگر ارتباط دارند، لزوماً همسو نیستند؛ به گونه‌ای که کودکان ADHD ممکن است عملکرد حرکتی واقعی ضعیفی داشته باشند، اما ادراک آنان از توانش حرکتی خود متناسب با سطح واقعی عملکردشان نباشد و حتی بیش برآورد شود و یا برعکس باشد (Fliers et al., 2010).

تمایز میان توانش حرکتی واقعی و ادراک‌شده از نظر رشدی و روان‌شناختی اهمیت فراوانی دارد. ادراک کودک از توانش حرکتی می‌تواند بر انگیزش او برای مشارکت در بازی، ورزش و فعالیت بدنی اثر بگذارد. کودکانی که خود را از نظر حرکتی ناتوان می‌دانند، ممکن است از موقعیت‌های حرکتی اجتناب کنند، در فعالیت‌های گروهی کمتر مشارکت داشته باشند و فرصت‌های محدودتری برای تمرین و رشد مهارت‌های حرکتی به دست آورند. این چرخه می‌تواند به کاهش آمادگی جسمانی، انزوای اجتماعی و تضعیف بیشتر خودکارآمدی منجر شود. در سوی مقابل، تجربه موفقیت، دریافت بازخورد فوری و مشاهده پیشرفت در یک محیط ایمن می‌تواند ادراک توانش را تقویت کند. از این منظر،

مداخلاتی که به‌طور هم‌زمان فرصت اجرای حرکت، تجربه موفقیت، بازخورد فوری و تنظیم تدریجی دشواری را فراهم می‌کنند، ممکن است برای کودکان با ADHD سودمند باشند (Hamada et al., 2025).

درمان دارویی، به‌ویژه استفاده از محرک‌ها، یکی از رویکردهای رایج برای کاهش نشانه‌های اصلی ADHD است. راهنماهای مبتنی بر شواهد نشان داده‌اند که دارودرمانی می‌تواند در بسیاری از کودکان موجب کاهش بی‌توجهی، بیش‌فعالی و تکانشگری شود (Bolea-Alamanac et al., 2014). بااین‌حال، پاسخ کودکان به دارو یکسان نیست و نگرانی درباره عوارض جانبی، پذیرش خانواده، پایداری درمانی و تداوم اثرات پس از قطع دارو همچنان مطرح است. مقایسه درمان دارویی و بازخورد عصبی نیز نشان داده است که هر دو رویکرد می‌توانند در کاهش نشانه‌ها نقش داشته باشند، هرچند سازوکار، سرعت اثر و میزان ماندگاری پیامدهای آن‌ها متفاوت است (Mohammadi & Hosseini, 2018). افزون بر این، مداخلات غیردارویی دیگری مانند اصلاح رژیم غذایی نیز بررسی شده‌اند، اما شواهد موجود درباره اثربخشی آن‌ها ناهمگون است و بر ضرورت طراحی مطالعات دقیق‌تر تأکید شده است (Stevenson et al., 2014). تمرین‌های جسمانی و ذهن-بدن، از جمله یوگا، نیز می‌توانند توجه دیداری و شنیداری کودکان دارای نشانه‌های بیش‌فعالی را بهبود دهند (Mollazadeh et al., 2018). این یافته‌ها نشان می‌دهند که درمان اختلال باید چندوجهی باشد و علاوه بر کاهش نشانه‌های رفتاری، کارکردهای شناختی و حرکتی را نیز هدف قرار دهد.

یکی از مداخلات غیردارویی مورد توجه در این زمینه، بازخورد عصبی است. بازخورد عصبی نوعی آموزش خودتنظیمی مبتنی بر ثبت فعالیت الکتریکی مغز است که طی آن فرد اطلاعات لحظه‌ای درباره الگوی فعالیت عصبی خود دریافت می‌کند و به‌تدریج می‌آموزد فعالیت مغزی را در جهت مطلوب تعدیل کند. اصول اولیه این روش بر شرطی‌سازی کنشگر استوار است؛ بدین معنا که تغییرات مطلوب در الگوی امواج مغزی با بازخورد دیداری یا شنیداری تقویت می‌شوند. مبانی نظری و عملی بازخورد عصبی ابتدا در حوزه‌هایی مانند تنظیم تشنج و آموزش ریتم حسی حرکتی توسعه یافتند و سپس به سایر اختلالات عصبی و روان‌پزشکی گسترش پیدا کردند (Serman & Egner, 2006). استفاده از عناصر صوتی، تصویری و پاداش‌های قابل پیش‌بینی در این مداخلات نیز می‌تواند بر انتظار، انگیزش و یادگیری کودک اثر بگذارد؛ زیرا ساختار انتظار و پیش‌بینی رویدادها نقش مهمی در پردازش پاداش و تداوم مشارکت دارد (Huron, 2007).

در کودکان با ADHD، پروتکل‌های بازخورد عصبی معمولاً با هدف کاهش فعالیت‌های مغزی مرتبط با خواب‌آلودگی و حواس‌پرتی و تقویت الگوهای مرتبط با هوشیاری، توجه و کنترل شناختی طراحی می‌شوند. مرور شواهد موجود نشان می‌دهد که بازخورد عصبی می‌تواند بر نشانه‌های بی‌توجهی و بیش‌فعالی اثر بگذارد، اما میزان اختصاصی بودن این آثار و نقش عوامل غیراختصاصی مانند انتظار درمان، تعامل با درمانگر و تمرین مکرر همچنان محل بحث است (Brandeis, 2011). مطالعات مروری، بازخورد عصبی را مداخله‌ای امیدوارکننده معرفی کرده‌اند، اما بر لزوم استفاده از گروه‌های کنترل فعال، ارزیابی پنهان (یا کور) و سنجش پیامدهای عصب‌روان‌شناختی تأکید داشته‌اند (Holtmann et al., 2014). فراتحلیل کارآزمایی‌های تصادفی نیز نشان داده است که این مداخله می‌تواند برخی نشانه‌های بالینی و پیامدهای عصب‌روان‌شناختی را بهبود دهد، هرچند اندازه اثر با نوع ارزیاب، پروتکل و کیفیت روش‌شناسی مطالعات تغییر می‌کند (Cortese et al., 2016).

پژوهش‌های آزمایشی نیز نتایج قابل‌توجهی درباره تأثیر بازخورد عصبی بر کارکردهای شناختی گزارش کرده‌اند. تمرینات بازخورد عصبی در کودکان با ADHD می‌تواند توجه پایدار و حافظه کاری را تقویت کند (Dasht Bozorgi et al., 2016). ترکیب بازخورد عصبی با تمرین‌های شناختی رایج‌ای نیز در بهبود حافظه کاری افراد با ADHD مؤثر گزارش شده است (Heidari Nasab et al., 2016). یافته‌های مطالعات داخلی دیگر نیز کاهش نشانه‌های بیش‌فعالی و کم‌توجهی پس از دوره‌های بازخورد عصبی را نشان داده‌اند (Narimani et al., 2015; Seilsapour et al., 2013). گزارش‌های موردی نیز حاکی از آن است که بازخورد عصبی می‌تواند تنظیم عصبی را در افراد دارای اختلال کم‌توجهی بهبود بخشد (Fauzan & Nazaruddin, 2012). بااین‌حال، مقایسه بازخورد عصبی با داروهای محرک و فعالیت

جسمانی نشان داده است که الگوی اثرگذاری این مداخلات بر شاخص‌های عصب‌شناختی و شناختی یکسان نیست و برخی پیامدها ممکن است نسبت به نوع درمان حساس‌تر باشند (Gelade et al., 2016).

مرورهای جدیدتر همچنان از ظرفیت بازخورد عصبی برای بهبود کارکردهای اجرایی حمایت می‌کنند. یک فراتحلیل جدید نشان داده است که تمرینات بازخورد عصبی می‌تواند کنترل بازداری و حافظه فعال کودکان با ADHD را بهبود دهد. هرچند در این فراتحلیل اثر بر توجه پایدار به‌طور مستقیم و مستقل مورد بررسی قرار نگرفته است، با این حال، بهبود در کنترل بازداری و حافظه فعال که هر دو از مؤلفه‌های کلیدی توجه پایدار محسوب می‌شوند، می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر غیرمستقیم این روش بر توجه پایدار باشد (Zhong et al., 2025). همچنین، مرور مطالعات مربوط به کودکان و نوجوانان با ADHD و ناتوانی‌های یادگیری نشان داده است که بازخورد عصبی می‌تواند بر کارکردهای اجرایی و تحصیلی مؤثر باشد (Sadeghi Ahouei et al., 2025). به‌طور کلی، شواهد موجود نشان می‌دهد که بازخورد عصبی پتانسیل بهبود مؤلفه‌های مرتبط با توجه پایدار را دارد، اما این اثرات وابسته به عواملی مانند نوع پروتکل، مدت زمان آموزش، و ابزار سنجش هستند. بررسی کاربردهای بالینی بازخورد زیستی و بازخورد عصبی نیز این روش‌ها را مداخلاتی قابل استفاده در طیفی از شرایط عصبی و روان‌پزشکی معرفی کرده است، هرچند استانداردسازی پروتکل‌ها و تعیین شاخص‌های پاسخ درمانی همچنان ضروری است (Melo et al., 2025). مقایسه پروتکل‌های مختلف بازخورد عصبی، از جمله ریتم حسی حرکتی و آلفا-تتا، نیز نشان می‌دهد که انتخاب پروتکل باید متناسب با نشانه‌های هدف و سازوکارهای عصبی مورد انتظار انجام شود (Lotfinia et al., 2025). افزون بر کاربردهای بالینی، فراتحلیل مطالعات ورزشی نشان داده است که تمرینات بازخورد عصبی الکتروانسفالوگرافی می‌تواند بر کنترل توجه، تنظیم برانگیختگی و عملکرد حرکتی ورزشکاران اثر بگذارد؛ یافته‌ای که ارتباط بالقوه میان تنظیم عصبی و توانش حرکتی را برجسته می‌سازد (Yu et al., 2025).

با وجود ظرفیت درمانی بازخورد عصبی، این روش نیازمند تجهیزات تخصصی، آموزش درمانگر، کنترل آرتیفکت‌ها و مشارکت فعال کودک است. ماهیت تکراری جلسات ممکن است در برخی کودکان موجب کاهش انگیزش شود. استفاده از بازی‌های شناختی در محیط بازخورد عصبی می‌تواند مشارکت کودک را افزایش دهد، اما هنوز مشخص نیست که چه میزان از بهبود حاصل، ناشی از تنظیم اختصاصی امواج مغزی و چه میزان مربوط به جذابیت تکلیف، تمرین شناختی یا انتظار درمان است. از این‌رو، وجود گروه بازخورد عصبی ساختگی در مطالعات کنترل‌شده اهمیت زیادی دارد. مرورهای تخصصی نیز بر همین مسئله تأکید کرده‌اند و لزوم تفکیک آثار اختصاصی بازخورد عصبی از عوامل غیراختصاصی مداخله را مطرح ساخته‌اند (Heinrich et al., 2016; Nemati & Alizadeh, 2017).

در کنار بازخورد عصبی، بازی‌های ویدئویی و رایانه‌ای به‌عنوان بستری جذاب برای تمرین شناختی مورد توجه قرار گرفته‌اند. بازی‌های ویدئویی و رایانه‌ای سنتی می‌توانند مستلزم توجه انتخابی، سرعت پردازش، حافظه کاری، تصمیم‌گیری و کنترل اجرایی باشند. با این حال، شواهد درباره انتقال آثار بازی به توانایی‌های عمومی شناختی همواره یکسان نیست. پژوهش‌های اولیه نشان داده‌اند که تجربه این بازی‌ها ممکن است با تغییراتی در توجه، حافظه و کنترل اجرایی همراه باشد، اما برای تعیین رابطه علی باید تفاوت‌های اولیه بازیکنان و اثرات تمرین کنترل شود (Boot et al., 2008). تمرین رایانه‌ای حافظه کاری نیز در نوجوانان دارای ناتوانی یادگیری شدید و اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی بررسی شده و برخی بهبودها در حافظه کاری و توجه را نشان داده است (Gray et al., 2012). برنامه‌های توان‌بخشی شناختی رایانه‌ای حرکت‌محور نیز توانسته‌اند حافظه کاری کودکان مبتلا را بهبود دهند (Jalili et al., 2019). مطالعات جدیدتر در زمینه توان‌بخشی شناختی از راه دور نیز نشان داده‌اند که تمرین توجه می‌تواند کارکردهای اجرایی را تقویت و نشانه‌های رفتاری کودکان دارای این اختلال را کاهش دهد (Nejati & Derakhshan, 2024).

با این حال، استفاده افراطی و کنترل‌نشده از بازی‌های رایانه‌ای می‌تواند با پیامدهای نامطلوب همراه باشد. شیوع اعتیاد به بازی و ارتباط آن با اضطراب، افسردگی و نشانه‌های اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی در کودکان و نوجوانان گزارش شده است (Alrahili et al., 2023). از این‌رو، لازم است میان بازی کردن غیرهدفمند و استفاده درمانی، ساختاریافته و زمان‌بندی‌شده از بازی‌های رایانه‌ای تمایز قائل شد. بازی‌های توان‌بخشی

زمانی ارزش درمانی دارند که محتوای آن‌ها متناسب با هدف، سطح دشواری قابل تنظیم، بازخورد فوری و مدت اجرا کنترل شده باشد. استفاده از بازی‌های رایانه‌ای در توان بخشی شناختی کودکان با ADHD می‌تواند برخی رفتارهای مخاطره‌آمیز و فرایندهای شناختی مرتبط را تحت تأثیر قرار دهد (Nazerieh & Niknam, 2024).

نوعی از بازی‌های دیجیتالی که در سال‌های اخیر توجه بیشتری به خود جلب کرده، بازی رایانه‌ای حرکتی یا اگزرجیم است. در این بازی‌ها، حرکات واقعی بدن توسط حسگر یا دوربین ثبت و به رویدادهای محیط بازی تبدیل می‌شوند. کودک برای موفقیت باید بدود، بپرد، خم شود، تعادل خود را حفظ کند، به اهداف ضربه بزند یا حرکات هماهنگ اندام‌ها را انجام دهد. بدین ترتیب، بازی رایانه‌ای حرکتی عناصر فعالیت بدنی، تمرین مهارت، چالش شناختی و بازخورد چندحسی را در یک محیط واحد ترکیب می‌کند. مداخلات حرکتی مبتنی بر Xbox Kinect توانسته‌اند مهارت‌های حرکتی درشت کودکان دارای تأخیر حرکتی را بهبود دهند و به عنوان روشی نوین برای افزایش فرصت تمرین مطرح شوند (Rostampour et al., 2019). این بازی‌ها امکان تکرار زیاد تکلیف، تنظیم سطح دشواری، بازخورد فوری، مشاهده امتیاز و تجربه موفقیت تدریجی را فراهم می‌کنند. اثرات بازی‌های رایانه‌ای حرکتی ممکن است از مسیرهای مختلفی ایجاد شود. فعالیت بدنی می‌تواند بر انگیزش، خون‌رسانی مغزی و آمادگی توجهی اثر بگذارد و ماهیت بازی گونه، انگیزش و استمرار مشارکت را افزایش می‌دهد. هم‌زمان، تکلیف حرکتی نیازمند پیش‌بینی، بازداري پاسخ، انتقال توجه، هماهنگی بینایی-حرکتی و اصلاح سریع حرکت هستند. کارآزمایی تصادفی انجام شده بر کودکان با ADHD نشان داده است که بازی‌های رایانه‌ای حرکتی می‌تواند توجه آنان را بهبود دهد (Ji et al., 2023). همچنین، تمرین‌های بازی‌محور ورزشی می‌توانند خودکنترلی و تنظیم رفتاری کودکان دارای این اختلال را تقویت کنند (Salleg-Cabarcas et al., 2024). این یافته‌ها نشان می‌دهند که مداخله حرکتی ساختاریافته، برخلاف بازی کردن منفعل، می‌تواند هم‌زمان بر مؤلفه‌های حرکتی و شناختی اثر بگذارد.

با وجود این، هنوز چند خلأ مهم در ادبیات پژوهش وجود دارد. نخست آنکه بخش زیادی از مطالعات بازخورد عصبی بر نشانه‌های بالینی، توجه یا کارکردهای اجرایی متمرکز بوده و توانش حرکتی واقعی و ادراک شده کمتر به عنوان پیامدهای اصلی بررسی شده‌اند. دوم آنکه مقایسه مستقیم بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی می‌تواند روشن سازد که آیا مداخله مبتنی بر خودتنظیمی عصبی و مداخله مبتنی بر حرکت فعال، الگوهای مشابه یا متفاوتی از تغییر ایجاد می‌کنند. سوم آنکه استفاده از گروه بازخورد عصبی ساختگی امکان تفکیک آثار اختصاصی تنظیم امواج مغزی از اثرات انتظار، توجه درمانگر و جذابیت محیط رایانه‌ای را فراهم می‌سازد. در نهایت، سنجش پیگیری برای تعیین ماندگاری آثار ضروری است؛ زیرا بهبود بلافاصله پس از مداخله الزاماً به معنای حفظ تغییرات در طول زمان نیست. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر مطالعه اثر بازی‌های رایانه‌ای حرکتی و بازخورد عصبی بر توانش حرکتی واقعی و ادراک شده و توجه پایدار کودکان دارای اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی بود.

روش‌شناسی

پژوهش کاربردی حاضر با استفاده از طرح آزمایشی پیش‌آزمون- پس‌آزمون - پیگیری گروه‌های تصادفی انجام شد. گروه‌های پژوهش شامل گروه آزمایشی بازی‌های رایانه‌ای حرکتی، گروه آزمایشی بازخورد عصبی، گروه مداخله‌نما (بازخورد عصبی ساختگی) و گروه کنترل بودند. متغیرهای وابسته در سه مرحله پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری یک ماه پس از پایان مداخله اندازه‌گیری شدند.

شرکت کننده‌های پژوهش ۵۲ کودک ۷ تا ۱۰ ساله با اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی بودند که از جامعه آماری دانش‌آموزان پسر پایه‌های اول تا چهارم دوره ابتدایی شهر قزوین انتخاب شدند. تعداد نمونه با استفاده از نرم افزار G*Power (نسخه ۳،۱،۹،۷) و با استفاده از آزمون تحلیل واریانس ترکیبی ۴ گروه در ۳ سنجش، سطح معناداری ۰/۰۵، توان آماری ۰/۹۰ و اندازه اثر متوسط ۰/۲۵ تعداد ۵۲ نفر برآورد گردید. به‌منظور دستیابی به نمونه‌ای برخوردار از تنوع جغرافیایی و جمعیت‌شناختی، از میان ۲۶ مدرسه ابتدایی پسرانه، پنج مدرسه از مناطق شمال، جنوب، شرق، غرب و مرکز شهر انتخاب شدند. سپس فرم‌های غربالگری در میان ۱۱۷۸ دانش‌آموز توزیع و بر اساس نتایج اولیه، ۵۹ کودک دارای

نشانه‌های ADHD شناسایی شدند. به‌منظور تشخیص قطعی افراد غربال شده و افزایش دقت فرایند نمونه‌گیری، دانش‌آموزانی که بر اساس نمره‌های استاندارد فرم کوتاه مقیاس درجه‌بندی کانرز والدین در محدوده بالینی قرار داشتند، همراه با والدین خود در مصاحبه بالینی روان‌پزشکی شرکت کردند. در این مصاحبه، وجود نشانه‌های ADHD، شدت نشانه‌ها، سابقه رشدی و تحصیلی، وضعیت درمانی کودک و احتمال وجود اختلالات روان‌شناختی یا رشد عصبی همبود بررسی شد. معیارهای ورود به پژوهش شامل تحصیل در پایه‌های اول تا چهارم ابتدایی و محدوده سنی متناسب با این پایه‌ها (۷ تا ۱۰ سال)، کسب نمره بالینی در مقیاس کانرز والدین، تشخیص ADHD توسط روان‌پزشک، برخوردار بودن از بهره هوشی در دامنه ۸۰ تا ۱۲۹، نداشتن محدودیت جسمانی جدی مؤثر بر انجام تکالیف حرکتی مثل آسیب‌های اسکلتی-عضلانی محدودکننده حرکت و هرگونه اختلال و بیماری مثل اختلال نافرمانی مقابله‌ای شدید، اختلال طیف اوتیسم، ناتوانی ذهنی، اختلالات عصبی جدی و افسردگی، عدم شرکت هم‌زمان در برنامه‌های درمانی مشابه و کسب رضایت آگاهانه کتبی از والدین بود. غیبت مکرر در جلسات مداخله به عنوان معیار خروج در نظر گرفته شد. پس از ارزیابی‌های روان‌پزشکی و هوشی، هفت کودک بر اساس معیارهای تعیین شده از پژوهش کنار گذاشته شدند. این کودکان با رعایت ملاحظات اخلاقی و با اطلاع والدین، برای دریافت خدمات تخصصی به مراکز درمانی مرتبط ارجاع داده شدند. در نهایت، ۵۲ کودک واجد شرایط با میانگین سن ۸/۶۵ ($\pm 1/2$) سال وارد پژوهش شدند و به صورت تصادفی در چهار گروه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی (۱۴ نفر)، بازخورد عصبی (۱۴ نفر)، بازخورد عصبی ساختگی (۱۲ نفر) و کنترل (۱۲ نفر) قرار گرفتند. پیش از آغاز مداخلات، توانش حرکتی واقعی، توانش حرکتی ادراک‌شده و توجه پایدار تمامی شرکت‌کنندگان در شرایط یکسان اندازه‌گیری شد. ارزیابی‌ها در اتاقی آرام، دارای نور کافی، تهویه مناسب و حداقل محرک‌های مزاحم انجام گرفت. آزمونگران پیش از اجرای آزمون‌ها، دستورالعمل هر آزمون را به زبانی ساده و متناسب با سطح درک کودکان توضیح دادند و اطمینان حاصل کردند که شرکت‌کنندگان نحوه انجام تکالیف را درک کرده‌اند. پس از اجرای پیش‌آزمون، گروه‌های آزمایشی و مداخله‌نما در ۳۰ جلسه مداخله، به‌صورت سه جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۴۵ دقیقه شرکت کردند. در گروه کنترل هیچ‌یک از مداخلات پژوهش اجرا نشد و شرکت‌کنندگان این گروه فعالیت‌های آموزشی و روزمره معمول خود را ادامه دادند. بلافاصله پس از پایان جلسه سی ام، پس از آزمون برای هر چهار گروه اجرا شد و یک ماه پس از آخرین جلسه نیز مرحله پیگیری با استفاده از همان ابزارها و در شرایط مشابه پیش‌آزمون و پس‌آزمون انجام گرفت.

در اجرای پژوهش، اصول اخلاقی شامل رضایت آگاهانه والدین، موافقت کودک برای شرکت در فعالیت‌ها، محرمانه ماندن اطلاعات، امکان خروج داوطلبانه از پژوهش در هر مرحله، اجتناب از تحمیل آسیب جسمانی یا روان‌شناختی و استفاده از داده‌ها صرفاً در چارچوب اهداف علمی رعایت شد. به والدین توضیح داده شد که شرکت یا عدم شرکت در مطالعه هیچ‌گونه تأثیری بر وضعیت آموزشی یا خدمات درمانی فرزند آنان نخواهد داشت. همچنین، برای حفظ محرمانگی، به هر شرکت‌کننده یک کد اختصاص داده شد و اطلاعات هویتی از داده‌های پژوهشی جدا نگهداری شد. تأییدیه اخلاقی این مطالعه از کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه الزهرا (س) با شناسه [IR.ALZAHRA.REC.1400.057] اخذ گردید. فرم کوتاه مقیاس درجه‌بندی کانرز والدین یکی از ابزارهای غربالگری و ارزیابی نشانه‌های رفتاری و شناختی مرتبط با اختلال کم‌توجهی/بیش‌فعالی در کودکان و نوجوانان است. نسخه‌های اولیه این مقیاس در سال ۱۹۶۰ توسط کیت کانرز طراحی شدند و شکل‌های مختلف آن برای گزارش والدین، معلمان و خودگزارشی توسعه یافتند. محدوده سنی کاربرد مقیاس‌های کانرز معمولاً کودکان و نوجوانان ۳ تا ۱۷ سال را دربرمی‌گیرد. فرم والدین شامل مجموعه‌ای از گویه‌ها درباره رفتارهای کودک در محیط خانه و سایر موقعیت‌های روزمره است و والدین میزان انطباق هر گویه با رفتار کودک را بر اساس یک مقیاس لیکرت چهاردرجه‌ای از صفر، به معنای «اصلاً درست نیست»، تا ۳، به معنای «کاملاً درست یا بسیار زیاد»، ارزیابی می‌کنند. افزایش نمره نشان‌دهنده شدت بیشتر نشانه‌های رفتاری و مشکلات مرتبط با بی‌توجهی، بیش‌فعالی، تکانشگری و سایر مشکلات رفتاری است. در پژوهش حاضر، این ابزار در مرحله غربالگری اولیه برای شناسایی کودکان دارای نشانه‌های احتمالی ADHD به کار رفت و نتایج آن مبنایی برای ارجاع کودکان به مصاحبه بالینی روان‌پزشکی قرار گرفت. فرم کوتاه مقیاس درجه‌بندی کانرز والدین (CPRS-R:S) از ابزارهای پرکاربرد در ارزیابی نشانه‌های ADHD در کودکان است و مطالعات روان‌سنجی، ساختار عاملی و پایایی

مطلوب آن را تأیید کرده‌اند. در مطالعه Fumeaux و همکاران (۲۰۱۶)، ضرایب همسانی درونی خرده‌مقیاس‌های مقابله‌ای، مشکلات شناختی/بی‌توجهی و بیش‌فعالی به‌ترتیب ۰/۸۷، ۰/۹۰ و ۰/۸۲ گزارش شد و شواهد مناسبی برای اعتبار سازه و پایایی به دست آمد (Fumeaux et al., 2016). هم چنین نسخه فارسی این ابزار (فرم کوتاه ۲۷ گویه)، مورد بررسی روان‌سنجی قرار گرفته و شواهدی از پایایی و اعتبار قابل قبول آن گزارش شده است (Rabiee et al., 2020).

آزمون ماتریس‌های پیش‌رونده رنگی ریون یک ابزار غیرکلامی برای سنجش استدلال انتزاعی، توانایی تشخیص روابط منطقی میان محرک‌های دیداری و مؤلفه غیرکلامی هوش عمومی است. این آزمون به دلیل وابستگی اندک به زبان، مهارت‌های تحصیلی و زمینه فرهنگی، در محیط‌های پژوهشی، آموزشی و بالینی برای ارزیابی توانایی شناختی کودکان کاربرد گسترده‌ای دارد. نسخه رنگی آزمون برای کودکان ۵ تا ۱۱ ساله و همچنین افرادی که در اجرای نسخه‌های پیچیده‌تر محدودیت دارند، طراحی شده است. آزمون از سه مجموعه A، AB و B تشکیل شده است که هر مجموعه دارای ۱۲ ماده و کل آزمون شامل ۳۶ تصویر ناقص است. در هر ماده، کودک باید از میان گزینه‌های ارائه‌شده، تصویری را انتخاب کند که الگوی دیداری ناقص را به‌صورت منطقی کامل می‌کند. برای هر پاسخ صحیح یک نمره و برای پاسخ نادرست یا بدون پاسخ نمره صفر در نظر گرفته می‌شود. نمره خام با توجه به سن کودک و جدول هنجاری به رتبه درصدی و سطح تقریبی بهره هوشی تبدیل می‌شود. در پژوهش حاضر، آزمون در محیطی آرام و روشن و به‌صورت انفرادی اجرا شد. آزمونگر ابتدا شیوه پاسخ‌گویی را توضیح داد و پس از اطمینان از درک دستورالعمل، کودک به سؤالات پاسخ داد. نتایج آزمون بر اساس سن و هنجارهای مربوط تفسیر شد و تنها کودکانی که بهره هوشی آنان در محدوده ۸۰ تا ۱۲۹ قرار داشت، وارد آزمایش شدند. مطالعات انجام‌شده در ایران شواهد مناسبی از پایایی و اعتبار آزمون ماتریس‌های پیش‌رونده رنگی ریون ارائه کرده‌اند. در مطالعه هنجاریابی رجبی (۲۰۰۹) بر روی ۱۹۵۶ دانش‌آموز ۷ تا ۱۱ ساله شهر اهواز، پایایی بازآزمایی آزمون با فاصله دو هفته برای کل نمونه و گروه‌های سنی معنادار بود و همبستگی معناداری میان نمرات ماتریس‌های پیش‌رونده رنگی ریون و آزمون ترسیم گودیناف-هریس مشاهده شد که مؤید اعتبار همگرایی آزمون است (Rajabi, 2009). مجموعه آزمون سنجش حرکت کودکان، ویرایش دوم (MABC-2)، یک ابزار استاندارد برای سنجش توانش حرکتی واقعی و شناسایی مشکلات هماهنگی حرکتی در کودکان و نوجوانان است. این آزمون برای دامنه سنی ۳ تا ۱۶ سال طراحی شده و تکالیف آن بر اساس سه گروه سنی تنظیم شده‌اند. با توجه به سن شرکت‌کنندگان پژوهش حاضر، تکالیف متناسب با گروه سنی کودکان دبستانی انتخاب و اجرا شد. این مجموعه سه حوزه اصلی چالاکی دستی، هدف‌گیری و دریافت و تعادل را ارزیابی می‌کند. بخش چالاکی دستی شامل تکالیفی است که سرعت، دقت و هماهنگی حرکات ظریف دست را بررسی می‌کنند. بخش هدف‌گیری و دریافت، توانایی کودک در پرتاب، نشانه‌گیری، دریافت و هماهنگی چشم و دست را می‌سنجد و بخش تعادل شامل تکالیف تعادل ایستا و پویا است. عملکرد کودک در هر تکلیف بر اساس زمان، تعداد خطاها یا کیفیت اجرای حرکت نمره‌گذاری می‌شود. سپس نمرات خام به نمرات استاندارد و رتبه‌های درصدی تبدیل می‌شوند. اعتبار و پایایی این آزمون در ایران تأیید شده است (Akbaripour et al., 2017, 2018). در این پژوهش، نمره کل استاندارد آزمون به‌عنوان شاخص توانش حرکتی واقعی در نظر گرفته شد. آزمون توسط ارزیاب آموزش‌دیده و در فضای ایمن و مناسب برای فعالیت حرکتی اجرا شد و ترتیب اجرا، دستورالعمل‌ها و فرصت‌های تمرینی در هر سه مرحله اندازه‌گیری برای همه شرکت‌کنندگان یکسان بود.

پرسشنامه خودادراکی کودکان (هاتر، ۱۹۸۵) برای سنجش ادراک کودکان از توانایی‌ها و شایستگی‌های خود در حوزه‌های مختلف طراحی شده است. در پژوهش حاضر، زیرمقیاس توانش جسمانی برای سنجش برداشت کودک از میزان توانایی خود در انجام فعالیت‌های جسمانی و حرکتی به کار گرفته شد. ساختار گویه‌ها به‌گونه‌ای است که کودک ابتدا از میان دو توصیف متفاوت، گروهی را انتخاب می‌کند که شباهت بیشتری به او دارد و سپس مشخص می‌کند که آن توصیف تا چه اندازه درباره او درست است. این شیوه پاسخ‌گویی برای کاهش گرایش کودکان به ارائه پاسخ‌های مطلوب اجتماعی و تسهیل انتخاب میان توصیف‌های متضاد طراحی شده است. نمره‌گذاری گویه‌ها معمولاً در یک دامنه چهاردرجه‌ای انجام می‌شود و نمره بالاتر بیانگر ادراک مثبت‌تر کودک از توانش حرکتی خویش است. ویژگی‌های روانسنجی نسخه فارسی این پرسشنامه در

کودکان دبستانی ایران تایید شده است (خجسته جلال، معنوی پور و صداقتی فرد، ۲۰۲۰؛ شهیم، ۲۰۰۴). شهیم با اعمال تغییرات جزئی در عبارت بندی گویه ها برای درک بهتر کودکان ایرانی، ساختار عاملی پرسشنامه را بررسی کرد و نتایج تحلیل عاملی، وجود سه عامل اصلی توانش شناختی، اجتماعی و جسمانی را نشان داد. پیش از شروع سنجش توانش حرکتی ادراک شده، آزمونگر با استفاده از یک نمونه تمرینی، شیوه انتخاب پاسخ را برای کودک توضیح داد. گویه ها به صورت انفرادی و در محیطی آرام ارائه شدند و در مواردی که کودک در خواندن یا درک عبارت ها مشکل داشت، آزمونگر متن را بدون القای پاسخ برای او خواند. نمره کل زیرمقیاس جسمانی به عنوان توانش حرکتی ادراک شده در تحلیل های آماری استفاده شد.

آزمون عملکرد پیوسته (CPT) یک آزمون رایانه ای عصب روان شناختی برای ارزیابی توجه پایدار، کنترل بازداری پاسخ و تکانشگری است. در این آزمون، مجموعه ای از محرک های دیداری با فاصله های زمانی مشخص و به صورت متوالی روی صفحه نمایش ارائه می شوند و از کودک خواسته می شود در برابر محرک های هدف، کلید تعیین شده را فشار دهد و در برابر محرک های غیرهدف از پاسخ دادن خودداری کند. استمرار عملکرد در طول آزمون، مستلزم حفظ تمرکز، پایش مداوم محرک ها و مهار پاسخ های نامتناسب است. شاخص های اصلی حاصل از آزمون شامل تعداد پاسخ های صحیح، خطاهای حذف، خطاهای ارتکاب و زمان واکنش است. خطای حذف زمانی رخ می دهد که کودک به محرک هدف پاسخ ندهد و افزایش آن معمولاً نشان دهنده ضعف در توجه پایدار است. خطای ارتکاب به پاسخ دادن در برابر محرک غیرهدف اشاره دارد و می تواند بیانگر ضعف در بازداری پاسخ یا تکانشگری باشد. زمان واکنش نیز یکی از آیتم های سرعت پردازش و پاسخ گویی کودک در طول تکلیف را نشان می دهد (Arrondo et al., 2024). در پژوهش حاضر، آزمون در اتاقی آرام و به دور از محرک های دیداری و شنیداری مزاحم اجرا شد. کودک در فاصله مناسب از نمایشگر قرار گرفت و پس از توضیح دستورالعمل، یک مرحله تمرینی کوتاه را انجام داد. اجرای اصلی پس از اطمینان از درک تکلیف آغاز شد و شاخص های خطای حذف، خطای ارتکاب، پاسخ های صحیح و زمان واکنش به عنوان متغیرهای مرتبط با توجه پایدار و کنترل بازداری پاسخ ثبت شدند.

مداخله بازی های رایانه ای حرکتی با استفاده از بازی Shape Up و کنسول Xbox One مجهز به حسگر حرکتی Kinect اجرا شد. بازی Shape Up توسط شرکت Ubisoft برای کنسول Xbox One طراحی شده و در طبقه بازی های ورزشی و حرکتی قرار می گیرد. این بازی حرکات بدن بازیکن را از طریق حسگر Kinect ثبت و به فعالیت های درون بازی تبدیل می کند؛ بنابراین، کودک برای پیشرفت در مراحل بازی باید حرکاتی مانند پریدن، دویدن درجا، خم شدن، حفظ تعادل، ضربه زدن، بلند کردن مجازی اجسام، انجام حرکات قدرتی و هماهنگ کردن حرکات اندام های فوقانی و تحتانی را اجرا کند. ماهیت تعاملی بازی موجب می شود فعالیت بدنی در قالب تکالیف جذاب، رقابتی و بازی گونه انجام شود. همچنین، سطح دشواری تکالیف با عملکرد بازیکن سازگار می شود و بازخورد دیداری و شنیداری فوری درباره دقت، سرعت و کیفیت حرکت در اختیار کودک قرار می گیرد.

کودکان گروه بازی های رایانه ای حرکتی در ۳۰ جلسه، به صورت سه جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۴۵ دقیقه، تحت مداخله قرار گرفتند. هر جلسه با حدود ۵ دقیقه حرکات گرم کردن و آماده سازی بدن آغاز شد. بخش اصلی جلسه حدود ۳۵ دقیقه به اجرای تکالیف منتخب بازی اختصاص یافت و در پایان نیز حدود ۵ دقیقه حرکات سبک و بازگشت به حالت اولیه انجام شد. فعالیت های بازی به صورت تدریجی از تکالیف ساده به تکالیف پیچیده تر سازمان دهی شدند و شامل تمرین های تعادل، هماهنگی چشم و دست، سرعت واکنش، چابکی، کنترل وضعیت قامت، هماهنگی دوطرفه، برنامه ریزی حرکتی و استمرار فعالیت بودند. تکالیف در بازه های زمانی کوتاه، از جمله دوره های حدود ۹۰ ثانیه ای، اجرا شدند و میان فعالیت ها استراحت های کوتاه در نظر گرفته شد تا از خستگی بیش از حد کودک جلوگیری شود. شدت و سطح دشواری تمرین ها متناسب با توانایی حرکتی، سن و پیشرفت هر کودک تنظیم شد. جلسات تحت نظارت مربی آموزش دیده برگزار شدند و محیط اجرا از نظر فضای کافی، فاصله ایمن از تجهیزات، نور و تهویه کنترل شد. در صورت مشاهده خستگی، سرگیجه، ناراحتی جسمانی یا کاهش شدید تمرکز، اجرای فعالیت متوقف و پس از استراحت مناسب ادامه داده می شد.

مداخله بازخورد عصبی با استفاده از تجهیزات ثبت فعالیت الکتریکی مغز و نسخه سوم نرم افزار Smart Mind انجام شد. این نرم افزار برای اجرای تمرین های شناختی و بازخورد عصبی طراحی شده و از تمرین های بازی محور برای تقویت توجه، تمرکز، حافظه کاری، بازداری پاسخ، تصمیم گیری، حل مسئله و انعطاف پذیری شناختی استفاده می کند. نرم افزار امکان انتخاب پروتکل های از پیش تعیین شده، تنظیم مدت هر بازی، شناسایی و حذف نسبی آرتیفکت های حرکتی و عضلانی، ذخیره اطلاعات هر جلسه و ارائه گزارش های عددی و نموداری از عملکرد شرکت کننده را فراهم می سازد. تکالیف شناختی در قالب بازی های رقابتی و جذاب ارائه می شوند و پیشرفت بازی به تغییرات مطلوب در الگوی امواج مغزی وابسته است. بدین ترتیب، کودک بدون نیاز به درک مستقیم مفاهیم پیچیده امواج مغزی، از طریق دریافت بازخورد دیداری یا شنیداری یاد می گیرد حالت های شناختی مرتبط با تمرکز و کنترل توجه را تقویت کند.

شرکت کنندگان گروه بازخورد عصبی در ۳۰ جلسه، سه جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۴۵ دقیقه، در مداخله شرکت کردند. در آغاز هر جلسه، پوست سر و محل قرارگیری الکترودها بررسی و آماده سازی شد و الکترودهای فعال، مرجع و زمین بر اساس پروتکل تعیین شده و با استفاده از ژل رسانا نصب شدند. کیفیت اتصال الکترودها و میزان امپدانس پیش از آغاز ثبت کنترل شد. پروتکل آموزشی با هدف کاهش الگوهای مرتبط با کم توجهی و خواب آلودگی ذهنی و تقویت الگوهای مرتبط با توجه، هوشیاری و کنترل شناختی تنظیم شد. در طول جلسات، کودک در برابر نمایشگر می نشست و تکالیف بازی محور نرم افزار را انجام می داد. زمانی که فعالیت مغزی کودک در محدوده هدف قرار می گرفت، حرکت شخصیت بازی، افزایش امتیاز، روشن تر شدن تصویر یا پخش صدای تشویقی ادامه می یافت و در صورت خروج فعالیت مغزی از محدوده تعیین شده، حرکت بازی کند یا متوقف می شد. آستانه های دریافت بازخورد بر اساس عملکرد هر کودک و به صورت تدریجی تنظیم شدند تا تکلیف نه بیش از اندازه آسان و نه بیش از اندازه دشوار باشد. در طول جلسات، آرتیفکت های ناشی از پلک زدن، حرکت سر، انقباض عضلات صورت یا جابه جایی بدن کنترل و در صورت لزوم، بخش های دارای آرتیفکت از تحلیل جلسه کنار گذاشته شدند. اجرای تمام جلسات زیر نظر درمانگر آموزش دیده در حوزه بازخورد عصبی انجام گرفت.

گروه مداخله نما در شرایطی مشابه گروه بازخورد عصبی واقعی در ۳۰ جلسه، سه جلسه در هفته و هر جلسه به مدت ۴۵ دقیقه، شرکت کرد. محیط اجرا، تجهیزات، نحوه آماده سازی پوست سر، نصب الکترودها، حضور درمانگر، مدت جلسات و نوع بازی های نمایش داده شده با گروه بازخورد عصبی واقعی یکسان بود. تفاوت اصلی آن بود که بازخورد ارائه شده به کودک به طور مستقیم و همزمان از فعالیت مغزی واقعی او تبعیت نمی کرد. در این گروه، بازخورد دیداری و شنیداری بر اساس داده های از پیش ثبت شده، الگوریتم تصادفی کنترل شده یا سیگنالی مستقل از تغییرات لحظه ای امواج مغزی کودک ارائه می شد. با این حال، برای حفظ باورپذیری مداخله، ظاهر نرم افزار، تعداد توقف ها، دریافت امتیازها، پیام های تشویقی و تعامل درمانگر با کودک مشابه شرایط بازخورد عصبی واقعی تنظیم شد. درمانگر از ارائه توضیحاتی که بتواند ماهیت ساختگی بازخورد را برای کودک یا والدین آشکار کند، خودداری کرد. استفاده از این گروه به پژوهشگر امکان داد آثار اختصاصی تنظیم فعالیت مغزی را از آثار غیراختصاصی حضور در جلسات، تعامل با درمانگر، استفاده از تجهیزات، انتظار دریافت درمان و جذابیت بازی های رایانه ای تفکیک کند. شرکت کنندگان گروه کنترل در طول دوره پژوهش هیچ گونه مداخله بازی رایانه ای حرکتی، بازخورد عصبی واقعی یا بازخورد عصبی ساختگی دریافت نکردند و برنامه های آموزشی، خانوادگی و فعالیت های روزمره معمول خود را ادامه دادند. از والدین خواسته شد در طول دوره مطالعه، کودکان را در برنامه های جدید بازخورد عصبی، بازی درمانی حرکتی، توان بخشی شناختی یا سایر مداخلاتی که می توانستند متغیرهای وابسته را تحت تأثیر قرار دهند، ثبت نام نکنند. وضعیت دریافت دارو یا خدمات معمول کودکان در آغاز مطالعه ثبت شد و از والدین خواسته شد هرگونه تغییر مهم در درمان کودک را به پژوهشگر گزارش دهند. گروه کنترل همزمان با سه گروه دیگر در مراحل پیش آزمون، پس آزمون و پیگیری یک ماهه مورد ارزیابی قرار گرفت تا تغییرات احتمالی ناشی از گذشت زمان، تکرار آزمون یا رشد طبیعی کودکان کنترل شود.

داده های حاصل از مراحل پیش آزمون، پس آزمون و پیگیری پس از کدگذاری وارد نرم افزار آماری شدند و ابتدا از نظر کامل بودن، وجود خطاهای ورود داده، مقادیر گم شده و داده های پرت بررسی شدند. برای توصیف ویژگی های جمعیت شناختی و متغیرهای پژوهش از شاخص هایی مانند

فراوانی، درصد، میانگین و انحراف معیار استفاده شد. میانگین و انحراف معیار نمرات توانش حرکتی واقعی، توانش حرکتی ادراک شده و شاخص‌های توجه پایدار برای هر یک از چهار گروه در سه مرحله اندازه‌گیری محاسبه شد. همچنین، عدم تفاوت اولیه گروه‌ها از نظر سن، بهره هوشی، شدت نشانه‌های اختلال و نمرات پیش‌آزمون بررسی شد تا اطمینان حاصل شود تفاوت‌های مشاهده‌شده در مراحل بعدی تا حد امکان به مداخلات پژوهش مربوط بوده‌اند.

برای بررسی مفروضه‌های تحلیل استنباطی، طبیعی بودن توزیع نمرات با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و بررسی شاخص‌های چولگی و کشیدگی ارزیابی شد. همگنی واریانس گروه‌ها با آزمون لوین، همگنی ماتریس‌های کوواریانس با آزمون باکس و مفروضه کرویت برای عامل درون‌گروهی زمان نیز با آزمون موچلی ارزیابی شد و در صورت نقض مفروضه کرویت، از اصلاح گرین‌هاوس-گیسر یا هوین-فلدت استفاده شد. افزون بر این، وجود داده‌های پرت تک‌متغیری و چندمتغیری و الگوی مقادیر گمشده بررسی شد. سطح معناداری آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد و در کنار مقدار احتمال، اندازه اثر نیز گزارش شد.

برای بررسی اثرات اصلی و متقابل زمان و گروه بر متغیرهای وابسته، از تحلیل واریانس دو عاملی ترکیبی استفاده شد. در این تحلیل، زمان با سه سطح پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری به‌عنوان عامل درون‌گروهی و نوع مداخله با چهار سطح بازی‌های رایانه‌ای حرکتی، بازخورد عصبی، بازخورد عصبی ساختگی و کنترل به‌عنوان عامل بین‌گروهی در نظر گرفته شد. معناداری اثر متقابل زمان و گروه نشان‌دهنده تفاوت بودن الگوی تغییرات گروه‌ها در طول مراحل اندازه‌گیری تلقی شد. در صورت مشاهده اثر معنادار، برای مقایسه زوجی میان گروه‌ها از آزمون‌های تعقیبی با اصلاح بونفرونی استفاده شد. اندازه اثر تفاوت‌ها با مجذور اتای جزئی گزارش شد. برای تحلیل شاخص‌های متعدد آزمون عملکرد پیوسته، تحلیل‌های جداگانه اجرا شد.

یافته‌ها

به‌منظور بررسی روند تغییرات توانش حرکتی واقعی، توانش حرکتی ادراک شده و مؤلفه‌های توجه پایدار، میانگین و انحراف معیار نمرات گروه‌های بازخورد عصبی، بازخورد عصبی ساختگی، بازی‌های رایانه‌ای حرکتی و کنترل در مراحل پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری محاسبه شد. نتایج توصیفی مربوط به متغیرهای پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار متغیرهای پژوهش در گروه‌های مورد مطالعه و مراحل اندازه‌گیری

متغیر	مرحله	بازخورد عصبی	بازخورد عصبی ساختگی	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی	کنترل	انحراف معیار	میانگین
توانش حرکتی واقعی	پیش‌آزمون	۵۴.۴	۳.۶	۶۲.۱	۱۰.۹	۵۳.۷	۷.۲
	پس‌آزمون	۷۰.۹	۸.۱	۶۲.۶	۹.۹	۷۲.۸	۷.۶
	پیگیری	۷۵.۲	۷.۶	۶۲.۵	۶.۴	۸۱.۸	۷.۵
توانش حرکتی ادراک شده	پیش‌آزمون	۲۳.۰۰	۲.۴	۲۰.۶	۱.۶	۲۳.۹	۲.۳
	پس‌آزمون	۲۶.۱	۱.۸	۲۰.۳	۱.۷	۲۸.۲	۱.۵
	پیگیری	۲۷.۰۷	۲.۱	۲۰.۶	۱.۹	۲۸.۵	۱.۳
توجه پایدار (تعداد پاسخ‌های صحیح)	پیش‌آزمون	۱۲۵.۱	۵.۹	۱۲۶.۳	۴.۱	۱۲۳.۷	۳.۶
	پس‌آزمون	۱۳۵.۲	۴.۰۶	۱۲۴.۵	۶.۵	۱۳۶.۹	۴.۲
	پیگیری	۱۳۷.۹	۵.۰۹	۱۲۴.۶	۷.۲	۱۴۲.۴	۴.۳
توجه پایدار (خطاهای حذف)	پیش‌آزمون	۱۶.۴	۴.۴	۱۶.۳	۱.۷	۱۷.۱	۳.۶
	پس‌آزمون	۸.۵	۲.۱	۱۶.۷۵	۳.۹	۷.۱۴	۲.۵
	پیگیری	۶.۷	۱.۶	۱۵.۲	۴.۲	۴.۵	۲.۵
توجه پایدار (زمان پاسخ)	پیش‌آزمون	۶۲۳.۹	۱۰۲.۳	۶۲۴.۸	۶۴.۴	۶۲۹.۹	۸۴.۲
	پس‌آزمون	۵۱۷.۵	۸۱.۲	۶۲۱.۹	۶۴.۵	۵۰۷.۸	۷۴.۱
	پیگیری	۵۰۰.۴	۷۶.۱	۶۲۱.۹	۶۳.۶	۴۸۳.۵	۶۹.۳
توجه پایدار (خطاهای ارتکاب)	پیش‌آزمون	۸.۶۴	۲.۲	۸.۱۶	۱.۷	۸.۶	۲.۳
	پس‌آزمون	۶.۴۲	۳.۳	۸.۷۵	۳.۹	۵.۲	۳.۸
	پیگیری	۵.۵	۴.۱	۱۰.۰۸	۵.۹	۳.۰	۲.۸

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میانگین توانش حرکتی واقعی و ادراک شده در گروه‌های بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی افزایش پیدا کرد، درحالی‌که تغییرات گروه بازخورد عصبی ساختگی و کنترل محدود بود. در مؤلفه‌های توجه پایدار، دو گروه مداخله اصلی در مقایسه با گروه‌های بازخورد عصبی ساختگی و کنترل، افزایش بیشتری در تعداد پاسخ‌های صحیح و کاهش بیشتری در خطاهای حذف، زمان پاسخ و خطاهای ارتکاب نشان دادند. این الگوی توصیفی بیانگر بهبود عملکرد حرکتی و توجهی در گروه‌های بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی، به‌ویژه در مرحله پیگیری، بود.

برای تعیین معناداری تغییرات مشاهده‌شده، از تحلیل واریانس ۴ (گروه) در ۳ (زمان) با تکرار سنجش عامل زمان استفاده شد. نتایج کامل اثرات اصلی و متقابل زمان و گروه برای متغیرهای پژوهش در جدول ۲ گزارش شده است. بر اساس نتایج، اثرات اصلی و متقابل تمام متغیرها بجز اثر اصلی زمان بر خطای ارتکاب در آزمون عملکرد پیوسته، $\eta^2_p = .05$ ، $p = .058$ ، $F_{(3, 96)} = 2.93$ ، معنادار بود، $p < .05$.

جدول ۲. نتایج تحلیل واریانس دوعاملی ترکیبی برای متغیرهای پژوهش

متغیر	منبع تغییرات	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	F	p	η^2_p
توانش حرکتی واقعی	گروه	۲۷۵۸.۳	۳	۹۱۹.۴	۵.۳۹	.۰۰۳	.۲۵
	خطای بین‌گروهی	۸۱۷۶.۵	۴۸	۱۷۰.۳			
	زمان	۴۲۷۵.۳	۲	۲۱۳۷.۶	۱۴۲.۵۰	<.۰۰۱	.۷۴
	زمان × گروه	۴۲۱۲.۹	۶	۷۰۲.۱	۴۶.۸۰	<.۰۰۱	.۷۴
توانش حرکتی ادراک‌شده	خطای درون‌گروهی	۱۴۳۹.۷	۹۶	۱۴.۹			
	گروه	۷۹۴.۰۴	۳	۲۶۴.۶	۲۳.۷۰	<.۰۰۱	.۵۹
	خطای بین‌گروهی	۵۳۴.۲	۴۸	۱۱.۱			
	زمان	۱۵۵.۵	۲	۷۷.۷	۳۴.۶۰	<.۰۰۱	.۴۱
توجه پایدار (تعداد پاسخ‌های صحیح)	زمان × گروه	۱۴۲.۲	۶	۲۳.۷	۱۰.۵۰	<.۰۰۱	.۳۹
	خطای درون‌گروهی	۲۱۵.۲	۹۶	۲.۲۴			
	گروه	۳۱۷۹.۲	۳	۱۰۵۹.۷	۱۳.۵۰	<.۰۰۱	.۴۵
	خطای بین‌گروهی	۳۷۵۶.۶	۴۸	۷۸.۲			
توجه پایدار (خطاهای حذف)	زمان	۱۳۹۶.۳	۲	۶۹۸.۱	۶۹.۳۰	<.۰۰۱	.۵۹
	زمان × گروه	۲۲۸۲.۲	۶	۳۸۰.۳	۳۷.۷۰	<.۰۰۱	.۷۰
	خطای درون‌گروهی	۹۶۷.۰۲	۹۶	۱۰.۰۷			
	گروه	۱۳۶۳.۹	۳	۴۵۴.۶	۱۶.۱۰	<.۰۰۱	.۵۰
توجه پایدار (زمان پاسخ)	خطای بین‌گروهی	۱۳۵۰.۱	۴۸	۲۸.۱			
	زمان	۹۷۴.۴	۲	۴۸۷.۲	۱۰۵.۴۰	<.۰۰۱	.۶۸
	زمان × گروه	۸۷۵.۳	۶	۱۴۵.۸	۳۱.۵۰	<.۰۰۱	.۶۶
	خطای درون‌گروهی	۴۴۳.۴	۹۶	۴.۶۱			
توجه پایدار (خطاهای ارتکاب)	گروه	۳۰۳۳۷۶.۰۸	۳	۱۰۱۱۲۵.۳	۵.۲۰	.۰۰۳	.۲۴
	خطای بین‌گروهی	۹۳۳۰۷۲.۱	۴۸	۱۹۴۳۹.۰۰			
	زمان	۱۴۰۴۶۲.۶	۲	۷۰۲۳۱.۳	۱۴۵.۴۰	<.۰۰۱	.۷۵
	زمان × گروه	۱۳۴۳۳۳.۷	۶	۲۲۳۸۸.۹	۴۶.۳۰	<.۰۰۱	.۷۴
	خطای درون‌گروهی	۴۶۳۶۰.۷	۹۶	۴۸۲.۹			
	گروه	۴۷۶.۴	۳	۱۵۸.۸	۶.۶۱	.۰۰۱	.۲۹
	خطای بین‌گروهی	۱۱۵۳.۱	۴۸	۲۴.۰۲			
	زمان	۶۲.۰۸	۲	۳۱.۰۴	۲.۹۳	.۰۵۸	.۰۵
	زمان × گروه	۳۲۶.۴	۶	۵۴.۴	۵.۱۴	<.۰۰۱	.۲۴
	خطای درون‌گروهی	۱۰۱۵.۰۰	۹۶	۱۰.۵			

با توجه به معناداری اثر متقابل زمان و گروه، برای مشخص کردن محل تفاوت‌ها، درصد تغییرات نسبت به پیش‌آزمون محاسبه و مقایسه‌های زوجی با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی و فاصله اطمینان بوت‌استرپ شده ۹۵ درصد در دو مرحله پس‌آزمون و پیگیری انجام شد. نتایج این مقایسه‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی با فواصل اطمینان بوت‌استرپ شده در مراحل پس‌آزمون و پیگیری

متغیر	مرحله	مقایسه گروه‌ها	تفاوت تغییرات	میانگین p	فاصله اطمینان بوت‌استرپ شده ۹۵ درصد
توانش حرکتی واقعی	پس‌آزمون	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	۲۸.۷	.۰۰۱	[۲۱.۲, ۳۶.۰۳]
	پس‌آزمون حرکتی	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای	-۶.۱۴	.۱۸۳	[-۱۶.۰۵, ۲.۶]
	پس‌آزمون	بازخورد عصبی - کنترل	۳۱.۳	.۰۰۱	[۲۴.۱, ۳۸.۴]
	پس‌آزمون	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	۲.۵	.۴۵۴	[-۳.۷, ۹.۱]
	پس‌آزمون	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	۳۷.۷	.۰۰۱	[۳۰.۹, ۴۴.۷]
	پیگیری	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	۳۵.۷	.۰۰۱	[۲۵.۰۰, ۴۵.۷]
	پیگیری حرکتی	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای	-۱۵.۳	.۰۰۲	[-۲۵.۰۲, -۵.۸]
	پیگیری	بازخورد عصبی - کنترل	۳۷.۱	.۰۰۱	[۲۸.۹, ۴۴.۸]
	پیگیری	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	۱.۴	.۷۴۵	[-۵.۸, ۹.۹]
	پیگیری	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	۵۲.۵	.۰۰۱	[۴۵.۱, ۶۰.۴]
	پس‌آزمون حرکتی	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	۱۵.۵	.۰۰۱	[۸.۷, ۲۱.۶]
	پس‌آزمون ادراک شده	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای	-۰.۴۲	.۸۹۹	[-۶.۴, ۵.۵]
توانش ادراک شده	پس‌آزمون	بازخورد عصبی - کنترل	۵.۲۶	.۱۹۳	[-۲.۱, ۱۲.۹]
	پس‌آزمون	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	-۱۰.۲	.۰۲۱	[-۱۸.۴, -۱.۲]
	پس‌آزمون	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	۵.۶۸	.۱۸۰	[-۲.۳, ۱۳.۲]
	پیگیری	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	۱۷.۵	.۰۰۲	[۵.۰۶, ۲۸.۲]
	پیگیری حرکتی	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای	-۱.۶۰	.۷۱۲	[-۱۰.۲, ۶.۵]
	پیگیری	بازخورد عصبی - کنترل	۱۸.۰۸	.۰۰۲	[۱۰.۱, ۲۶.۲]
	پیگیری	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	۰.۵۸۱	.۹۱۹	[-۸.۷, ۱۱.۵]
	پیگیری	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	۱۹.۶	.۰۰۱	[۱۰.۰۵, ۲۹.۱]
	پس‌آزمون صحیح	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	۹.۶	.۰۰۱	[۶.۹, ۱۲.۲]
	پس‌آزمون حرکتی	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای	-۲.۴	.۰۵۱	[-۴.۸, ۰.۰۱]
	پس‌آزمون	بازخورد عصبی - کنترل	۱۱.۰۶	.۰۰۱	[۸.۷, ۱۳.۶]
	پس‌آزمون	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	۱.۴۲	.۳۱۵	[-۱.۳, ۴.۴]
تعداد پاسخ‌های صحیح	پس‌آزمون	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	۱۳.۵	.۰۰۱	[۱۱.۲, ۱۶.۰۰]
	پیگیری	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	۱۱.۶	.۰۰۱	[۷.۸, ۱۵.۳]
	پیگیری حرکتی	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای	-۴.۷۶	.۰۰۳	[-۷.۸, -۱.۶]
	پیگیری	بازخورد عصبی - کنترل	۱۰.۸	.۰۰۱	[۷.۶, ۱۳.۸]
	پیگیری	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	-۰.۸۵۷	.۶۱۱	[-۴.۰۳, ۲.۱]
	پیگیری	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	۱۵.۵	.۰۰۱	[۱۲.۸, ۱۸.۳]
	پس‌آزمون خطاهای حذف	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	-۴۷.۸	.۰۰۱	[-۵۸.۷, -۳۶.۲]

پس‌آزمون	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای	۱۱.۴	۰.۵۰	[۰.۸۲, ۲۱.۶]
پیگیری	بازخورد عصبی - کنترل	-۴۸.۸	۰.۰۱	[-۶۰.۸, -۳۴.۰۷]
پس‌آزمون	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	-۱.۱۴	۰.۸۴۴	[-۱۳.۵, ۱۱.۲]
پس‌آزمون	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	-۶۰.۴	۰.۰۱	[-۷۰.۶, -۴۹.۵]
پیگیری	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	-۵۰.۱	۰.۰۱	[-۶۳.۶, -۳۶.۳]
پیگیری	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای حرکتی	۱۴.۸	۰.۰۶	[۵.۰۹, ۲۵.۴]
پیگیری	بازخورد عصبی - کنترل	-۵۲.۲	۰.۰۱	[-۶۵.۶, -۴۷.۸]
پیگیری	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	-۷.۳	۰.۳۳۷	[-۲۰.۲, ۶.۲]
پیگیری	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	-۷۲.۰۸	۰.۰۱	[-۸۲.۲, -۶۰.۸]
پس‌آزمون	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	-۱۶.۲	۰.۰۱	[-۱۹.۹, -۱۲.۷]
پس‌آزمون	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای حرکتی	۲.۵۲	۰.۳۰۲	[-۲.۱, ۷.۱]
پس‌آزمون	بازخورد عصبی - کنترل	-۱۶.۸	۰.۰۱	[-۲۱.۰۶, -۱۲.۹]
پس‌آزمون	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	-۰.۶۰۴	۰.۷۰۳	[-۳.۷, ۲.۱]
پس‌آزمون	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	-۱۹.۴	۰.۰۱	[-۲۳.۴, -۱۵.۶]
پیگیری	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	-۱۹.۰۰۵	۰.۰۱	[-۲۲.۸, -۱۵.۰۲]
پیگیری	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای حرکتی	۳.۷	۰.۱۰۰	[-۰.۴۴, ۷.۹]
پیگیری	بازخورد عصبی - کنترل	-۱۹.۴	۰.۰۱	[-۲۳.۲, -۱۶.۰۳]
پیگیری	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	-۰.۴۹۴	۰.۶۸۴	[-۲.۹, ۱.۸]
پیگیری	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	-۲۳.۲	۰.۰۱	[-۲۶.۳, -۱۹.۷]
پس‌آزمون	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	-۳۱.۲	۰.۱۰۴	[-۶۴.۱, ۳.۲]
پس‌آزمون	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای حرکتی	۱۷.۰	۰.۳۳۱	[-۱۸.۳, ۴۹.۳]
پس‌آزمون	بازخورد عصبی - کنترل	-۸۷.۸	۰.۱۴	[-۱۶۶.۶, -۲۷.۵]
پس‌آزمون	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	-۵۶.۵	۰.۱۰۸	[-۱۳۱.۷, ۱.۸]
پس‌آزمون	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	-۱۰۵.۰۱	۰.۰۴	[-۱۷۴.۰۶, -۴۶.۵]
پیگیری	بازخورد عصبی - بازخورد عصبی ساختگی	-۵۷.۴	۰.۲۹	[-۱۰۳.۰۹, -۸.۹]
پیگیری	بازخورد عصبی - بازی‌های رایانه‌ای حرکتی	۳۱.۹	۰.۰۶۷	[-۱.۴, ۶۴.۴]
پیگیری	بازخورد عصبی - کنترل	-۵۶.۵	۰.۳۱	[-۱۰۶.۷, -۷.۶]
پیگیری	بازخورد عصبی ساختگی - کنترل	۰.۸۹۲	۰.۹۷۰	[-۵۶.۸, ۵۹.۸]
پیگیری	بازی‌های رایانه‌ای حرکتی - کنترل	-۸۸.۵	۰.۰۲	[-۱۳۵.۳, -۴۲.۵]

زمان پاسخ

خطاهای ارتکاب

نتایج جدول ۳ نشان داد که در توانش حرکتی واقعی، گروه بازخورد عصبی در پس‌آزمون و پیگیری نسبت به گروه بازخورد عصبی ساختگی و کنترل، و گروه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی نسبت به کنترل، بهبود معناداری داشتند. تفاوت بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در پس‌آزمون معنادار نبود، اما در پیگیری، میزان بهبود گروه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی به‌طور معناداری بیشتر از گروه بازخورد عصبی بود. در توانش حرکتی ادراک‌شده، بازخورد عصبی در پس‌آزمون تنها نسبت به بازخورد عصبی ساختگی برتری معناداری نشان داد و تفاوت آن با کنترل معنادار نبود. در مرحله پیگیری، هم بازخورد عصبی و هم بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در مقایسه با کنترل موجب بهبود معنادار توانش حرکتی ادراک‌شده شدند، درحالی‌که میان دو مداخله اصلی تفاوت معناداری مشاهده نشد.

در تعداد پاسخ‌های صحیح، هر دو مداخله اصلی در پس‌آزمون و پیگیری نسبت به گروه کنترل بهبود معناداری ایجاد کردند. تفاوت بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در پس‌آزمون در آستانه معناداری قرار داشت، اما در پیگیری، افزایش پاسخ‌های صحیح در گروه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی به‌طور معناداری بیشتر بود. در خطاهای حذف نیز بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در هر دو مرحله نسبت به کنترل موجب کاهش معنادار خطاها شدند. مقایسه دو مداخله اصلی نشان داد که بازی‌های رایانه‌ای حرکتی، در مرحله پیگیری، کاهش معناداری در خطاهای حذف ایجاد کرده بود. در زمان پاسخ، هر دو مداخله اصلی در پس‌آزمون و پیگیری نسبت به کنترل موجب کاهش معنادار زمان پاسخ شدند، اما تفاوت میان بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در هیچ‌یک از دو مرحله معنادار نبود.

در خطاهای ارتکاب، بازخورد عصبی در پس‌آزمون و پیگیری نسبت به کنترل موجب کاهش معنادار خطاها شد، اما تفاوت آن با بازخورد عصبی ساختگی در پس‌آزمون معنادار نبود و تنها در مرحله پیگیری به سطح معناداری رسید. بازی‌های رایانه‌ای حرکتی نیز در پس‌آزمون و پیگیری در مقایسه با کنترل، خطاهای ارتکاب را به‌طور معناداری کاهش دادند. تفاوت میان بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در هیچ‌یک از دو مرحله به سطح معناداری نرسید. در مجموع، یافته‌ها نشان دادند که هر دو مداخله بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی دارای آثار فوری و ماندگار بر توانش حرکتی واقعی و بیشتر مؤلفه‌های توجه پایدار بودند، اما بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در برخی پیامدها، از جمله توانش حرکتی واقعی، تعداد پاسخ‌های صحیح و خطاهای حذف، در مرحله پیگیری اثر قوی‌تری نشان داد.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بازی‌های رایانه‌ای حرکتی و بازخورد عصبی بر توانش حرکتی واقعی، توانش حرکتی ادراک‌شده و توجه پایدار کودکان دارای اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی انجام شد. یافته‌ها نشان دادند که الگوی تغییرات متغیرهای پژوهش در گروه‌های مورد مطالعه یکسان نبود و مداخلات بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی، در مقایسه با گروه کنترل (بجز پس‌آزمون توانش حرکتی ادراک‌شده) و نسبت به گروه بازخورد عصبی ساختگی (بجز پس‌آزمون خطای ارتکاب)، موجب بهبود معنادار پیامدهای حرکتی و توجهی شدند. اثرهای متقابل معنادار زمان و گروه در توانش حرکتی واقعی، توانش حرکتی ادراک‌شده، تعداد پاسخ‌های صحیح، خطاهای حذف، زمان پاسخ و خطاهای ارتکاب نشان دادند که تغییرات ایجادشده صرفاً ناشی از گذشت زمان، رشد طبیعی کودکان یا تکرار آزمون‌ها نبود، بلکه نوع مداخله در جهت و میزان تغییر عملکرد شرکت‌کنندگان نقش داشته است. همچنین، حفظ بخش مهمی از بهبودها در مرحله پیگیری یک‌ماهه بیانگر آن بود که آثار دو مداخله اصلی به تغییرات فوری و کوتاه‌مدت محدود نشده و در برخی متغیرها از ثبات نسبی برخوردار بوده‌اند.

نخستین یافته پژوهش نشان داد که هر دو مداخله بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی موجب افزایش توانش حرکتی واقعی کودکان دارای ADHD شد. در گروه بازخورد عصبی، میانگین توانش حرکتی واقعی در پس‌آزمون و پیگیری نسبت به پیش‌آزمون افزایش یافت و این گروه در هر دو مرحله عملکرد بهتری از گروه بازخورد عصبی ساختگی و کنترل نشان داد. بازی‌های رایانه‌ای حرکتی نیز در مقایسه با گروه کنترل به بهبود فوری و ماندگار توانش حرکتی واقعی منجر شدند. افزون بر این، تفاوت دو مداخله اصلی در مرحله پس‌آزمون معنادار نبود، اما در مرحله پیگیری، گروه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی بهبود بیشتری نشان داد. این نتیجه بیانگر آن است که هر دو مداخله می‌توانند بر عملکرد حرکتی اثر بگذارند، اما تمرین مستقیم، مکرر و فعال حرکات در بازی‌های رایانه‌ای حرکتی احتمالاً در بلندمدت مزیت بیشتری برای تثبیت مهارت‌های حرکتی فراهم می‌کند.

اثر بخشی بازی‌های رایانه‌ای حرکتی بر توانش حرکتی واقعی با ماهیت این مداخله قابل توضیح است. در این نوع بازی‌ها، کودک برای دستیابی به امتیاز، عبور از مراحل و دریافت بازخورد مثبت باید حرکات واقعی بدن را با دقت، سرعت و هماهنگی مناسب اجرا کند. تکرار فعالیت‌هایی مانند پریدن، دویدن درجا، حفظ تعادل، تغییر جهت، هدف‌گیری و هماهنگی اندام‌ها، فرصت تمرین سازمان‌یافته مهارت‌های حرکتی را فراهم می‌آورد. بازخورد فوری دیداری و شنیداری نیز به کودک کمک می‌کند خطاهای حرکتی خود را تشخیص داده و حرکت بعدی را اصلاح کند. این یافته با نتایج پژوهشی که اثر مثبت مداخلات حرکتی مبتنی بر Xbox Kinect بر مهارت‌های حرکتی درشت کودکان دارای تأخیر حرکتی

را نشان داد، همسو است (Rostamipour et al., 2019). همچنین، اثربخشی تمرین‌های رایانه‌ای حرکت‌محور بر حافظه کاری و کارکردهای شناختی کودکان با ADHD نشان می‌دهد که ترکیب فعالیت حرکتی و تکلیف شناختی می‌تواند فرایندهای برنامه‌ریزی، نظارت و کنترل عملکرد را تقویت کند (Jalili et al., 2019). بنابراین، بهبود توانش حرکتی واقعی را می‌توان حاصل تعامل میان تکرار حرکت، بازخورد فوری، افزایش انگیزش و درگیری هم‌زمان فرایندهای شناختی و حرکتی دانست.

بهبود توانش حرکتی واقعی در گروه بازخورد عصبی نیز می‌تواند ناشی از ارتقای تنظیم توجه، بازداری پاسخ و کنترل اجرایی باشد. اجرای صحیح مهارت‌های حرکتی تنها به قدرت جسمانی وابسته نیست، بلکه مستلزم حفظ تمرکز بر محرک، انتخاب پاسخ مناسب، کنترل حرکات اضافی، تنظیم توالی حرکت و اصلاح عملکرد بر اساس بازخورد است. کودکان با ADHD به دلیل نوسان توجه و تکانشگری ممکن است در تکالیف حرکتی، حتی در صورت برخورداری از ظرفیت جسمانی مناسب، عملکرد ضعیف‌تری داشته باشند. بازخورد عصبی با فراهم کردن امکان خودتنظیمی فعالیت مغزی می‌تواند ثبات توجه، کنترل شناختی و بازداری حرکتی را تقویت کند و از این طریق کیفیت اجرای تکالیف حرکتی را افزایش دهد. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که بازخورد عصبی در بهبود توجه پایدار، حافظه کاری و سایر کارکردهای اجرایی کودکان با ADHD مؤثر است (Sadeghi Ahouei et al., 2025; Zhong; Dasht Bozorgi et al., 2016; Heidari Nasab et al., 2016; et al., 2025). از آنجا که برنامه‌ریزی و کنترل حرکتی به کارکردهای اجرایی وابسته‌اند، بهبود تنظیم شناختی می‌تواند به صورت غیرمستقیم به ارتقای توانش حرکتی واقعی منجر شده باشد.

یافته دیگر پژوهش نشان داد که توانش حرکتی ادراک‌شده نیز تحت تأثیر مداخلات قرار گرفت، اما الگوی تغییر آن با توانش حرکتی واقعی کاملاً یکسان نبود. در مرحله پس‌آزمون، گروه بازخورد عصبی نسبت به گروه بازخورد عصبی ساختگی بهبود معناداری نشان داد، اما تفاوت آن با گروه کنترل معنادار نبود. همچنین، بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در پس‌آزمون نسبت به کنترل تفاوت معناداری ایجاد نکردند. باین‌حال، در مرحله پیگیری، هر دو مداخله اصلی در مقایسه با گروه کنترل موجب افزایش معنادار توانش حرکتی ادراک‌شده شدند. این الگو نشان می‌دهد که تغییر در ادراک کودک از توانش حرکتی ممکن است کندتر از تغییر در عملکرد عینی رخ دهد. کودک ابتدا باید به طور مکرر موفقیت خود را تجربه کند، عملکرد بهبودیافته را در موقعیت‌های مختلف مشاهده کند و بازخوردهای مثبت را درونی سازد تا ارزیابی او از توانایی‌هایش تغییر کند. تأخیر در بهبود توانش حرکتی ادراک‌شده در گروه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی را می‌توان بر اساس فرایند شکل‌گیری خودپنداره حرکتی تبیین کرد. مهارت حرکتی واقعی ممکن است طی جلسات تمرین به سرعت افزایش یابد، اما ادراک شایستگی از مجموعه‌ای از تجربه‌های گذشته، مقایسه‌های اجتماعی، بازخورد والدین و همسالان و انتظارات کودک تأثیر می‌پذیرد. بنابراین، تغییر آن به زمان بیشتری نیاز دارد. بازی‌های رایانه‌ای حرکتی با ایجاد محیطی نسبتاً ایمن و غیرتهدیدکننده، فرصت موفقیت تدریجی، دریافت امتیاز و مشاهده پیشرفت را فراهم می‌کنند. تکرار این تجربه‌ها ممکن است به تدریج ادراک توانش حرکتی کودک را تقویت کرده باشد. این تبیین با مطالعه‌ای که اثر تمرین‌های بازی‌محور و فعالیت‌های ورزشی ساختاریافته بر افزایش خودکنترلی، خودتنظیمی و مشارکت فعال کودکان با ADHD را نشان دادند، همسو است (Salleg-Cabarcas et al., 2024). افزون بر این، جذابیت محیط بازی و وجود پاداش‌های فوری می‌تواند انتظار موفقیت و انگیزش ادامه فعالیت را افزایش دهد؛ فرایندی که در شکل‌گیری تجربه مثبت از عملکرد نقش دارد (Huron, 2007).

بهبود ماندگار توانش حرکتی ادراک‌شده در گروه بازخورد عصبی نیز ممکن است نتیجه افزایش کنترل کودک بر رفتار و عملکرد خود باشد. بازخورد عصبی به کودک تجربه‌ای از توانایی تنظیم حالت ذهنی و تأثیرگذاری مستقیم بر رویدادهای محیط بازی ارائه می‌دهد. هنگامی که کودک درمی‌یابد با حفظ تمرکز می‌تواند حرکت تصویر، افزایش امتیاز یا ادامه بازی را کنترل کند، احساس تسلط و خودکارآمدی او تقویت می‌شود. در طول زمان، این تجربه ممکن است از حوزه شناختی به ارزیابی کلی‌تر کودک از توانایی‌های خود گسترش یابد. گزارش‌های پیشین درباره کاهش نشانه‌های بیش‌فعالی و کم توجهی پس از بازخورد عصبی نیز نشان می‌دهند که بهبود خودتنظیمی می‌تواند با افزایش احساس کنترل بر رفتار همراه باشد (Narimani et al., 2013; Seilsapour et al., 2015). باین‌حال، تفاوت‌نداشتن دو مداخله اصلی در توانش

حرکتی ادراک شده نشان می‌دهد که بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی ممکن است از مسیرهای متفاوت، اما با پیامد نهایی مشابه، ادراک توانش حرکتی را تقویت کنند.

بخش مهم دیگری از یافته‌ها به توجه پایدار مربوط بود. نتایج نشان داد که بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی موجب افزایش تعداد پاسخ‌های صحیح در آزمون عملکرد پیوسته شد. هر دو مداخله در پس‌آزمون و پیگیری نسبت به گروه کنترل عملکرد بهتری داشتند و گروه بازخورد عصبی ساختگی تغییر معناداری نشان نداد. همچنین، در مرحله پیگیری، گروه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی افزایش بیشتری در پاسخ‌های صحیح نسبت به گروه بازخورد عصبی داشت. افزایش پاسخ‌های صحیح بیانگر آن است که کودکان پس از مداخله توانسته‌اند برای مدت طولانی‌تری بر محرک‌های هدف تمرکز کنند و پاسخ مناسب را با دقت بیشتری ارائه دهند. اثربخشی بازخورد عصبی بر تعداد پاسخ‌های صحیح با شواهد پیشین همسو است. این مداخله بر اساس شرطی‌سازی فعالیت مغزی، الگوهای مرتبط با هوشیاری و تمرکز را تقویت کرده و فعالیت‌های مرتبط با حواس‌پرتی را کاهش می‌دهد (Sterman & Egner, 2006). مطالعات آزمایشی و مروری نیز نشان داده‌اند که بازخورد عصبی می‌تواند توجه، بازداری پاسخ و کارکردهای اجرایی کودکان با ADHD را بهبود بخشد (Cortese et al., 2016; Fauzan & Nazaruddin, 2012; Holtmann et al., 2014). نتایج مطالعه حاضر از این دیدگاه حمایت می‌کنند، زیرا گروه بازخورد عصبی نه تنها نسبت به کنترل، بلکه نسبت به گروه بازخورد عصبی ساختگی نیز در بیشتر شاخص‌های توجهی عملکرد بهتری داشت. این تفاوت اهمیت دارد، زیرا نشان می‌دهد آثار مشاهده شده را نمی‌توان صرفاً به حضور در جلسه، ارتباط با درمانگر، استفاده از رایانه یا انتظار دریافت درمان نسبت داد. چنین نتیجه‌ای با تأکید پژوهشگران بر ضرورت بررسی اختصاصی بودن بازخورد عصبی همخوان است (Brandeis, 2011; Heinrich et al., 2016).

تأثیر بازی‌های رایانه‌ای حرکتی بر افزایش پاسخ‌های صحیح نیز با پژوهش‌های پیشین همسو بود. یک کارآزمایی تصادفی نشان داده است که این بازی‌ها می‌تواند توجه کودکان با ADHD را بهبود دهد (Ji et al., 2023). بازی حرکتی کودک را ملزم می‌کند که به‌طور پیوسته محرک‌های دیداری و شنیداری را پایش کند، از میان محرک‌های متعدد نشانه هدف را تشخیص دهد و در زمان مناسب پاسخ حرکتی ارائه کند. این فرایند شباهت زیادی با مؤلفه‌های توجه پایدار و انتخابی دارد. علاوه بر این، فعالیت بدنی می‌تواند سطح انگیزتگی را در محدوده بهینه نگه دارد و از کاهش هوشیاری در تکالیف طولانی جلوگیری کند. یافته‌های مربوط به اثر بازی‌های رایانه‌ای بر توجه و کنترل اجرایی نیز نشان می‌دهند که تجربه بازی، در صورت هدفمند و ساختاریافته بودن، می‌تواند برخی فرایندهای شناختی را تقویت کند (Boot et al., 2008). تمرین توجه و توان بخشی شناختی رایانه‌ای نیز در کاهش نشانه‌های رفتاری و بهبود کارکردهای اجرایی کودکان مبتلا مؤثر گزارش شده است (Nejati & Derakhshan, 2024).

نتایج همچنین نشان داد که هر دو مداخله اصلی، خطاهای حذف یا عدم پاسخ‌دهی به محرک هدف را به‌طور معناداری کاهش دادند. این اثر در پس‌آزمون و پیگیری مشاهده شد و در گروه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی، کاهش خطاهای حذف در مرحله پیگیری به‌طور معناداری بیش از گروه بازخورد عصبی بود. خطای حذف یکی از شاخص‌های حساس ضعف توجه پایدار است و زمانی رخ می‌دهد که کودک، به دلیل حواس‌پرتی یا افت سطح هوشیاری، محرک هدف را تشخیص نمی‌دهد یا به آن پاسخ نمی‌دهد. کاهش این خطاها نشان می‌دهد که مداخلات توانسته‌اند استمرار توجه و آمادگی پاسخ‌دهی را بهبود بخشند. اثر مثبت بازخورد عصبی بر این شاخص با پژوهش‌هایی که بهبود توجه پایدار پس از این مداخله را گزارش کرده‌اند، همسو است (Dasht Bozorgi et al., 2016; Mohammadi & Hosseini, 2018). همچنین، یافته‌های فراتحلیلی جدید نشان می‌دهند که بازخورد عصبی بر مؤلفه‌های اجرایی مرتبط با نظارت، کنترل توجه و تنظیم پاسخ اثر مثبت دارد (Zhong et al., 2025).

کاهش بیشتر خطاهای حذف در گروه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی را می‌توان به درگیری هم‌زمان سیستم حرکتی و توجهی نسبت داد. در این بازی‌ها، از دست دادن محرک هدف معمولاً به توقف حرکت، کاهش امتیاز یا شکست در مرحله منجر می‌شود. پیامد فوری خطا باعث می‌شود

کودک سریع‌تر ارتباط میان تمرکز و موفقیت را بیاموزد. افزون بر این، تنوع محرک‌ها و تغییر مستمر تکالیف مانع از یکنواختی و افت توجه می‌شود. تمرین‌های حرکتی همراه با چالش شناختی ممکن است برای کودکانی که در تکالیف نشسته و یکنواخت دچار افت توجه می‌شوند، مناسب‌تر باشد. این نتیجه با اثربخشی فعالیت‌های بدنی و تمرین‌های حرکتی بر توجه دیداری و شنیداری کودکان دارای نشانه‌های بیش‌فعالی همخوان است (Mollazadeh et al., 2018). همچنین، مقایسه بازخورد عصبی، دارودرمانی و فعالیت جسمانی نشان داده است که فعالیت بدنی می‌تواند برخی جنبه‌های عملکرد عصب‌شناختی و شناختی کودکان دارای اختلال را بهبود دهد (Gelade et al., 2016).

یافته دیگر نشان داد که زمان پاسخ در دو گروه بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی به‌طور معناداری کاهش یافت و این تغییر در مرحله پیگیری نیز حفظ شد. کاهش زمان پاسخ، در صورتی که همراه با افزایش پاسخ‌های صحیح و کاهش خطاها باشد، نشانه بهبود سرعت پردازش و کارایی توجهی است، نه افزایش پاسخ‌دهی تکانشی. در مطالعه حاضر، کاهش زمان واکنش هم‌زمان با کاهش خطاهای حذف و ارتکاب مشاهده شد؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کودکان نه‌تنها سریع‌تر، بلکه دقیق‌تر پاسخ داده‌اند. در بازخورد عصبی، تقویت ثبات فعالیت مغزی و کاهش نوسان توجه می‌تواند زمان لازم برای تشخیص محرک و انتخاب پاسخ را کاهش دهد. در بازی‌های رایانه‌ای حرکتی نیز تمرین مکرر پاسخ سریع به محرک‌های متغیر، هماهنگی ادراک و حرکت و پیش‌بینی رویدادها می‌تواند سرعت پاسخ‌دهی را افزایش دهد. نتیجه مربوط به زمان پاسخ با مطالعاتی که تأثیر تمرین‌های رایانه‌ای بر سرعت پردازش، توجه و کنترل اجرایی را بررسی کرده‌اند، همسو است (Gray et al., 2019; Jalili et al., 2012). همچنین، بازی‌های رایانه‌ای معمولاً نیازمند پردازش سریع محرک، تصمیم‌گیری در زمان محدود و اصلاح پاسخ هستند و می‌توانند از طریق تمرین مداوم، کارایی پردازش را بهبود دهند (Boot et al., 2008). در حوزه بازخورد عصبی نیز کاربردهای این روش در شرایط مختلف عصبی و روان‌پزشکی نشان داده‌اند که خودتنظیمی عصبی می‌تواند به بهبود فرایندهای شناختی و رفتاری منجر شود (Melo et al., 2025). نتایج پژوهش‌های جدید درباره پروتکل‌های ترکیبی بازخورد عصبی نیز نشان می‌دهد که مداخله بر تنظیم توجه و انگیزتگی تأثیر دارد (Santamaría-Vázquez et al., 2025a). بنابراین، کاهش زمان پاسخ در مطالعه حاضر با چارچوب نظری هر دو مداخله سازگار است.

در مورد خطاهای ارتکاب یا پاسخ‌دهی به محرک غیرهدف، بازخورد عصبی در مقایسه با کنترل، در پس‌آزمون و پیگیری موجب کاهش معنادار خطاهای ارتکاب شد، اما تفاوت آن با بازخورد ساختگی تنها در پیگیری معنادار بود. بازی‌های رایانه‌ای حرکتی نیز در هر دو مرحله نسبت به کنترل کاهش معناداری ایجاد کردند. خطاهای ارتکاب معمولاً نشان‌دهنده ضعف در بازداری پاسخ و تکانشگری هستند. به نظر می‌رسد کسب کنترل بر پاسخ‌های خودکار و نامتناسب، در مقایسه با افزایش هوشیاری یا کاهش خطاهای حذف، ممکن است به تمرین طولانی‌تر و تثبیت بیشتر نیاز داشته باشد؛ موضوعی که می‌تواند معنادار شدن برخی تفاوت‌ها در مرحله پیگیری را توضیح دهد. بازخورد عصبی با تقویت تنظیم قشری و تمرین کنترل انگیزتگی می‌تواند توانایی توقف پاسخ نامناسب را افزایش دهد. این تبیین با نتایج مطالعاتی همسو است که تأثیر بازخورد عصبی را بر کاهش بیش‌فعالی، تکانشگری و کم توجهی گزارش کرده‌اند (Nemati & Alizadeh, 2017; Seilsapour et al., 2015). همچنین، مرور مطالعات بالینی نشان داده است که آثار بازخورد عصبی بر نشانه‌های رفتاری و عصب‌روان‌شناختی، در صورت اجرای پروتکل مناسب و تعداد جلسات کافی، می‌تواند در طول زمان تثبیت شود (Cortese et al., 2016). در بازی‌های رایانه‌ای حرکتی نیز کودک باید از پاسخ‌دادن زود هنگام یا حرکت نامتناسب اجتناب کند، منتظر نشانه مناسب بماند و پاسخ خود را با قواعد بازی هماهنگ سازد. چنین تمرینی می‌تواند بازداری رفتاری را تقویت کند. تأثیر تمرین‌های بازی‌محور ورزشی بر خودکنترلی و تنظیم کودکان با ADHD نیز از این تبیین حمایت می‌کند (Salleg-Cabarcas et al., 2024).

یکی از یافته‌های قابل توجه آن بود که در برخی پیامدها، به‌ویژه توانش حرکتی واقعی، تعداد پاسخ‌های صحیح و خطاهای حذف، بازی‌های رایانه‌ای حرکتی در مرحله پیگیری برتری بیشتری نسبت به بازخورد عصبی نشان دادند. این برتری ممکن است به اصل اختصاصی بودن تمرین مربوط باشد. بازی حرکتی به‌طور مستقیم مهارت‌های مورد سنجش، از جمله هماهنگی، تعادل، سرعت واکنش و پاسخ به محرک‌های دیداری

را تمرین می‌دهد؛ درحالی‌که بازخورد عصبی عمدتاً از طریق تنظیم فعالیت مغزی و بهبود کنترل شناختی بر عملکرد اثر می‌گذارد. همچنین، تجربه بازی ممکن است برای کودکان جذاب‌تر و با فعالیت‌های روزمره آنان هماهنگ‌تر باشد و در نتیجه، انگیزش و مشارکت بیشتری ایجاد کند. باین‌حال، این نتیجه نباید به معنای برتری مطلق بازی‌های حرکتی تلقی شود، زیرا بازخورد عصبی نیز در بیشتر پیامدها آثار فوری و ماندگار داشت و در توانش حرکتی ادراک‌شده تفاوتی میان دو مداخله اصلی مشاهده نشد.

در تفسیر نتایج مربوط به بازی‌های رایانه‌ای باید میان کاربرد درمانی ساختاریافته و استفاده افراطی یا کنترل‌نشده از بازی تمایز قائل شد. استفاده بیش از حد از بازی‌های ویدئویی می‌تواند با مشکلاتی مانند اعتیاد به بازی، اضطراب، افسردگی و شدت بیشتر نشانه‌های ADHD همراه باشد (Alrahlili et al., 2023). در پژوهش حاضر، بازی‌ها در جلسات محدود، تحت نظارت، با هدف درمانی و همراه با فعالیت بدنی اجرا شدند. بنابراین، آثار مثبت مشاهده‌شده را نمی‌توان به بازی رایانه‌ای به معنای عام تعمیم داد. اثربخشی چنین برنامه‌ای به انتخاب بازی مناسب، کنترل زمان، تناسب سطح دشواری با توانایی کودک و نظارت متخصص وابسته است. مطالعات توان‌بخشی رایانه‌ای نیز نشان داده‌اند که ساختار و هدف درمانی برنامه، نقش تعیین‌کننده‌ای در پیامدهای آن دارد (Nazerieh & Niknam, 2024; Nejati & Derakhshan, 2024).

در مجموع، یافته‌های پژوهش نشان دادند که بازخورد عصبی و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی دو مداخله غیردارویی مؤثر برای بهبود توجه پایدار و کنترل بازداری و همچنین توانش حرکتی واقعی و ادراک شده کودکان دارای اختلال کم توجهی/بیش‌فعالی هستند و بازی‌های رایانه‌ای حرکتی اثرات ماندگار بیشتری بر توانش حرکتی واقعی و توجه پایدار دارد. این نتایج با رویکردهای چندوجهی درمان سازگارند؛ رویکردهایی که اختلال را تنها مجموعه‌ای از نشانه‌های رفتاری نمی‌دانند، بلکه به نارسایی‌های شناختی، حرکتی و خودتنظیمی نیز توجه می‌کنند. اگرچه دارودرمانی همچنان یکی از درمان‌های مبتنی بر شواهد محسوب می‌شود (Bolea-Alamanac et al., 2014)، مداخلات غیردارویی می‌توانند در کودکانی که پاسخ ناکافی به دارو دارند، عوارض جانبی را تجربه می‌کنند یا به درمان‌های تکمیلی نیاز دارند، ارزشمند باشند. یافته‌های مطالعه حاضر همچنین بر اهمیت اندازه‌گیری چندبعدی پیامدها تأکید دارند؛ زیرا تغییرات توانش حرکتی واقعی و ادراک شده و مؤلفه‌های مختلف توجه پایدار کاملاً یکسان نبودند و هر مداخله ممکن است در برخی حوزه‌ها اثر قوی‌تری داشته باشد.

پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی همراه بود که باید در تفسیر و تعمیم نتایج مورد توجه قرار گیرند. نمونه پژوهش تنها از میان دانش‌آموزان پسر پایه‌های ابتدایی یک شهر انتخاب شد و از این‌رو، تعمیم یافته‌ها به دختران، نوجوانان، کودکان مناطق روستایی یا گروه‌های دارای شرایط اجتماعی و فرهنگی متفاوت باید با احتیاط انجام شود. حجم نمونه در هر گروه نسبتاً محدود بود و ممکن است قدرت شناسایی تفاوت‌های کوچک میان دو مداخله اصلی را کاهش داده باشد. دوره پیگیری نیز به یک ماه محدود شد و درباره پایداری آثار در بازه‌های طولانی‌تر نمی‌توان نتیجه‌گیری قطعی کرد. کنترل کامل مصرف دارو، فعالیت‌های بدنی خارج از جلسات، مدت استفاده روزانه از بازی‌های دیجیتال و میزان حمایت خانواده امکان‌پذیر نبود. همچنین، برخی پیامدها مانند توانش حرکتی ادراک‌شده مبتنی بر پاسخ کودک بودند و احتمال تأثیرپذیری از خلق لحظه‌ای، تمایل به پاسخ مطلوب یا درک متفاوت گویه‌ها وجود داشت. افزون بر این، اگرچه گروه بازخورد عصبی ساختگی برای کنترل عوامل غیراختصاصی در نظر گرفته شد، طرح پنهان یا کورسازی کامل درمانگر اجراکننده امکان‌پذیر نبود.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با نمونه‌های بزرگ‌تر و متنوع‌تر، شامل دختران و پسران، گروه‌های سنی مختلف و کودکان دارای زیرگونه‌ها و شدت‌های متفاوت اختلال انجام شوند. بررسی پیگیری‌های سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله برای تعیین دوام آثار مداخلات ضروری است. مقایسه بازی‌های رایانه‌ای حرکتی و بازخورد عصبی با دارودرمانی، تمرین بدنی معمول، توان‌بخشی شناختی و مداخلات ترکیبی می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری درباره اثربخشی نسبی و افزوده هر روش فراهم کند. پیشنهاد می‌شود متغیرهایی مانند عملکرد تحصیلی، مشارکت اجتماعی، خودکارآمدی، کیفیت زندگی و فعالیت بدنی نیز ارزیابی شوند. استفاده از شاخص‌های عینی عصبی و فیزیولوژیک، ثبت میزان پایداری، سنجش

انگیزش کودک و بررسی نقش واسطه ای تغییرات توجهی در بهبود عملکرد حرکتی می تواند سازوکار اثر مداخلات را روشن تر سازد. همچنین، پژوهش درباره تعداد بهینه جلسات، شدت تمرین، نوع بازی، ویژگی های بازخورد و عوامل پیش بینی کننده پاسخ درمانی توصیه می شود. بر اساس یافته های پژوهش، مراکز روان شناختی، توان بخشی و مدارس می توانند بازی های رایانه ای حرکتی و بازخورد عصبی را به عنوان اجزای مکمل برنامه های مداخله ای کودکان دارای اختلال کم توجهی/بیش فعالی در نظر بگیرند. انتخاب مداخله باید بر اساس نیاز اصلی کودک، امکانات مرکز، انگیزش، وضعیت جسمانی و اهداف درمانی انجام شود. برای کودکانی که مشکلات حرکتی، کم تحرکی یا اجتناب از فعالیت بدنی دارند، بازی های رایانه ای حرکتی می توانند گزینه ای جذاب و قابل اجرا باشند. بازخورد عصبی نیز می تواند برای کودکانی که مشکلات برجسته تری در توجه پایدار، خودتنظیمی و بازداری پاسخ دارند، به کار گرفته شود. اجرای هر دو مداخله باید تحت نظارت متخصص آموزش دیده، با زمان بندی مشخص، ارزیابی دوره ای پیشرفت و هماهنگی با والدین و معلمان انجام شود. لازم است استفاده درمانی از بازی های رایانه ای از بازی کردن تفریحی و بدون محدودیت جدا شود و مدت استفاده از نمایشگر، ایمنی محیط و تناسب دشواری فعالیت ها به دقت کنترل گردد.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: ایده پردازی، گردآوری داده ها و نگارش پیش نویس اصلی مقاله. سایر نویسندگان: هدایت و نظارت بر فرایند پژوهش، اصلاح و ارتقای روش شناسی و بازنگری انتقادی محتوای مقاله.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ گونه تضاد منافی وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

مراتب قدردانی صمیمانه از شرکت کننده ها و والدین آن ها و تمام کسانی که در انجام این پژوهش همکاری نمودند، همچنین تحلیلگر آماری آقای دکتر سید محی الدین بهاری، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ابراز می گردد.

Extended Abstract

Introduction

Attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) is one of the most prevalent neurodevelopmental disorders of childhood and is characterized by persistent patterns of inattention, hyperactivity, and impulsivity that interfere with academic achievement, social participation, behavioral regulation, and daily functioning. The diagnostic conceptualization of the disorder has evolved considerably, and contemporary perspectives regard it as a multidimensional condition involving cognitive, behavioral, emotional, and motor impairments rather than a narrowly defined behavioral problem (Adam & Young-Walker, 2014). Epidemiological evidence indicates that the disorder affects a substantial proportion of school-aged children across different societies, although estimates vary according to diagnostic criteria, informants, sampling methods, and assessment procedures (Polanczyk et al., 2014). Evidence from Iranian primary school populations has similarly demonstrated a notable prevalence of ADHD symptoms from the perspectives of parents and teachers, emphasizing the importance of early identification and effective school-age interventions (Arjmandi et al., 2015).

Children with ADHD frequently experience impairments in sustained attention, response inhibition, working memory, cognitive flexibility, planning, processing speed, and executive control. These deficits may reduce their ability to maintain focus over time, detect target stimuli, inhibit inappropriate responses, and organize goal-directed behavior. Neuropsychological assessment is therefore important not only for diagnosis but also for understanding how cognitive weaknesses influence academic, behavioral, and functional outcomes (Pritchard et al., 2012). Sustained attention is particularly relevant because it requires continuous monitoring of environmental stimuli and the consistent production of appropriate responses over an extended period. Impairment in sustained attention may be reflected in fewer correct responses, more omission errors, more

commission errors, and slower or more variable reaction times in continuous performance test (Ali et al., 2026; Arrondo et al., 2024; Rivella et al., 2025).

Motor difficulties are another clinically important but comparatively underexamined feature of ADHD. Children with this disorder may display weaknesses in postural control, balance, manual dexterity, visual-motor coordination, motor planning, and the regulation of movement. Their performance may be disrupted by distractibility, impulsive responding, poor sequencing, and insufficient monitoring of movement. Actual motor competence refers to objectively demonstrated proficiency in motor tasks, whereas perceived motor competence represents the child's subjective judgment of personal ability in physical and motor activities. These constructs are related but not identical. A child may demonstrate measurable motor limitations while overestimating ability, or may possess adequate skills but report low perceived competence. Perceived motor competence is important because it influences motivation, persistence, participation in physical activity, and willingness to engage in group play or sport (Fliers et al., 2010).

Pharmacological treatment, particularly stimulant medication, is widely used to reduce the core symptoms of ADHD and is supported by evidence-based clinical guidelines (Bolea-Alamanac et al., 2014). However, medication response varies across children, and concerns remain regarding side effects, treatment adherence, parental acceptance, and the maintenance of gains after treatment discontinuation. Comparative evidence suggests that both medication and neurofeedback can reduce symptoms, although they operate through different mechanisms and may differ in the speed and persistence of their effects (Mohammadi & Hosseini, 2018). Consequently, there has been growing interest in nonpharmacological interventions that directly target cognitive regulation, attention, motor coordination, and self-control.

Neurofeedback is a self-regulation intervention in which real-time information about brain activity is presented to the individual through visual or auditory signals. Through repeated reinforcement, the participant gradually learns to modify patterns of neural activity associated with attention, arousal, and behavioral control. The theoretical foundation of neurofeedback is closely related to operant conditioning and the reinforcement of desirable electrophysiological patterns (Sterman & Egner, 2006). In children with ADHD, neurofeedback protocols commonly aim to strengthen brain activity associated with alertness and attentional control while reducing activity associated with underarousal and distractibility. Reviews and meta-analyses have reported beneficial effects on inattention, hyperactivity, executive functions, and selected neuropsychological outcomes, while also emphasizing the need for active control conditions and rigorous assessment of treatment specificity (Cortese et al., 2016; Holtmann et al., 2014). Recent evidence further indicates that neurofeedback may improve executive functions in children with ADHD, although methodological heterogeneity remains an important consideration (Zhong et al., 2025).

Experimental studies have also shown that neurofeedback can improve sustained attention and working memory in children with ADHD (Dasht Bozorgi et al., 2016). The combination of neurofeedback and computerized cognitive exercises has similarly been associated with improved working memory and executive functions (Heidari Nasab et al., 2016). Nevertheless, some uncertainty remains concerning the degree to which observed gains are attributable to the specific regulation of neural activity rather than nonspecific factors such as therapist attention, treatment expectancy, repeated exposure to computer tasks, and motivational feedback (Brandeis, 2011; Heinrich et al., 2016). The inclusion of a sham neurofeedback group is therefore important for distinguishing specific neurophysiological effects from expectancy-related and contextual influences.

Interactive digital games or active video games, commonly known as exergames, represent another promising intervention. Unlike sedentary digital or video games, exergames require whole-body movement that is detected by motion sensors and translated into actions within a virtual environment. Children may be required to jump, run in place, reach, balance, strike targets, or coordinate upper- and lower-limb movements. These

games combine physical activity, cognitive challenge, immediate feedback, repetition, and progressive difficulty. Kinect-based motor interventions have been shown to improve gross motor skills in children with motor delay (Rostamipour et al., 2019). Movement-based computerized rehabilitation has also produced improvements in working memory among children with ADHD (Jalili et al., 2019). Randomized evidence indicates that exergaming can improve attention in children with the disorder (Ji et al., 2023), while structured sport-game exercise has been associated with enhanced self-control and behavioral regulation (Salleg-Cabarcas et al., 2024).

Although both neurofeedback and exergaming have demonstrated potential benefits, few studies have directly compared their effects on actual and perceived motor competence, and multiple indices of sustained attention within a single controlled design. Moreover, the persistence of intervention effects after treatment remains insufficiently examined. Accordingly, the present study investigated the immediate and one-month follow-up effects of exergames and neurofeedback on actual and perceived motor competence, and sustained attention in children with ADHD.

Methods and Materials

This applied research employed a randomized pretest-posttest-follow-up design. Participants were 52 male children aged 7–10 years ($M = 8.65$, $SD = 1.2$) diagnosed with ADHD, recruited from 26 primary schools (grades 1–4) in Qazvin, Iran. Sample size was determined using G*Power (version 3.1.9.7) for a 4×3 mixed ANOVA ($\alpha = .05$, power = .90, medium effect size $f = .25$). Following initial screening of 1,178 students using the Conners' Parent Rating Scale–Short Form, children who scored within the clinical range underwent a confirmatory psychiatric diagnostic interview. After this diagnostic confirmation and IQ assessment (Raven's Colored Progressive Matrices; IQ range: 80–129), eligible children were randomly assigned to four groups: exergames ($n = 14$), neurofeedback ($n = 14$), sham neurofeedback ($n = 12$), and control ($n = 12$).

Inclusion criteria comprised: elevated scores on the Conners' Parent Rating Scale–Short Form, clinical ADHD diagnosis by a psychiatrist, intelligence quotient between 80 and 129 (Raven's Colored Progressive Matrices), no severe physical restrictions affecting movement performance, and absence of comorbid psychiatric or neurodevelopmental disorders (e.g., severe oppositional defiant disorder, autism spectrum disorder, intellectual disability, major neurological disorders, or depression). Exclusion criteria included frequent session absences or concurrent participation in similar interventions. Written informed consent was obtained from all parents. Ethical approval was obtained from the Research Ethics Committee of Alzahra University (IR.ALZAHRA.REC.1400.057).

Actual motor competence was measured using the Movement Assessment Battery for Children, Second Edition (MABC-2). Perceived motor competence was assessed using physical competence subscale of Children's self-perception profile for children. Sustained attention was assessed using the Continuous Performance Test (CPT), including correct responses, omission errors, commission errors, and response time indices. All assessments were conducted in a standardized, quiet environment by trained examiners blind to group allocation.

Both active interventions and the sham intervention consisted of 30 sessions conducted three times per week, with each session lasting 45 minutes. The exergames group used the Shape Up game on an Xbox One console equipped with a Kinect motion sensor. Sessions included a short warm-up, approximately 35 minutes of structured game-based activities, and a cool-down period. Tasks involved jumping, balancing, running in place, striking, rapid directional changes, and coordinated upper- and lower-body movements with real-time audiovisual feedback. Difficulty was adjusted according to each child's level and progress.

The neurofeedback group received EEG-based training using the Smart Mind software (version 3). Children performed game-like cognitive tasks while receiving immediate visual and auditory feedback contingent on desirable brain activity. The training focused on strengthening attentional control, response inhibition, working

memory, and self-regulation. Electrode placement, signal quality, impedance, and movement artifacts were monitored throughout the sessions.

The sham neurofeedback group received the same equipment, session duration, therapist contact, and visual presentation as the active neurofeedback group. However, the feedback was not contingent on the child's real-time brain activity and was based on prerecorded or independently generated signals. The control group received no intervention and continued routine daily and educational activities. All groups were assessed at baseline (pretest), immediately post-intervention, and at 1-month follow-up.

Data were analyzed using descriptive statistics, preliminary analyses included Shapiro–Wilk for normality, Levene's test for homogeneity of variance, Box's test for covariance matrix equality, and Mauchly's test for sphericity, and 4 (group) $\times$ 3 (time) ANOVA with repeated measures of last factor. Where significant interaction effects were followed by Bonferroni-adjusted post hoc pairwise comparisons with bootstrapped 95% confidence intervals. Statistical significance was set at .05.

Findings

Descriptive trends revealed that both the neurofeedback (NF) and exergames (EX) groups exhibited progressive improvements in actual and perceived motor competence from pretest to posttest and follow-up, whereas the sham neurofeedback (SHAM) and control (CTRL) groups showed only negligible changes. Similarly, sustained attention indices — including correct responses, omission errors, response time, and commission errors — improved substantially in the two active intervention groups, with gains generally sustaining or increasing at follow-up. According to the results of 4*3 mixed ANOVA for actual motor competence, the main effects of time, $F_{(2, 96)}=142.50$, $p<.001$, $\eta^2_p=.74$, and group, $F_{(3, 48)}=5.39$, $p=.003$, $\eta^2_p=.25$, were significant. The time-by-group interaction was also significant, $F_{(6, 96)}=46.80$, $p<.001$, $\eta^2_p=.74$. At posttest, neurofeedback produced greater improvement than sham neurofeedback and control (all $p < .001$), while exergames produced greater improvement than control ($p < .001$). At follow-up, both active interventions remained superior to control (all $p < .001$), and exergames produced significantly greater improvement than neurofeedback ($p = .002$).

Perceived motor competence likewise yielded significant main effects for time, $F_{(2, 96)}=34.60$, $p<.001$, $\eta^2_p=.41$, and group, $F_{(3, 48)}=23.70$, $p<.001$, $\eta^2_p=.59$, as well as a significant interaction, $F_{(6, 96)}=10.50$, $p<.001$, $\eta^2_p=.39$. At posttest, neurofeedback was superior to sham neurofeedback ($p = .001$), whereas its difference from control was not significant ($p = .193$). Exergames were also not significantly different from control at posttest ($p = .180$). At follow-up, however, both neurofeedback and exergames were significantly superior to control ($p = .002$, $p = .001$, respectively), indicating delayed and sustained improvement in perceived motor competence. For the number of correct responses on the CPT, significant main effects were observed for time, $F_{(2, 96)}=69.30$, $p<.001$, $\eta^2_p=.59$, group, $F_{(3, 48)}=13.50$, $p<.001$, $\eta^2_p=.45$, and the time-by-group interaction, $F_{(6, 96)}=37.70$, $p<.001$, $\eta^2_p=.70$. Both active interventions increased correct responses relative to control at posttest and follow-up (all $p = .001$). At follow-up, exergames produced a significantly larger increase than neurofeedback ($p = .003$).

For omission errors, significant effects were found for time, $F_{(2, 96)}=105.40$, $p<.001$, $\eta^2_p=.68$, group, $F_{(3, 48)}=16.10$, $p<.001$, $\eta^2_p=.50$, and the interaction of time and group, $F_{(6, 96)}=31.50$, $p<.001$, $\eta^2_p=.66$. Both active interventions significantly reduced omission errors at posttest and follow-up compared with control (all $p = .001$). The reduction was greater in the exergame group, especially at follow-up ($p = .006$).

Response time also showed significant effects of time, $F_{(2, 96)}=145.40$, $p<.001$, $\eta^2_p=.75$, group, $F_{(3, 48)}=5.20$, $p=.003$, $\eta^2_p=.24$, and the time-by-group interaction, $F_{(6, 96)}=46.30$, $p<.001$, $\eta^2_p=.74$. Neurofeedback and exergames both significantly reduced response time relative to control at posttest and follow-up (all $p = .001$). The difference between the two active interventions was not significant at posttest and follow-up ($p = .302$, $p = .100$, respectively).

For commission errors, the main effect of time was not significant, $F_{(2, 96)}=2.93$, $p=.058$, $\eta^2_p=.05$. However, the group effect, $F_{(3, 48)}=6.61$, $p=.001$, $\eta^2_p=.29$, and the time-by-group interaction, $F_{(6, 96)}=5.14$, $p<.001$, $\eta^2_p=.24$, were significant. Both active interventions produced fewer commission errors than control at posttest and follow-up ($p<.05$). Neurofeedback differed significantly from sham neurofeedback only at follow-up ($p = .029$).

Discussion and Conclusion

The present study investigated the effects of neurofeedback and exergames on actual and perceived motor competence and sustained attention in children with ADHD. The findings demonstrated that both interventions improved actual motor competence and most components of sustained attention in children with ADHD. The significant interaction across all dependent variables indicated that improvements were associated with the interventions rather than with maturation, repeated testing, or the passage of time alone. Furthermore, the maintenance of gains at 1-month follow-up indicated that both interventions produced durable rather than merely transient effects.

Exergames produced particularly strong and persistent effects on actual motor competence. This pattern is understandable because the intervention directly required repeated execution of balance, coordination, speed, aiming, and whole-body movement tasks. Immediate feedback, progressive difficulty, and repeated successful performance likely supported motor learning and consolidation. The stronger follow-up performance of this group suggests that direct motor practice may produce durable changes when children remain actively engaged and receive continuous performance feedback (Jalili et al., 2019; Rostamipour et al., 2019). Neurofeedback also improved actual motor competence, despite not directly training motor skills. This effect may have occurred through improved attentional stability, inhibition, planning, and monitoring of behavior. Successful motor performance depends not only on physical ability but also on the capacity to focus on instructions, suppress irrelevant movements, sequence actions, and correct errors. Improved neural self-regulation may therefore have indirectly enhanced movement performance (Dasht Bozorgi et al., 2016; Heidari Nasab et al., 2016; Sadeghi Ahouei et al., 2025; Zhong et al., 2025).

Perceived motor competence changed more gradually than actual motor competence. At posttest, neither active intervention differed significantly from the control group, whereas at follow-up, both neurofeedback and exergames showed significant improvements relative to controls. This delayed pattern suggests that changes in self-perception of competence require repeated successful experiences, social comparison, and internalization of positive feedback over time, rather than emerging immediately with objective performance gains (Harter, 1982). The gradual nature of this change is consistent with the view that perceived competence develops through accumulation of successful task experiences and their integration into a stable self-evaluation (Huron, 2007; Salleg-Cabarcas et al., 2024).

Both interventions also improved sustained attention by increasing correct responses, reducing omission errors, shortening response time, and reducing inappropriate responses to nontarget stimuli. Neurofeedback may have strengthened attentional regulation by training children to maintain neural states associated with alertness and cognitive control (Brandeis, 2011; Cortese et al., 2016; Fauzan & Nazaruddin, 2012; Heinrich et al., 2016; Holtmann et al., 2014; Sterman & Egner, 2006). exergames may have improved attention through repeated demands for continuous monitoring, rapid stimulus detection, response selection, and motor adjustment. Physical engagement may also have helped maintain an optimal level of arousal and prevented the decline in vigilance often observed during monotonous tasks (Boot et al., 2008; Ji et al., 2023; Nejati & Derakhshan, 2024).

Notably, commission errors—reflecting response inhibition—showed a different pattern than omission errors. While omission errors decreased significantly in both active groups from posttest onward, reductions in commission errors were more gradual and reached significance relative to sham only at follow-up. This finding

suggests that improving inhibitory control may require more extended practice and consolidation compared to enhancing sustained vigilance (Nemati & Alizadeh, 2017; Seilsapour et al., 2015).

The superior follow-up effects of exergames on some outcomes may be related to the specificity of practice. This intervention directly combined visual attention, movement, timing, inhibition, and coordination. These demands closely resembled the processes assessed by the motor and sustained attention tasks (Gelade et al., 2016; Gray et al., 2012; Melo et al., 2025; Mollazadeh et al., 2018; Santamaría-Vázquez et al., 2025b). In contrast, neurofeedback affected performance through a more indirect self-regulatory pathway (Nemati & Alizadeh, 2017; Seilsapour et al., 2015). Nevertheless, the absence of significant differences between the active interventions for several outcomes indicates that both approaches can be clinically useful.

The sham neurofeedback group generally did not show the same degree of improvement as the active neurofeedback group. This pattern suggests that the effects of neurofeedback were not solely due to therapist contact, treatment expectancy, computer use, or participation in an attractive intervention. The significant differences between active and sham neurofeedback, particularly at follow-up, support the contribution of contingent brain-based feedback to sustained improvement.

It is important to distinguish between structured therapeutic exergaming and uncontrolled recreational video game use. In this study, exergames were administered in limited, supervised sessions with therapeutic goals and physical activity components; therefore, the positive effects observed should not be generalized to unrestricted gaming, which has been associated with adverse outcomes such as increased symptom severity and behavioral problems in some studies (Alrahili et al., 2023).

In conclusion, this study provides empirical support for the efficacy of both neurofeedback and exergaming as non-pharmacological interventions for improving actual and perceived motor competence, as well as sustained attention, in children with ADHD. While both interventions produced immediate and durable benefits across most outcomes, exergaming demonstrated superior long-term effects on actual motor performance, correct responses, and omission errors, suggesting that task-specific, repetitive motor engagement may confer greater consolidation advantages. These findings align with multidimensional approaches that target not only behavioral symptoms but also underlying cognitive, motor, and self-regulatory deficits. Given the heterogeneous profiles of children with ADHD, the choice between interventions should be individualized, considering the child's primary difficulties, motivational state, and physical capabilities. Future research with larger, more diverse samples and extended follow-up periods is warranted to further elucidate the mechanisms and long-term sustainability of these interventions. Clinically, integrating neurofeedback or exergaming into comprehensive treatment programs may offer valuable adjunctive options, particularly for children who show suboptimal responses to medication or require complementary therapeutic strategies.

References

- Adam, B., & Young-Walker, L. (2014). The Evolution of the ADHD Diagnosis and Its Implications for DSM-5. *Journal of Pediatrics and Congenital Disorders*, 1, 1-2.
- Akbaripour, R., Daneshfar, A., & Shojaei, M. (2017). Validation of the Movement Assessment Battery For Children- in the age band two in Tehran. *Empowering Exceptional Children*, 8(4), 121-127.
- Akbaripour, R., Daneshfar, A., & Shojaei, M. (2018). Reliability of the Movement Assessment Battery for Children- (MABC-2) in children aged 7-10 years in Tehran. *Rehab Med*, 7(4), 90-96.
- Ali, S., Karr, J. E., MacDonald, S. W. S., & Macoun, S. J. (2026). Intraindividual Variability in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: An Ex-Gaussian Approach. *Child Psychiatry & Human Development*, 57(2), 504-515. <https://doi.org/10.1007/s10578-024-01722-1>
- Alrahili, N., Alreefi, M., Alkhonain, I. M., Aldakhilallah, M., Alothaim, J. S., Alzahrani, A., Alshargi, A., & Baabbad, N. M. (2023). The Prevalence of Video Game Addiction and Its Relation to Anxiety, Depression, and Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) in Children and Adolescents in Saudi Arabia: A Cross-Sectional Study. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.42957>

- Arjmandi, S., Keykhaavandi, S., & Sayehmiri, K. (2015). Prevalence of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder among Elementary School Students from the Perspectives of Teachers and Parents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Principles of Mental Health*, 17(5).
- Arrondo, G., Mulraney, M., Iturmendi-Sabater, I., Musullulu, H., Gamba, L., Niculcea, T., Banaschewski, T., Simonoff, E., Döpfner, M., Hinshaw, S. P., Coghill, D., & Cortese, S. (2024). Systematic Review and Meta-Analysis: Clinical Utility of Continuous Performance Tests for the Identification of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 63(2), 154-171. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2023.03.011>
- Bolea-Alamanac, B., Nutt, D. J., Adamou, M., Asherson, P., Bazire, S., Coghill, D., Heal, D., Muller, U., Nash, J., Santosh, P., Sayal, K., Sonuga-Barke, E., & Young, S. J. (2014). Evidence-Based Guidelines for the Pharmacological Management of Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: Update on Recommendations from the British Association for Psychopharmacology. *Journal of Psychopharmacology*, 1-25.
- Boot, W. R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M., & Gratton, G. (2008). The Effects of Video Game Playing on Attention, Memory, and Executive Control. *Acta Psychologica*, 129(3), 387-398. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.09.005>
- Brandeis, D. (2011). Neurofeedback Training in ADHD: More News on Specificity. *Clinical Neurophysiology*, 122, 856-857. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.08.011>
- Cortese, S., Ferrin, M., Brandeis, D., Holtmann, M., Aggensteiner, P., & Daley, D. (2016). Neurofeedback for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Meta-Analysis of Clinical and Neuropsychological Outcomes from Randomized Controlled Trials. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 55(6), 444-455. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2016.03.007>
- Dasht Bozorgi, Z., Dadashpour, M., Amin al-Sharia, S., Ashouri, J., & Alizadeh, M. (2016). The Effect of Neurofeedback Training on Sustained Attention and Working Memory in Elementary School Boys with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Shafa Khatam*, 5(4).
- Fauzan, N., & Nazaruddin, M. (2012). Neurofeedback Training to Improve Neuronal Regulation in ADD: A Case Report. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 33, 399-402. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.01.060>
- Fliers, E. A., de Hoog, M. L., Franke, B., Faraone, S. V., Rommelse, N. N., Buitelaar, J. K., & Nijhuis-van der Sanden, M. W. (2010). Actual motor performance and self-perceived motor competence in children with attention-deficit hyperactivity disorder compared with healthy siblings and peers. *Journal of developmental & behavioral pediatrics*, 31(1), 35-40. <https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e3181c7227e>
- Fumeaux, P., Mercier, C., Roche, S., Iwaz, J., Bader, M., Stéphan, P., Ecochard, R., & Revol, O. (2016). Validation of the French Version of Conners' Parent Rating Scale Revised, Short Version: Factorial Structure and Reliability. *Canadian Journal of Psychiatry*, 61(4), 236-242. <https://doi.org/10.1177/0706743716635549>
- Gelade, K., Bink, M., Janssen, T. W., van Mourik, R., Maras, A., & Oosterlaan, J. (2016). An RCT into the Effects of Neurofeedback on Neurocognitive Functioning Compared to Stimulant Medication and Physical Activity in Children with ADHD. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 26(4), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00787-016-0902-x>
- Gray, S., Chaban, P., Martinussen, R., Goldberg, R., Gotlieb, H., Kronitz, R., & Tannock, R. (2012). Effects of a Computerized Working Memory Training Program on Working Memory, Attention, and Academics in Adolescents with Severe Learning Disabilities and Comorbid ADHD: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(12), 1277-1284. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2012.02592.x>
- Hamada, T., Seki, M., Nango, E., Shibata, T., Imai, S., & Miyata, T. (2025). Enhancing effects of exercise and neurofeedback: A systematic review and meta-analysis of computer game-based interventions for pediatric ADHD. *Psychiatry research*, 348, 116447. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2025.116447>
- Heidari Nasab, L., Madani, A. S., Yaghoubi, H., Rostami, R., & Kazemi, R. (2016). Effectiveness of Neurofeedback Combined with Computerized Cognitive Exercises in Improving Working Memory in Adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Lorestan University of Medical Sciences*, 18(1).
- Heinrich, H., Strehl, U., Arns, M., Rothenberger, A., & Ros, T. (2016). *Neurofeedback in ADHD*. Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/978-2-88919-722-4>
- Holtmann, M., Sonuga-Barke, E., Cortese, S., & Brandeis, D. (2014). Neurofeedback for ADHD: A Review of Current Evidence. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 23(4), 789-806. <https://doi.org/10.1016/j.chc.2014.05.006>
- Huron, D. (2007). *Sweet Anticipation: Music and the Psychology of Expectation*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6575.001.0001>
- Jalili, F., Nejati, V., Asadi, H., & Katanforoush, S. A. (2019). Effectiveness of Movement-Based Computerized Cognitive Rehabilitation in Improving Working Memory in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Medical Sciences Journal of Islamic Azad University*, 29(2).

- Ji, H., Wu, S., Won, J., Weng, S., Lee, S., Seo, S., & Park, J. J. (2023). The effects of exergaming on attention in children with attention deficit/hyperactivity disorder: randomized controlled trial. *JMIR serious games*, 11(1), e40438. <https://doi.org/10.2196/40438>
- Lotfinia, S., Shahkaram, H., Yaseri, A., Kianimoghadam, A. S., & Sarani Yaztappeh, J. (2025). A clinical trial comparing the efficacy of two EEG-based neurofeedback protocols for generalized anxiety disorder: Sensory motor rhythm and alpha-theta. *Iranian journal of psychiatry and behavioral sciences*, 19(2), e158451. <https://doi.org/10.5812/ijpbs-158451>
- Melo, D. N., Mendonça, A. L. M., Santos, F. C., Coelho, F. R., Teixeira, G. M., & Júnior, V. A. R. (2025). Biofeedback and Neurofeedback in the Clinical Setting: A Review of Their Application and Efficacy in Neurological and Psychiatric Conditions. *International Health Sciences Review*, 1(4), 21-35. <https://doi.org/10.70164/ihsr.v1i4.39>
- Mohammadi, S. Y., & Hosseini, M. (2018). Comparison of the Effectiveness of Neurofeedback Therapy and Pharmacotherapy in Treating Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder in Children in Isfahan. *Neuropsychology*, 12(1).
- Mollazadeh, M., Gharayagh Zandi, H., & Rostamizadeh, M. J. (2018). Effectiveness of Yoga Training on Visual and Auditory Attention in Children with Hyperactivity Symptoms. *Razi Journal of Medical Sciences*, 25(8).
- Narimani, M., Rajabi, S., & Delavar, S. (2013). The Effect of Neurofeedback Training on Reducing Hyperactivity and Attention-Deficit Symptoms in Female University Students. *Journal of Arak University of Medical Sciences*(2).
- Nazerieh, N., & Niknam, M. (2024). The Effectiveness of Computer Games Rehabilitation and Cognitive Play Therapy Rehabilitation on the Risk-Taking of Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *International Journal of Applied Behavioral Sciences*, 11(2), 1-7. <https://doi.org/10.61838/kman.jarac.7.1.17>
- Nejati, V., & Derakhshan, Z. (2024). Attention training improves executive functions and ameliorates behavioral symptoms in children with attention-deficit hyperactivity disorder: Implication of tele-cognitive-rehabilitation in the era of coronavirus disease. *Games for Health Journal*, 13(1). <https://doi.org/10.1089/g4h.2023.0002>
- Nemati, S., & Alizadeh, H. (2017). Examining the Effectiveness of Neurofeedback in Treating Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Review Study. *Psychology of Exceptional Individuals*, 7(28).
- Polanczyk, G. V., Willcutt, E. G., Salum, G. A., Kieling, C., & Rohde, L. A. (2014). ADHD Prevalence Estimates across Three Decades: An Updated Systematic Review and Meta-Regression Analysis. *International Journal of Epidemiology*, 43(2), 434-442. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt261>
- Pritchard, A. E., Nigro, C. A., Jacobson, L. A., & Mahone, E. M. (2012). The Role of Neuropsychological Assessment in the Functional Outcomes of Children with ADHD. *Neuropsychology Review*, 22(1), 54-68. <https://doi.org/10.1007/s11065-011-9185-7>
- Rabiee, A., Vasaghi-Gharamaleki, B., Samadi, S. A., Amiri-Shavaki, Y., & Alaghband-Rad, J. (2020). Working Memory Deficits and its Relationship to Autism Spectrum Disorders. *Iranian Journal of Medical Sciences*, 45(2), 100-109. <https://doi.org/10.30476/IJMS.2019.45315>
- Rajabi, G. (2009). Normalizing the Raven Coloured Progressive Matrices Test on students of the city of Ahvaz. *Contemporary Psychology*, 3, 23-33.
- Rivella, C., Viterbori, P., & Usai, M. C. (2025). Sustained attention and inhibitory control: age and sex related difference in children and adolescents using a CPT with distracting events. *Frontiers in Psychology*, 16, 1609537. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1609537>
- Rostampour, M., Zareian, E., & Aslankhani, M. A. (2019). The Effect of Computerized Motor Interventions Using Xbox Kinect on Gross Motor Skills in Children with Motor Delay: Emphasis on Modern Exercises. *Motor and Behavioral Sciences*, 2(1).
- Sadeghi Ahouei, J., Haji Mousaei, M., & Banisi, V. (2025). The Effect of Neurofeedback on Improving Executive and Academic Functions in Children and Adolescents with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder and Learning Disabilities: A Review Study. *Mental Health in School*, 3(1), 21-27.
- Salleg-Cabarcas, M. J., Robledo-Castro, C., & Monsalve-Vertel, C. P. (2024). Effect of Hit-Sport-Game Exercise Training on Self-Control and Regulation in Children With Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *Global Pediatric Health*, 11, 2333794X241287095. <https://doi.org/10.1177/2333794X241287095>
- Santamaría-Vázquez, E., Estudillo-Guerra, A., Ali, L., Martinez, D., Hornero, R., & Morales-Quezada, L. (2025a). Effects of a novel non-pharmacological intervention based on respiratory biofeedback, neurofeedback and median nerve stimulation to treat children with ADHD. *Frontiers in human neuroscience*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1478501>
- Santamaría-Vázquez, E., Estudillo-Guerra, A., Ali, L., Martinez, D., Hornero, R., & Morales-Quezada, L. (2025b). Effects of a novel non-pharmacological intervention based on respiratory biofeedback, neurofeedback and median nerve stimulation to treat children with ADHD. *Frontiers in Human Neuroscience*, 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1478501>

- Seilsapour, M., Hamounpeyma, E., & Pirkhaefi, A. (2015). Effectiveness of Neurofeedback Therapy in Reducing Hyperactivity and Attention-Deficit Symptoms among Elementary School Students in Varamin in 2014. *Student Research Committee, Mashhad University of Medical Sciences*, 18(60).
- Sterman, M. B., & Egner, T. (2006). Foundation and Practice of Neurofeedback for the Treatment of Epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31(1), 21-35. <https://doi.org/10.1007/s10484-006-9002-x>
- Stevenson, J., Buitelaar, J., Cortese, S., Ferrin, M., Konofal, E., Lecendreux, M., & Sonuga-Barke, E. (2014). Research Review: The Role of Diet in the Treatment of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder—An Appraisal of the Evidence on Efficacy and Recommendations on the Design of Future Studies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55(5), 416-427. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12215>
- Yu, C. L., Cheng, M. Y., An, X., Chueh, T. Y., Wu, J. H., Wang, K. P., & Hung, T. M. (2025). The Effect of EEG Neurofeedback Training on Sport Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 35(5), e70055. <https://doi.org/10.1111/sms.70055>
- Zhong, X., Yuan, X., & Dai, Y. (2025). Neurofeedback training for executive function in ADHD children: A systematic review and meta-analysis. *Scientific reports*, 15, 28148. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94242-4>