

Increased Cognitive Interference in a Stroop-like Big-small Task Among Children with Developmental Coordination Disorder: Implications for Prediction and Early Identification

Saeed Gholami 

Ph.D. Candidate in Cognitive Psychology, Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: sa.gholami@mail.um.ac.ir

Ali Ghanaee Chaman-Abad 

Associate Professor, Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (Corresponding Author), Email: ghanaee@um.ac.ir

Ali Mashhadi 

Professor, Department of Psychology, Faculty of Education and Psychology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: mashhadi@um.ac.ir

Dido Green

Professor, Department of Rehabilitation, Jönköping University, Jönköping, Sweden. Email: Dido.Green@ju.se

Extended Abstract

Introduction

Developmental Coordination Disorder (DCD) is a prevalent neurodevelopmental disorder of childhood, with prevalence estimates of 5–6% (Bieber et al., 2023). Beyond impairments in learning and executing motor skills (Cardillo et al., 2025), DCD can be associated with deficits in executive functions, attention, cognitive inhibition, and information processing (Altman et al., 2025). Inhibitory control is defined as the ability to suppress a dominant, automatic, or inappropriate response or cognitive process. It is considered a fundamental component of executive functions (Ikeda et al., 2014). Despite numerous reports indicating inhibitory deficits in children with DCD (Joshi et al., 2022), findings from previous studies are not entirely consistent (Koch et al., 2018). One potential explanation for this discrepancy may be the overreliance on a single metric, such as reaction time or error count, while disregarding the speed–accuracy trade-off. The Inverse Efficiency Score (IES) enables concurrent evaluation of speed and accuracy by integrating reaction time and error rates (Baek et al., 2023; Statsenko et al., 2020). Furthermore, Receiver Operating Characteristic (ROC) curve analysis and the Area Under the Curve (AUC) can determine the discriminative power of performance metrics in distinguishing children with DCD from typically developing children (Çorbacıoğlu & Aksel, 2023). To date, no study has simultaneously used IES and ROC analysis to examine interference control in children with DCD. The present study had two objectives: first, to compare the performance of children with DCD and typically developing children on the Stroop-like big–small task, and second, to evaluate the discriminative power of reaction time, error count, and IES using ROC analysis.

Method

A total of 1,693 children aged 7–10 years in Babolsar participated in a three-stage screening



process. The screening incorporated the Developmental Coordination Disorder Questionnaire-07 (DCD07), the Movement Assessment Battery for Children–Second Edition (MABC-2), DSM-5 criteria, and the Strengths and Difficulties Questionnaire. Children exhibiting indications of ADHD or ASD were excluded, as were two children with DCD who demonstrated a response accuracy of less than 25%. The final sample comprised 22 right-handed children diagnosed with DCD (11 girls and 11 boys; mean age 8.76 years) and 26 right-handed children categorized as having typical development (10 girls and 16 boys; mean age 8.69 years). Participants performed the Stroop-like big–small task under congruent and incongruent conditions (each comprising 40 stimuli), and their reaction times and response accuracy were recorded. The IES index and the IES interference cost were calculated. Group comparisons were conducted using independent t-tests, or Welch's t-tests in cases of unequal variances. Furthermore, to assess the discriminative capability of the indices, an ROC analysis was conducted, incorporating the AUC, determination of the optimal cut-off point, sensitivity, specificity, and the Youden index.

Findings

In comparison with typically developing children, children with DCD demonstrated prolonged reaction times and a higher number of errors in the congruent condition. These differences were statistically significant ($p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively). In the incongruent condition, the DCD group also exhibited prolonged reaction times ($p < 0.01$) and committed a greater number of errors ($p < 0.001$). The IES values in both congruent and incongruent conditions were significantly higher in the DCD group than in the typically developing group (both $p < 0.001$). Additionally, the IES interference cost was higher in children with DCD ($p < 0.01$). ROC analysis revealed that IES in the incongruent condition—with an AUC of 0.904 (95% CI: 0.817–0.991)—had the greatest discriminative power among the indices examined. The optimal cutoff point was determined to be 1.123, yielding a sensitivity of 95.5%, a specificity of 76.9%, and a Youden index of 0.724. Furthermore, several indices exhibited discriminative power exceeding 0.7: congruent reaction time (AUC = 0.766), congruent error count (AUC = 0.719), congruent IES (AUC = 0.804), incongruent reaction time (AUC = 0.802), incongruent error count (AUC = 0.879), and IES interference cost (AUC = 0.799). Among the indices with an AUC greater than 0.8, incongruent IES, incongruent error count, congruent IES, and incongruent reaction time demonstrated favorable performance.

Discussion

The findings indicated that children with DCD exhibited prolonged response times and an increased number of errors in both congruent and incongruent conditions, aligning with previous evidence regarding deficits in inhibition and executive attention in this population (He et al., 2018; Wilson et al., 2020). This pattern may be indicative of reduced inhibitory efficiency, slower processing, or difficulty suppressing dominant responses. However, determining the independent contribution of these processes requires further research. Furthermore, the inverse efficiency score was higher in the DCD group, particularly in the

incongruent condition. This finding suggests that the integration of speed and accuracy provides a more nuanced assessment of performance disparities between the two groups. This finding aligns with evidence regarding reduced neural efficiency and the recruitment of compensatory resources in DCD (Subara-Zukic et al., 2022), as well as increased mental effort required to manage interference (Grund et al., 2024). ROC analysis revealed that the IES in the incongruent condition offered the best discriminative power among the examined indices, consistent with evidence regarding the utility of performance-based metrics in distinguishing clinical groups (Çorbacıoğlu & Aksel, 2023). However, the limited sample size and uncertainty of the estimates preclude the use of IES as a substitute for standard DCD diagnostic tools. Its cutoff point requires validation in larger, independent samples. In general, children with DCD exhibited poorer performance in terms of speed, accuracy, and cognitive inhibitory processing efficiency. Due to the restricted sample size, the modest number of trials, and the fixed presentation order (where congruent conditions precede incongruent ones), the findings should be generalized with caution. Future studies employing larger samples, balanced condition orders, a more diverse array of tasks, and neuroimaging methods could further investigate these findings and their underlying cognitive and neural mechanisms.

Keywords: Developmental coordination disorder, Cognitive inhibition, Inverse efficiency score, ROC analysis, Stroop-like big-small task.



افزایش تداخل شناختی در تکلیف شبه استروپ بزرگ-کوچک در میان کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی: پیامدی برای پیش‌بینی و شناسایی زودهنگام

سعید غلامی ^{ID}

دانشجوی دکتری روانشناسی شناختی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. sa.gholami@mail.um.ac.ir

علی غنایی چمن آباد ^{ID}

دانشیار، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. (نویسنده مسئول)، ghanaee@um.ac.ir

علی مشهدی ^{ID}

استاد، گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. mashhadi@um.ac.ir

دایدو گرین

استاد، دانشکده توانبخشی، دانشگاه یونکوپینگ، یونکوپینگ، سوئد. Dido.Green@ju.se

چکیده

هدف: اختلال هماهنگی تحولی حدود ۵ تا ۶ درصد از کودکان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و پیامدهایی فراتر از نقص در مهارت‌های حرکتی، از جمله نقص در کنترل مهارتی، به همراه دارد. یافته‌های متناقضی در مطالعات مربوط به مبادله سرعت-دقت، در این کودکان گزارش شده است.

روش: در این مطالعه از نمره کارایی معکوس که زمان واکنش و تعداد خطاها را با هم ترکیب می‌کند و نیز تحلیل منحنی ویژگی عملیاتی گیرنده که دقت تشخیصی را به صورت کمی اندازه‌گیری می‌نماید برای ۲۲ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی و ۲۶ کودک دارای رشد بهنجار در رده سنی ۷ تا ۱۰ سال، طی یک تکلیف شبه‌استروپ بزرگ-کوچک استفاده شد و توانایی تمایز این شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: کودکان مبتلا به اختلال در هر دو شرایط همخوان و ناهمخوان، زمان پاسخ طولانی‌تر و خطاهای بیشتری داشتند و همچنین هزینه تداخل و شاخص امتیاز کارایی معکوس در هر دو شرایط در گروه دارای اختلال بالاتر بود. تحلیل منحنی ویژگی عملیاتی گیرنده نشان داد که شاخص امتیاز کارایی معکوس ناهمخوان بالاترین دقت تشخیصی را دارد. همچنین زمان پاسخ در شرایط ناهمخوان، تعداد خطاهای ناهمخوان و شاخص امتیاز کارایی معکوس همخوان نیز مقادیر سطح زیر منحنی بالای ۰/۸۰ را نشان دادند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان دادند که کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی در مقایسه با کودکان دارای رشد بهنجار، عملکرد ضعیف‌تری در تکلیف مرتبط با کنترل بازداری نشان دادند. شاخص نمره کارایی معکوس در شرایط ناهمخوان، بالاترین توان

تمایز را در میان شاخص‌های بررسی‌شده نشان داد و می‌تواند به عنوان یک شاخص امیدوارکننده برای بررسی‌های بیشتر و مطالعات اعتبارسنجی آینده مطرح شود. این یافته‌ها بر اهمیت ارزیابی کارکردهای اجرایی در کودکان دارای اختلال هماهنگی تحولی تأکید می‌کنند، هرچند تأیید کاربرد بالینی این شاخص مستلزم مطالعات با حجم نمونه بزرگ‌تر و نمونه‌های مستقل است.

واژه‌های کلیدی: اختلال هماهنگی تحولی، بازداری شناختی، امتیاز کارایی معکوس، تحلیل ROC، تکلیف شبه‌استروپ بزرگ-کوچک

مقدمه

اختلال هماهنگی تحولی^۱ یکی از بالاترین نرخ‌های شیوع را در میان اختلالات عصبی-تحولی دوران کودکی دارد، به‌طوری که برآوردها آن را بین ۵ تا ۶ درصد گزارش می‌کنند (Bieber et al., 2023). این اختلال عصبی-تحولی مزمن و فراگیر، در درجه اول بر یادگیری و اجرای مهارت‌های حرکتی چابکی دست، کنترل اشیاء و مهارت‌های حرکتی درشت (کار با اشیاء) و مهارت‌های جابه‌جایی^۲ و تعادل در کودکان - نسبت به انتظارات متناسب با سن - تأثیر می‌گذارد (Cardillo et al., 2025). با این حال، تأثیرات آن فراتر از حوزه حرکتی است و کارکردهای اجرایی و توانایی‌های شناختی (Altman et al., 2025)، عملکردهای حسی-ادراکی (Subara-Zukic et al., 2022)، هماهنگی ریتمیک و ادراک اکولوژیک (Goetschalckx et al., 2024) و همچنین تصویرسازی حرکتی، مشاهده عمل، تقلید و تولید ژست (Scott et al., 2023) را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

یکی از ویژگی‌های اساسی سیستم شناختی انسان، توانایی توجه به محرک‌های مرتبط با هدف و همزمان نادیده گرفتن عوامل حواس‌پرتی محیطی است. تداخل شناختی زمانی رخ می‌دهد که پردازش یک بُعد از محرک، پردازش همزمان بُعد دیگر آن را مختل کند (Bush et al., 2006). آزمون استروپ که در ابتدا برای ارزیابی کنترل تداخل و بازداری هدفمند طراحی شده بود، به ابزاری کلیدی در بررسی اختلالات شناختی تبدیل شده است. این آزمون از شرکت‌کنندگان می‌خواهد رنگ جوهر کلمات رنگی ناهمخوان^۳ را نام ببرند و بدین ترتیب نقص در کنترل توجه و بازداری را آشکار می‌سازد (Lu et al., 2025).

کنترل بازداری عبارت است از توانایی سرکوب پردازش شناختی رقیب، غالب، خودکار یا پیش‌رونده در مراحل ادراکی، میانی و برون‌داد (Ikeda et al., 2014). این سازه نقش محوری در کارکردهای اجرایی ایفا می‌کند و نقص در آن، اغلب در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی در مقایسه با همتایان با رشد

1- Developmental coordination Disorder

2- Locomotor

3- Incongruent

بهنجار گزارش شده است (Tajari et al., 2023). تکالیف شبه استروپ انواع مختلفی از آزمون استروپ اصلی هستند که اثرات تداخلی مشابهی را نشان می‌دهند اما از محرک‌های متفاوتی استفاده می‌کنند؛ از جمله تکلیف شبه استروپ روز-شب، و تکلیف شبه استروپ بله-خیر. اگرچه محرک‌های خاص این تکالیف متفاوت هستند، اما اصل اساسی - ایجاد تضاد بین ویژگی‌های محرک - بدون تغییر باقی می‌ماند. در این تحقیق از تکلیف شبه استروپ کوچک و بزرگ استفاده شده است که بار حافظه کاری کمتری را به همراه دارد (Ikeda et al., 2014).

با وجود شواهد متعدد مبنی بر نقص کنترل مهارتی در اختلال هماهنگی تحولی (Joshi et al., 2022)، یافته‌های مطالعات پیشین ناهماهنگ است (Koch et al., 2018). بخشی از این ناهماهنگی ممکن است ناشی از اتکا به معیارهای خام مانند زمان پاسخ و نرخ خطا، بدون توجه به مبادله سرعت و دقت باشد. این مسئله به‌ویژه در کودکان دارای اختلال که کندی حرکتی و تغییرپذیری بالایی دارند (Subara-Zukic et al., 2022)، حائز اهمیت است. پژوهشگران برای رفع این مشکل، سرعت و دقت را در یک متغیر وابسته واحد به نام امتیاز کارایی معکوس^۱ ترکیب می‌کنند. این متغیر از میانگین زمان پاسخ و نرخ خطا مشتق می‌شود. هنگامی که بین سرعت و دقت رابطه بده‌بستان وجود داشته باشد، شاخص IES تفاوت در درصد پاسخ‌های نادرست را جبران می‌کند (Baek et al., 2023; Statsenko et al., 2020).

تاکنون هیچ مطالعه‌ای از شاخص IES و تحلیل منحنی ویژگی عملیاتی گیرنده ROC^۲ برای ارزیابی کنترل تداخل در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی استفاده نکرده است. تحلیل ROC با محاسبه سطح زیر منحنی مشخص می‌کند که هر شاخص تا چه اندازه قادر به تفکیک دقیق کودکان دارای اختلال از هم‌تایان با رشد بهنجار است. این روش ابزاری قدرتمند برای ارزیابی عملکرد تشخیصی آزمون‌های شاخص^۳ به شمار می‌رود؛ آزمون‌هایی که برای تشخیص یک بیماری یا وضعیت خاص به کار می‌روند. مقدار AUC معیاری خلاصه‌شده از منحنی ROC است که توانایی آزمون را در تمایز بین افراد بهنجار و افراد دارای اختلال نشان می‌دهد. مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱/۰ متغیر است؛ مقدار ۰/۵ بیانگر آن است که آزمون در تمایز بین افراد بیمار و غیربیمار چیزی فراتر از شانس ارائه نمی‌دهد، در حالی که مقدار ۱/۰ نشان‌دهنده تمایز کامل است. مقادیر AUC بالای ۰/۸۰ معمولاً از نظر بالینی مفید تلقی می‌شوند، اما مقادیر زیر ۰/۸۰ کاربرد بالینی محدودی دارند (Çorbacıoğlu & Aksel, 2023).

1- Inverse Efficiency Score

2- Receiver Operating Characteristic

3- index tests

با توجه به شکاف‌های روش‌شناختی اشاره‌شده، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تداخل شناختی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی با استفاده از تکلیف شبه استروپ بزرگ-کوچک و به‌کارگیری همزمان شاخص‌های امتیاز کارایی معکوس و تحلیل ROC انجام شد. هدف این پژوهش، مقایسه توان تمایز شاخص‌های مختلف عملکردی و بررسی ارزش افزوده امتیاز کارایی معکوس به‌عنوان یک نشانگر عینی از بازداری شناختی در کنار ارزیابی‌های متداول DCD بود. با توجه به محدودیت ابزارهای موجود در شناسایی اختلال هماهنگی تحولی و تأکید راهنماهای بین‌المللی بر اینکه هیچ ابزار منفردی برای غربالگری یا تشخیص این اختلال کفایت نمی‌کند (Blank et al., 2019). انتظار می‌رود یافته‌های این پژوهش، شواهد اولیه‌ای درباره قابلیت این شاخص به‌عنوان یک نشانگر عملکردی مکمل در فرایند ارزیابی بالینی فراهم کند، نه اینکه جایگزین ابزارهای تشخیصی موجود شود.

روش پژوهش

تأییدیه اخلاقی

تمام آزمایش‌ها توسط کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأیید شده و از اصول اخلاقی و هنجارها و استانداردهای ملی برای انجام تحقیقات پزشکی در ایران پیروی کرده‌اند. شناسه تأیید IR.UM.REC.1402.196 است.

شرکت‌کنندگان

در مجموع، ۱۶۹۳ کودک (۷ تا ۱۰ سال؛ ۸۶۰ پسر، ۸۳۳ دختر) از شهر بابل‌سر با استفاده از روش غربالگری سه‌مرحله‌ای انتخاب شدند. تمام این کودکان پیشتر ارزیابی‌های استاندارد آمادگی تحصیلی و شناختی ($WPPSI > 70$) را گذرانده بودند. در مرحله اول، والدین پرسشنامه غربالگری اختلال هماهنگی تحولی^۱ (DCDQ-07) را تکمیل کردند که بر اساس آن ۷۷ کودک با نمره پایین‌تر از حد آستانه سنی شناسایی شدند. این کودکان در مرحله بعد با مجموعه آزمون‌های حرکتی برای کودکان - نسخه دوم^۲ (MABC-2) ارزیابی شدند. از میان آنها، ۳۲ کودک که نمره آن‌ها زیر صدک شانزدهم بود و معیارهای تشخیصی DSM-5 را نیز داشتند انتخاب شدند و با معلمان و یا والدین آنها مصاحبه گردید و در نهایت به عنوان در معرض خطر اختلال هماهنگی تحولی طبقه‌بندی شده و برای انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی دعوت شدند.

1- Developmental Coordination Disorder Questionnaire-07

2- Movement Assessment Battery for Children - Second Edition

سپس والدین این گروه، پرسشنامه نقاط قوت و مشکلات^۱ (SDQ) را تکمیل کردند. در این مرحله، ۸ کودک که نشانه‌هایی از اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی (ADHD) یا اختلال طیف اوتیسم (ASD) داشتند، از مطالعه حذف شدند. گروه کودکان با تحول بهنجار (TD) نیز با همین فرایند انتخاب شدند، با این تفاوت که نمرات آن‌ها بالاتر از آستانه‌های اختلال قرار داشت. در نهایت نتایج به یک متخصص روانشناسی ارایه گردید و اعضای هر گروه مورد تایید نهایی قرار گرفتند. در ادامه، داده‌های دو کودک مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی به دلیل تعداد بالای خطا پاسخ (دقت پاسخ کمتر از ۲۵ درصد) از تحلیل نهایی حذف گردید. نمونه نهایی شامل ۲۲ کودک راست‌دست مبتلا به اختلال (۱۱ دختر و ۱۱ پسر؛ $1/0.31 \pm 8/786$ سال) و ۲۶ کودک راست‌دست با تحول بهنجار (۱۰ دختر و ۱۶ پسر؛ $1/0.63 \pm 8/696$ سال) بود. تمامی شرکت‌کنندگان در دامنه سنی ۷ تا ۱۰ سال و در پایه‌های اول تا چهارم دبستان مشغول به تحصیل بودند.

تکلیف استروپ بزرگ و کوچک

در تکلیف شبه‌استروپ بزرگ-کوچک، از تصاویر یک دایره بزرگ (به قطر ۱۲ سانتی‌متر) و یک دایره کوچک (به قطر ۱ سانتی‌متر) که هر دو به رنگ سیاه بودند، به عنوان محرک در شرایط همخوان^۲ و ناهمخوان استفاده شد. نرم‌افزار سایکوپای^۳ برای ارائه محرک‌ها و ثبت پاسخ‌های صوتی شرکت‌کنندگان (شامل خطا و زمان واکنش) به کار گرفته شد.

رویه پژوهش

شرکت‌کنندگان به صورت انفرادی در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از ورود، از هر یک خواسته شد کنار آزمونگر، پشت میز و تقریباً ۵۰ سانتی‌متر جلوتر از مانیتوری که مجهز به میکروفون بود، بنشینند. سپس آزمونگر توضیح می‌داد که قرار است یک «بازی» انجام دهند که در آن دو تصویر مختلف می‌بینند. آزمونگر همزمان دایره بزرگ و دایره کوچک را روی صفحه نمایش نشان داده و از کودکان می‌خواست به نوبت به هر یک اشاره کند.

پیش از مرحله اصلی، به شرکت‌کنندگان نحوه انجام هر «بازی» آموزش داده شد. بدین منظور، تصاویر دایره بزرگ و کوچک به ترتیب روی صفحه نمایش داده می‌شد و آزمونگر از کودک می‌خواست هنگام دیدن هر تصویر، کلمه «بزرگ» یا «کوچک» را بلند بگوید. شرکت‌کنندگان چهار تمرین (بزرگ، کوچک، کوچک، بزرگ) انجام دادند. اگر خطایی مرتکب می‌شدند، خطا تصحیح می‌گردید و چهار تمرین دیگر

1- Strengths and Difficulties Questionnaire

2- Congruent

3- PsychoPy

را انجام می‌دادند. تکلیف اصلی آغاز نمی‌شد مگر آنکه شرکت‌کننده ۱۰۰٪ تمرین‌ها را درست انجام داده بود.

برای شرایط ناهمخوان، آزمونگر به کودکان می‌گفت: «می‌خواهیم بازی را برعکس انجام دهیم.» در این حالت نیز تصاویر دایره بزرگ و کوچک به ترتیب روی صفحه نمایش داده می‌شد و آزمونگر از کودک می‌خواست هنگام دیدن تصاویر، برعکس بگوید: یعنی به دایره بزرگ بگوید «کوچک» و به دایره کوچک بگوید «بزرگ». ترتیب انجام تکالیف به گونه‌ای تنظیم شد که شرایط همخوان پیش از شرایط ناهمخوان قرار گیرد تا تداخل قوی ایجاد شود.

در طی آزمون، از شرکت‌کننده خواسته شد تا حد امکان سریع و دقیق به مجموعه‌ای از ۴۰ محرک (۲۰ دایره بزرگ و ۲۰ دایره کوچک) برای هر وضعیت تکلیف پاسخ دهد. همه محرک‌ها یک‌به‌یک و به صورت تصادفی در مرکز صفحه سفید روی مانیتور ارائه شدند. پیش از ارائه هر محرک، یک علامت ضربدر به مدت ۳۰۰ میلی‌ثانیه روی صفحه نمایش داده می‌شد. سپس تصویر دایره به مدت ۱۵۰۰ میلی‌ثانیه نمایش داده می‌شد. پس از آن، تا پایان هر آزمایش (۲۰۰ میلی‌ثانیه) چیزی روی صفحه نمایش داده نمی‌شد (Ikeda et al., 2014). صدای شرکت‌کنندگان در طول اجرای هر آزمایش توسط یک میکروفون ضبط شد. فاصله زمانی بین ارائه محرک و آغاز پاسخ صوتی شرکت‌کننده (با عبور دامنه سیگنال صوتی از آستانه ۲۰ هرتز) به عنوان زمان واکنش ثبت گردید. صحت یا خطای پاسخ‌ها نیز در مرحله ارزیابی آفلاین فایل‌های صوتی تعیین شد.

تحلیل نتایج

امتیاز کارایی معکوس بر اساس رابطه (۱)، و بر حسب میلی‌ثانیه بیان می‌شود و تقریباً زمان صرف‌شده برای پاسخ‌های صحیح را نشان می‌دهد که در آن RT برابر با زمان پاسخ و Error_rate برابر با تعداد خطاهای گزارش شده تقسیم بر تعداد آزمایش‌ها^۱ می‌باشد (Baek et al., 2023; Statsenko et al., 2020). این شاخص هم برای زمان پاسخ در شرایط همخوان و هم شرایط ناهمخوان محاسبه شده است. از تفریق امتیاز کارایی معکوس در شرایط همخوان از این شاخص در شرایط ناهمخوان، امتیاز کارایی معکوس هزینه تداخل محاسبه شده است.

$$IES = RT / (1 - Error_rate)$$

معادله ۱

یافته‌ها

داده‌های رفتاری زمان پاسخ و تعداد خطا

پیش از اجرای آزمون تی مستقل، برابری واریانس‌ها با آزمون لوین بررسی شد. نتایج نشان داد واریانس‌ها برای نتایج زمان پاسخ در شرایط همخوان و ناهمخوان به ترتیب ($F=0/998$, $p=<0/0001$) و ($F=0/279$, $p=0/600$) و با هم برابر هستند. اما واریانس‌ها برای نتایج تعداد پاسخ غلط در شرایط همخوان و ناهمخوان به ترتیب ($F=13/970$, $p=<0/001$) و ($F=18/367$, $p=<0/001$) و با هم برابر نیستند. ازاین‌رو، مطابق با توصیه‌های آماری، نتایج آزمون تی ولش گزارش شد.

همچنین آزمون تی مستقل، تفاوت‌های معناداری را زمان پاسخ و تعداد پاسخ‌های غلط در شرایط همخوان و ناهمخوان نشان داد. در مقایسه با کودکان گروه بهنجار، گروه دارای اختلال هماهنگی تحولی در طی شرایط همخوان تفاوت معناداری در زمان پاسخ [$t(48)=-3/097$, $p=0/006$] و تعداد پاسخ غلط [$t(25/096)=-3/000$, $p=0/012$] از خود نشان دادند. همچنین در شرایط ناهمخوان نیز تفاوت معناداری در زمان پاسخ [$t(48)=-3/298$, $p=0/003$] و تعداد پاسخ غلط [$t(27/984)=-4/771$, $p=<0/001$] مشاهده گردید. جدول ۱ تعداد پاسخ‌های غلط و زمان پاسخ (به همراه انحراف معیار) را به تفکیک گروه‌ها ارائه می‌کند.

جدول ۱. تعداد پاسخ‌های غلط و زمان پاسخ (برحسب ثانیه) و به همراه انحراف معیار به تفکیک گروه‌ها

متغیرها	همخوان		ناهمخوان	
	DCD	TD	DCD	TD
تعداد پاسخ غلط	۱/۴۵	۰/۳۵	۶/۰۰	۱/۵۸۰
انحراف معیار	$\pm 1/654$	$\pm 0/562$	$\pm 4/024$	$\pm 1/793$
زمان پاسخ	۰/۹۸۰	۰/۸۸۹	۱/۱۳۵	۱/۰۱۰
انحراف معیار	$\pm 0/105$	$\pm 0/097$	$\pm 0/121$	$\pm 0/139$

شاخص امتیاز کارایی معکوس

پیش از اجرای آزمون تی مستقل، برابری واریانس‌ها با آزمون لوین بررسی شد. نتایج نشان داد واریانس‌ها برای نتایج امتیاز کارایی معکوس در به ترتیب در شرایط همخوان و ناهمخوان ($p=0/400$)، ($F=0/720$)، ($F=1/226$, $p=0/274$) با هم برابر هستند. اما واریانس‌ها برای نتیجه امتیاز کارایی معکوس هزینه تداخل ($F=4/642$, $p=0/036$) با هم برابر نبودند.

همچنین آزمون تی مستقل، تفاوت‌های معناداری را برای امتیاز کارایی معکوس در شرایط همخوان
 $[p = < 0/001, t(48) = -3/844]$ ، ناهمخوان $[p = < 0/001, t(48) = -5/948]$ و امتیاز کارایی معکوس هزینه
تداخل $[p = 0/002, t(48) = -3/457]$ نشان دادند. جدول ۲ امتیاز کارایی معکوس را برای شرایط همخوان،
ناهمخوان و هزینه تداخل (به همراه انحراف معیار) به تفکیک گروه‌ها ارائه می‌کند.

جدول ۲. امتیاز کارایی معکوس را برای شرایط همخوان، ناهمخوان و هزینه تداخل (به همراه انحراف معیار) به
تفکیک گروه‌ها

گروه دارای اختلال	مقدار متوسط	انحراف معیار	گروه بهنجار	
			مقدار متوسط	انحراف معیار
امتیاز کارایی معکوس				
همخوان	۱/۰۱۹	$\pm 0/120$	۰/۸۹۷	$\pm 0/099$
ناهمخوان	۱/۳۵۱	$\pm 0/199$	۱/۰۵۳	$\pm 0/148$
هزینه تداخل	۰/۳۳۲	$\pm 0/221$	۰/۱۵۶	$\pm 0/101$

منحنی ویژگی عملیاتی گیرنده

تحلیل ROC با نرم افزار SPSS نشان داد که امتیاز کارایی معکوس در شرایط ناهمخوان،
پیش‌بینی‌کننده‌ی معنادارتری است ($p < 0/0001$)، $[0/817, 0/991]$ CI، $AUC = 0/904, 95\%$. مقدار آستانه‌ی
۱/۱۲۳ به عنوان مقدار بهینه شناسایی شد که حساسیت ۹۵/۵٪ و ویژگی ۷۶/۹٪ را ارائه می‌کند. علاوه بر
امتیاز کارایی معکوس در شرایط ناهمخوان، نتایج شش شاخص دیگر دارای سطح زیر منحنی (AUC) بالاتر
از ۰/۷ نیز در جدول شماره ۳ ارائه شده‌اند. همچنین در شکل ۱ نمودار ROC برای شاخص‌هایی با سطح زیر
منحنی بالاتر از ۰/۸ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۳. نتایج تحلیل منحنی ویژگی عملیاتی گیرنده دارای سطح زیر منحنی بالاتر از ۰/۷

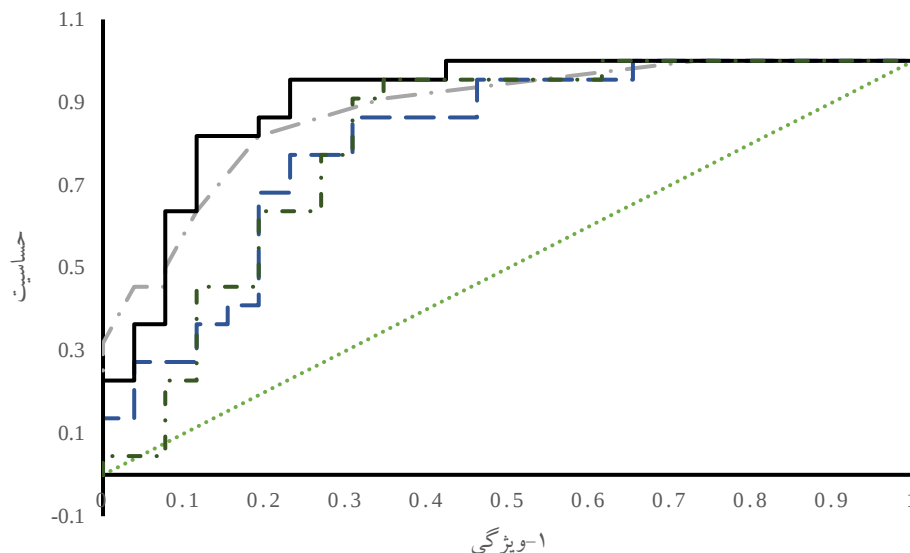
متغیر آزمون	AUC [95% CI]	P	Optimal Cutoff	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Youden's Index (J)
زمان پاسخ (همخوان)	$0/901$ [$0/631, 0/966$]	$< 0/0001$	۰/۹۲۰	۷۷/۳	۷۳/۱	۰/۵۰۳
تعداد پاسخ غلط (همخوان)	$0/869$ [$0/673, 0/719$]	۰/۰۰۴	۱/۵۰	۴۰/۹	۹۶/۲	۰/۳۷۱

۰/۹۲۹	امتیاز کارایی
[۰/۶۸۰]	معکوس
۰/۸۰۴	(همخوان)
۰/۹۳۱	زمان پاسخ
[۰/۶۷۳]	(ناهمخوان)
۰/۸۰۲	
۰/۹۷۵	تعداد پاسخ
[۰/۷۸۴]	غلط
۰/۸۷۹	(ناهمخوان)
۰/۹۹۱	امتیاز کارایی
[۰/۸۱۷]	معکوس
۰/۹۰۴	(ناهمخوان)
۰/۹۴۲	امتیاز کارایی
[۰/۶۵۶]	معکوس
۰/۷۹۹	(هزینه
	تداخل)
۰/۵۵۶	
۶۹/۲	
۸۶/۴	
۰/۹۲۰	
<۰/۰۰۰۱	
۰/۶۰۸	
۶۵/۴	
۹۵/۵	
۱/۰۰۰	
<۰/۰۰۰۱	
۰/۶۲۶	
۸۰/۸	
۸۱/۸	
۲/۵۰	
<۰/۰۰۰۱	
۰/۷۲۴	
۷۶/۹	
۹۵/۵	
۱/۱۲۳	
<۰/۰۰۰۱	
۰/۶۲۶	
۸۰/۸	
۸۱/۸	
۰/۲۲۵	
<۰/۰۰۰۱	

بحث و نتیجه گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی عملکرد کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی (DCD) در تکالیف بازداری شناختی (شرایط همخوان و ناهمخوان) و مقایسه آن با کودکان با تحول بهنجار (TD) بود. همچنین توان تشخیصی شاخص‌های مختلف از جمله زمان پاسخ، تعداد خطا و امتیاز کارایی معکوس با استفاده از تحلیل ROC ارزیابی شد. یافته‌ها نشان داد که کودکان دارای اختلال در هر دو شرایط همخوان و ناهمخوان، زمان پاسخ بیشتری داشتند و تعداد خطاهای بیشتری را نیز مرتکب شدند ($p < ۰/۰۵$). همچنین امتیاز کارایی معکوس (که نشان‌دهنده کارایی فرایند بازداری است) در گروه دارای اختلال در هر دو شرایط و همچنین در شاخص هزینه تداخل به طور معناداری بالاتر از گروه بهنجار بود. این الگو نشان می‌دهد که کودکان دارای اختلال هماهنگی تحولی در این تکلیف، زمان پاسخ بیشتر، خطاهای بیشتر و امتیاز کارایی معکوس بالاتری نسبت به گروه با رشد طبیعی داشتند؛ یافته‌ای که می‌تواند با تفاوت در کارایی بازداری پاسخ، سرعت پردازش یا سایر مؤلفه‌های کارکردهای اجرایی سازگار باشد. با توجه به ماهیت مقطعی پژوهش، تعیین سهم هر یک از این عوامل نیازمند مطالعات تکمیلی است. این یافته با شواهد همگرا نشان‌دهنده کاهش کارایی عصبی، کاهش تخصص شبکه و جذب جبرانی - به طور خاص، جبران از طریق درگیر شدن مناطق عصبی

اضافی تحت افزایش تقاضا در تکالیف در کودکان دارای اختلال هماهنگی تحولی همسو می‌باشد (Subara-Zukic et al., 2022).



شکل ۱. نمودار ROC برای ویژگی‌هایی با سطح زیر نمودار بیشتر از ۰/۸. خط مشکی، امتیاز کارایی معکوس ناهمخوان، نقطه خط بلند خاکستری، تعداد پاسخ غلط در شرایط ناهمخوان، خط تیره بلند سرمه‌ای، امتیاز کارایی معکوس همخوان، نقطه خط سبز تیره، زمان پاسخ در شرایط ناهمخوان و خط چین سبز روشن، خط مبنا

همچنین یافته‌های این پژوهش با مطالعات پیشین که عملکرد ضعیف‌تر در تکالیف مرتبط با بازداری و توجه اجرایی را در کودکان دارای اختلال هماهنگی تحولی را گزارش کرده‌اند همسو است (He et al., 2018; Wilson et al., 2020). یافته‌های پژوهش حاضر را می‌توان در چارچوب مدل‌های توجه و تلاش ذهنی تفسیر کرد. مدل جامع گراند و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که تلاش یک پدیده چندبعدی است و افزایش آن می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله پیچیدگی تکلیف^۱ یا تلاش برای تخصیص منابع برای جبران نقص^۲ باشد (Grund et al., 2024). بر این اساس، افزایش معنی‌دار امتیاز کارایی معکوس در کودکان دارای اختلال را می‌توان به عنوان شاخصی از تلاش تخصیصی و جبرانی آن‌ها برای غلبه بر تداخل و حفظ دقت در نظر گرفت. این تفسیر با مرور سیستماتیک فوگل^۳ و همکاران (۲۰۲۳) نیز همسو است که

1- effort-by-complexity

2- effort-by-allocation

3- Fogel

نشان می‌دهد نقص در کارکردهای اجرایی از جمله بازداری، بخشی جدایی‌ناپذیر از نیم رخ شناختی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی است (Fogel et al., 2023).

تحلیل ROC نشان داد که از میان شاخص‌های مختلف، امتیاز کارایی معکوس در شرایط ناهمخوان با سطح زیر منحنی 0.904 ، بهترین توان تمایز را دارد. مقدار آستانه بهینه $1/123$ به دست آمد که در آن، $95/5$ درصد از کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی به درستی شناسایی شدند (نرخ مثبت حقیقی یا حساسیت)، در حالی که $23/1$ درصد از کودکان دارای رشد بهنجار به اشتباه در گروه دارای اختلال طبقه‌بندی شدند (نرخ مثبت کاذب؛ ویژگی $= 76.9\%$). علاوه بر این، فاصله اطمینان 95 درصد این شاخص (0.817 تا 0.991) به طور کامل بالاتر از 0.80 قرار دارد که از توان تمایز مطلوب این شاخص حمایت می‌کند. با این حال، نسبتاً وسیع بودن فاصله اطمینان نشان می‌دهد که برآورد AUC به دلیل حجم نمونه محدود با عدم قطعیت همراه است؛ از این رو، این یافته‌ها باید به عنوان شواهد مقدماتی تفسیر شوند و اعتبار آن‌ها در مطالعات آینده با حجم نمونه بزرگ‌تر بررسی شود.

این یافته از نظر بالینی حائز اهمیت است؛ زیرا نشان می‌دهد که یک شاخص مبتنی بر عملکرد (نه صرفاً زمان پاسخ یا خطا به تنهایی) می‌تواند با دقت بالایی کودکان دارای اختلال را از همتایان بهنجار متمایز کند. سایر شاخص‌ها نیز سطح زیر منحنی بالای 0.7 داشتند، اما امتیاز کارایی معکوس ناهمخوان بالاترین مقدار شاخص بودن¹ (0.724) بهترین عملکرد را نشان داد. شاخص بودن حاصل جمع حساسیت و ویژگی منهای یک است و بیانگر توان کلی آزمون در شناسایی صحیح افراد مبتلا و افراد بهنجار به طور هم‌زمان است. مقدار بالاتر این شاخص نشان می‌دهد که آزمون، ضمن شناسایی درصد بیشتری از کودکان مبتلا (حساسیت بالا)، تعداد کمتری از کودکان بهنجار را نیز به اشتباه به عنوان دارای اختلال طبقه‌بندی می‌کند (ویژگی بالاتر). بنابراین، امتیاز کارایی معکوس در شرایط ناهمخوان، بهترین تعادل را میان کاهش منفی‌های کاذب و کاهش مثبت‌های کاذب در میان شاخص‌های بررسی‌شده فراهم کرد. هرچند که تعداد پاسخ غلط در شرایط ناهمخوان، امتیاز کارایی معکوس همخوان و زمان پاسخ در شرایط ناهمخوان نیز به دلیل سطح زیر منحنی بالای 0.8 ، از توانایی تمایز بالینی مناسبی برخوردار می‌باشند (Çorbacioğlu & Aksel, 2023). این فاصله اطمینان اگرچه نسبتاً پهن است، اما کران پایین آن (0.817) همچنان بالاتر از 0.80 است. بنابراین می‌توانید با اطمینان بگویید که شواهد از توان تمایز خوب این شاخص حمایت می‌کنند، اما دقت برآورد به دلیل حجم نمونه محدود است.

به طور کلی، کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی تحولی در مقایسه با همتایان بهنجار، عملکرد ضعیف‌تری در تکلیف مرتبط با بازداری شناختی نشان دادند که در زمان پاسخ، خطا و کارایی پردازش (امتیاز کارایی معکوس) آشکار است. شاخص امتیاز کارایی معکوس در شرایط ناهمخوان می‌تواند به عنوان یک ابزار تشخیصی مکمل با حساسیت و ویژگی قابل قبول مورد استفاده قرار گیرد. این یافته‌ها بر ضرورت طراحی مداخلات توانبخشی شناختی با تمرکز بر بهبود بازداری و کاهش تداخل در کودکان دارای اختلال هماهنگی تحولی تأکید دارد. همچنین پیشنهاد می‌شود در ارزیابی‌های بالینی، علاوه بر معیارهای حرکتی، کارکردهای اجرایی به ویژه بازداری مورد توجه قرار گیرد.

محدودیت‌های پژوهش

مطالعه حاضر دارای محدودیت‌هایی از جمله تعداد آزمایشات کم می‌باشد. همچنین تکلیف مورد استفاده تنها یکی از ابعاد بازداری (بازداری پاسخ غالب) را می‌سنجد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از تکالیف متنوع‌تر شناختی (مانند برو-نرو^۱، سیگنال توقف^۲) و نیز تصویربرداری عصبی برای بررسی زیربناهای مغزی این نقایص استفاده شود.

از محدودیت‌های این پژوهش آن است که شرایط همخوان همواره پیش از شرایط ناهمخوان ارائه شد. این ترتیب بر اساس پارادایم اصلی تکلیف (Ikeda et al., 2014) و با هدف ایجاد اثر تداخل قوی‌تر انتخاب شد. با این حال، ارائه ثابت ترتیب شرایط ممکن است احتمال بروز اثرات ترتیب، از جمله خستگی یا یادگیری، را افزایش داده باشد و در نتیجه بخشی از تفاوت‌های مشاهده‌شده بین شرایط را تحت تأثیر قرار داده باشد. بنابراین، نتایج این پژوهش باید با در نظر گرفتن این محدودیت تفسیر شوند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، با استفاده از متعادل‌سازی^۳ ترتیب ارائه شرایط، اثرات احتمالی ناشی از ترتیب اجرا کنترل شود تا سهم واقعی تداخل شناختی با دقت بیشتری برآورد گردد.

از دیگر محدودیت‌های این پژوهش، حجم نمونه نسبتاً محدود، به‌ویژه در تحلیل منحنی ROC، است. اگرچه مقادیر AUC به‌دست‌آمده بیانگر توان تمایز مناسب تکلیف شبه‌استروپ بودند، فاصله اطمینان نسبتاً وسیع این شاخص‌ها نشان می‌دهد که برآوردهای حاصل با عدم قطعیت همراه هستند. بنابراین، این یافته‌ها باید به‌عنوان شواهد مقدماتی تفسیر شوند و لازم است در مطالعات آینده با حجم نمونه بزرگ‌تر و نمونه‌های مستقل مورد اعتبارسنجی قرار گیرند تا پایداری نقاط برش و شاخص‌های تشخیصی به‌طور دقیق‌تر بررسی

1- Go/No-Go

2- Stop signal

3- Counterbalancing

References

- Altman, C., Shaya, N., Berke, R., & Adi-Japha, E. (2025). Challenges in skill acquisition and memory retention in children with developmental language disorder. *Int J Lang Commun Disord*, 60(3), e70024. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.70024>
- Baek, H., Lee, Y., & Choi, W. (2023). Proficiency versus lexical processing efficiency as a measure of L2 lexical quality: Individual differences in word-frequency effects in L2 visual word recognition. *Memory & Cognition*, 51(8), 1858-1869. <https://doi.org/10.3758/s13371-023-02421-1>
- Bieber, E., Smits-Engelsman, B. C. M., Sgandurra, G., Martini, G., Guzzetta, A., Cioni, G., Feys, H., & Klingels, K. (2023). Insights on action observation and imitation abilities in children with Developmental Coordination Disorder and typically developing children. *Research in Developmental Disabilities*, 139, 104556. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2023.104556>
- Blank, R., Barnett, A. L., Cairney, J., Green, D., Kirby, A., Polatajko, H., Rosenblum, S., Smits-Engelsman, B., Sugden, D., Wilson, P., & Vinçon, S. (2019). International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder [https://doi.org/10.1111/dmcn.14132]. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 61(3), 242-285. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14132>
- Bush, G., Whalen, P. J., Shin, L. M., & Rauch, S. L. (2006). The counting Stroop: a cognitive interference task. *Nature Protocols*, 1(1), 230-233. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.35>
- Cardillo, R., Orefice, C., Leanza, N., & Mammarella, I. C. (2025). Motor and visuospatial processing profile in a cross-conditions study: A comparison between developmental coordination disorder and nonverbal learning disability. *Research in Developmental Disabilities*, 158, 104922. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2025.104922>
- Çorbacioğlu, Ş. K., & Aksel, G. (2023). Receiver operating characteristic curve analysis in diagnostic accuracy studies: A guide to interpreting the area under the curve value. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 23(4). https://journals.lww.com/tjem/fulltext/2023/23040/receiver_operating_characteristic_curve_analysis.1.aspx
- Fogel, Y., Stuart, N., Joyce, T., & Barnett, A. L. (2020). Relationships between motor skills and executive functions in developmental coordination disorder (DCD): A systematic review. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 30(3), 344-356. <https://doi.org/10.1080/11038128.2021.2019306>
- Goetschalckx, M., Moumdjian, L., Rameckers, E., & Feys, P. (2024). Interlimb Coordination and Auditory—Motor Synchronization in Children with Developmental Coordination Disorder: Examining Antiphase Knee Movements with Auditory Metronomes While Seated. *Children*, 11(10)
- Grund, A., Fries, S., Nückles, M., Renkl, A., & Roelle, J. (2024). When is Learning “Effortful”? Scrutinizing the Concept of Mental Effort in Cognitively Oriented Research from a Motivational Perspective. *Educational Psychology Review*, 36(1), 11. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09852-7>

- He, J. L., Fuelscher, I., Coxon, J., Barhoun, P., Parmar, D., Enticott, P. G., & Hyde, C. (2018). Impaired motor inhibition in developmental coordination disorder. *Brain and Cognition*, 127, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.09.002>
- Ikeda, Y., Okuzumi, H., & Kokubun, M. (2014). Age-related trends of inhibitory control in Stroop-like big-small task in 3 to 12-year-old children and young adults. *Front Psychol*, 5, 227. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00227>
- Joshi, S., Weedon, B. D., Esser, P., Liu, Y.-C., Springett, D. N., Meaney, A., Inacio, M., Delestrat, A., Kemp, S., Ward, T., Izadi, H., Dawes, H., & Ayaz, H. (2022). Neuroergonomic assessment of developmental coordination disorder. *Scientific Reports*, 12(1), 10239. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13966-9>
- Koch, J. K. L., Miguel, H., & Smiley-Oyen, A. L. (2018). Prefrontal activation during Stroop and Wisconsin card sort tasks in children with developmental coordination disorder: a NIRS study. *Experimental Brain Research*, 236(11), 3053-3064. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5358-4>
- Lu, C., Wang, M., Zhan, L., & Lu, M. (2025). Unveiling Cognitive Interference: fNIRS Insights Into Poststroke Aphasia During Stroop Tasks. *Neural Plasticity*, 2025, 1456201. <https://doi.org/10.1155/np/1456201>
- Scott, M. W., Wood, G., Holmes, P. S., Marshall, B., Williams, J., & Wright, D. J. (2023). Combined action observation and motor imagery improves learning of activities of daily living in children with Developmental Coordination Disorder. *PLoS ONE*, 18(5), e0284086. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284086>
- Statsenko, Y., Habuza, T., Gorkom, K. N.-V., Zaki, N., & Almansoori, T. M. (2020). Applying the Inverse Efficiency Score to Visual-Motor Task for Studying Speed-Accuracy Performance While Aging [Original Research]. *Frontiers in Aging Neuroscience*, Volume 12 - 2020. <https://www.frontiersin.org/journals/aging-neuroscience/articles/10.3389/fnagi.2020.574401>
- Subara-Zukic, E., Cole, M. H., McGuckian, T. B., Steenbergen, B., Green, D., Smits-Engelsman, B. C., Lust, J. M., Abdollahipour, R., Domellöf, E., Deconinck, F. J. A., Blank, R., & Wilson, P. H. (2022). Behavioral and Neuroimaging Research on Developmental Coordination Disorder (DCD): A Combined Systematic Review and Meta-Analysis of Recent Findings [Systematic Review]. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.809455>
- Tajari, S. N., Gholami, S., Rostami, R., Trabelsi, K., & Taheri, M. (2023). The effect of perceptual-motor exercise on temporal dynamics of cognitive inhibition control in children with developmental coordination disorder. *Mental Health and Physical Activity*, 24, 100495. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2022.100495>
- Wilson, P., Ruddock, S., Rahimi-Golkhandan, S., Piek, J., Sugden, D., Green, D., & Steenbergen, B. (2020). Cognitive and motor function in developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 62(11), 131. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14646>