Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

March & April 2026. Volume 15. Num 1

Review Paper

Motor Learning in Children With Developmental Coordination Disorder: A Systematic Review

*Sayed Kavos Salehi[1]

1. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Saleh SK. [Motor Learning in Children With Developmental Coordination Disorder: A Systematic Review (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2026; 15(1):20-35. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.1.3419

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.1.3419

ABSTRACT

Background and Aims Developmental coordination disorder (DCD) is one of the most common neurodevelopmental disorders in children, characterized by significant delays in the acquisition and performance of motor skills. Given that DCD is inherently related to learning processes, this systematic review aimed to examine the characteristics of motor learning in children with DCD.

Methods Relevant studies were retrieved from major scientific databases, including PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, PsycINFO, Embase, Medline, ProQuest, and Web of Science, using the keywords motor learning, motor sequence, implicit learning, explicit learning, developmental coordination disorder (DCD), procedural learning, and procedural motor sequence learning. The search focused on articles published between 2000 and 2025. The reference lists of the initially identified studies were also reviewed to identify additional relevant sources. Titles, abstracts, and, when necessary, full texts of the articles were screened and evaluated. To assess the quality of the included studies, the Downs and Black checklist was used.

Results The findings indicate that children with DCD, despite motor impairments, are capable of implicit motor learning; however, this process is slower and less efficient compared to their typically developing peers and requires more practice. Explicit motor learning is more challenging for them due to the additional cognitive load. In contrast, implicit learning, especially in the context of multisensory (verbal–visual) practice, is more effective for skill acquisition in children with DCD.

Conclusion Our findings suggest that implicit motor learning provides a more effective pathway for acquiring skills through unconscious experience and repetition in children with DCD, and educational and rehabilitation interventions should be designed to focus on multisensory practice that leverages their implicit motor learning capacities to enhance learning efficiency.

Keywords Developmental coordination disorder (DCD), Motor learning, Explicit learning, Implicit learning, Motor sequence

Received: 20 Oct 2025
Accepted: 02 Dec 2025
Available Online: 21 Mar 2026

Corresponding Author:
Sayed Kavos Salehi, PhD.
Address: Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.
Tel: +98 (21) 5100 9700
E-Mail: Sk.salehi@yahoo.com

Copyright © 2026 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

Extended Abstract

Introduction

Developmental coordination disorder (DCD) is one of the most common neurodevelopmental disorders, affecting approximately 5%–6% of children worldwide. It is characterized by significant delays in the acquisition and performance of coordinated motor skills, in the absence of any major neurological or intellectual impairment. The consequences of DCD extend beyond motor difficulties, negatively impacting a child's ability to perform daily activities, self-confidence, and social participation. Since the nature of this disorder is directly tied to learning processes and there is no definitive pharmacological treatment, understanding the characteristics of motor learning in these children is crucial for designing effective rehabilitation interventions, such as occupational therapy and task-oriented approaches. The ultimate goal of these interventions is not only to improve specific motor skills but also to promote the transfer of learning to real-life situations and enhance the child's functional independence.

Motor learning occurs through two main modes: explicit learning (conscious, based on verbal knowledge) and implicit learning (unconscious, acquired through repetition). A subtype of implicit learning, procedural learning, is crucial for automating everyday skills such as dressing or tying shoelaces—tasks often challenging for children with DCD. These difficulties have led to the hypothesis that a procedural learning deficit may underlie motor delays in children with DCD. Neurological evidence indicates that brain structures involved in skill automatization, such as the basal ganglia and cerebellum, are more vulnerable in children with DCD, with reduced cerebellar–cortical activity observed. However, findings are inconsistent; some studies have reported preserved implicit learning, while others have shown deficits. These discrepancies, along with the lack of a comprehensive synthesis, underscore the need for a systematic review to clarify learning patterns and identify research gaps.

Given the direct link between DCD and learning processes and the contradictory findings in the literature, the main purpose of this article is to systematically review previous studies on motor learning in children with DCD. This research specifically focuses on motor sequence learning paradigms to identify performance patterns in these children and to pinpoint existing gaps in the current body of research.

Methods

This systematic review aimed to identify relevant articles by searching of reputable databases, including PubMed, GoogleScholar, ScienceDirect, Elsevier, PsycINFO, Embase, Medline, ProQuest, and Web of Science, as well as Persian scientific databases. The keywords used in the search were "motor learning," "motor sequence," "implicit learning," "explicit learning," "developmental coordination disorder (DCD)," "procedural learning," and "procedural motor sequence learning" for articles published between 2000 and 2025.

The study selection process was performed in several stages. In the initial search, 113 articles were identified. After screening titles and abstracts, 100 articles were excluded due to not meeting the inclusion criteria. Of the remaining 13 articles, four were further excluded because of a lack of access or incomplete alignment with the inclusion criteria. Ultimately, nine studies that met all methodological and content criteria were selected for final analysis.

The inclusion criteria comprised studies that specifically examined motor learning (explicit, implicit, or procedural) in children with a confirmed diagnosis of DCD, using sequential motor tasks and including a healthy control group. Only studies published in English or Persian were included. The exclusion criteria included review papers, case reports, studies on children with severe neurological impairments, and articles employing computer games, mental practice, or motor adaptation tasks.

To evaluate the methodological quality of the selected studies, the Downs and Black checklist was used. This tool assesses 15 key indicators, including reporting quality, validity, and bias. Based on the assessment results, four studies were rated as high-quality and five studies as moderate-quality, indicating an overall satisfactory methodological standard among the reviewed research.

Results

Analysis of the nine selected studies revealed that all compared children with DCD to healthy control groups aged 6-14 years. The primary tool used across all studies was the Serial Reaction Time Task, a standard paradigm for assessing motor sequence learning.

In terms of behavioral performance patterns, the results were inconsistent. Six studies reported that children with DCD exhibited slower reaction times and weaker implicit learning compared to their typically developing peers. In

contrast, two studies found no significant differences between the groups, suggesting that implicit learning ability may be preserved in children with DCD. One study reached a particularly noteworthy conclusion: implicit learning in children with DCD depends on the type of stimulus. The simultaneous presentation of verbal and visuospatial stimuli was found to enhance learning by activating multisensory pathways and compensating for neural deficits.

Regarding neurophysiological findings, three studies employing neuroimaging and EEG provided additional evidence. These studies reported reduced beta-band activity in motor regions and a smaller cerebellar volume. They delayed event-related potentials associated with sequence prediction in children with DCD, all of which were correlated with their poorer performance in motor learning tasks.

Conclusion

The results of this systematic review indicate that, despite motor challenges, children with DCD retain the ability to implicitly learn motor sequences. However, their learning process tends to be slower, more variable, and less efficient compared to their typically developing peers. This difference does not imply a complete inability to learn; rather, it highlights the need for extended time and practice to achieve optimal performance levels.

Evidence suggests that explicit learning, which imposes a greater cognitive load, may be less effective for these children. In contrast, implicit learning, which relies less on conscious cognitive resources, provides a more efficient pathway for acquiring and consolidating motor skills. Specifically, the use of multisensory stimuli—such as combining verbal and visual cues—can significantly enhance learning by activating alternative neural pathways and compensating for existing deficits.

Neurophysiological findings further support these behavioral observations, underscoring the roles of structures such as the cerebellum and basal ganglia in motor learning in children with DCD. Therefore, it is recommended that educational and rehabilitation programs for these children be designed to leverage implicit learning mechanisms and incorporate rich, varied practice conditions to achieve the most effective outcomes.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This is a systematic review with no human or animal samples. Therefore, no ethical approval was required.

Funding

This research was supported by Shahid Rajaee Teacher Training University (Grant No. 404/397032).

Conflict of interest

The author declared no conflicts of interest.

طب توانبخشی

مقاله مروری

بررسی یادگیری حرکتی در کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی: یک مرور نظام‌مند

*سیدکاوس صالحی[1]

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Saleh SK. [Motor Learning in Children With Developmental Coordination Disorder: A Systematic Review (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2026; 15(1):20-35. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.1.3419

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.1.3419

چکیده

مقدمه و اهداف اختلال هماهنگی رشدی یکی از شایع‌ترین اختلالات عصبی‌رشدی کودکان است که با تأخیر قابل‌توجه در اکتساب و اجرای مهارت‌های حرکتی مشخص می‌شود. باتوجه‌به ماهیت این اختلال که مستقیماً با فرایند یادگیری در ارتباط است، هدف مطالعه حاضر، بررسی نظام‌مند ویژگی‌های یادگیری حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی بود.

مواد و روش‌ها مقالات مرتبط با این موضوع از پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر شامل پابمد، گوگل اسکالر، ساینس دایرکت، الزیویر، سایک‌اینفو، امبیس، مدلاین، پروکوئست و وب‌آوساینس و با استفاده از کلید واژه‌های Motor learning، Motor sequence، Implicit learning، Explicit learning، Developmental coordination disorder، DCD، Procedural learning، Procedural motor sequence learning استخراج شدند. جست‌وجو با تمرکز بر مقالات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ انجام شد. به‌منظور یافتن مقالات مرتبط و مناسب‌تر، منابع مقالات اولیه شناسایی‌شده نیز مورد بررسی قرار گرفتند. چکیده، عنوان و در صورت لزوم متن کامل مقالات مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی کیفیت مطالعات، از چک‌لیست داونز و بلک استفاده شد.

یافته‌ها یافته‌ها نشان می‌دهد کودکان اختلال هماهنگی رشدی با وجود نارسایی‌های حرکتی، توانایی یادگیری حرکتی ضمنی دارند، اما این فرایند نسبت به همتایان سالم کندتر و کم‌کارآمدتر است و نیازمند تمرین بیشتری است. همچنین یادگیری حرکتی صریح به دلیل تحمیل بار شناختی اضافی برای آن‌ها دشوارتر است، درحالی‌که یادگیری ضمنی، به‌ویژه در بستر تمرین‌های چندحسی (کلامی‌دیداری)، برای یادگیری در این کودکان مؤثرتر واقع می‌شود.

نتیجه‌گیری باتوجه‌به یافته‌ها، یادگیری حرکتی ضمنی مسیر مؤثرتری برای کسب مهارت ازطریق تجربه و تکرار غیرآگاهانه در کودکان اختلال هماهنگی رشدی است و برنامه‌های آموزشی و مداخله‌ای توانبخشی باید بر تمرین‌های چندحسی و با تکیه بر قابلیت‌های یادگیری حرکتی ضمنی طراحی شوند تا کارایی یادگیری افزایش یابد.

کلیدواژه‌ها اختلال هماهنگی رشدی، یادگیری حرکتی، یادگیری صریح، یادگیری ضمنی، توالی حرکتی

تاریخ دریافت: ۲۸ مهر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۱ آذر ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۰۱ فروردین ۱۴۰۵

* **نویسنده مسئول:**

دکتر سیدکاوس صالحی

نشانی: تهران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، دانشکده علوم ورزشی، گروه رفتار حرکتی.

تلفن: ۵۱ ۹۷۰۰ (۲۱) ۹۸+

رایانامه: sk.salehi@yahoo.com

Copyright © 2026 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه و اهداف

اختلال هماهنگی رشدی[1]، یکی از شایع‌ترین اختلالات حرکتی کودکان با شیوع ۵ تا ۶ درصد است [۱]. این اختلال باعث تأخیر در یادگیری مهارت‌های حرکتی و نقص در کنترل حرکتی می‌شود، بدون آنکه نارسایی عصبی یا ذهنی عمده‌ای وجود داشته باشد [۲، ۳]. پژوهش‌ها نشان داده‌اند کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی در برنامه‌ریزی حرکت، کنترل پیش‌بینانه و همچنین یادگیری حرکتی دچار مشکل هستند و این اختلال می‌تواند بر فعالیت‌های روزمره، اعتمادبه‌نفس و مشارکت اجتماعی آن‌ها نیز تأثیر بگذارد [۴، ۵]. این گستردگی تأثیرات، اهمیت درک فرایند یادگیری حرکتی را در این کودکان دوچندان می‌کند.

اختلال هماهنگی رشدی درمان دارویی قطعی ندارد، اما مداخلات توان‌بخشی و کاردرمانی در قالب فعالیت‌های فردمحور و معنادار می‌توانند مشکلات یادگیری و عملکرد حرکتی این کودکان را کاهش دهند. شواهد نشان می‌دهد تمرینات ساختاریافته و بازخورد توصیفی به‌جای بازخورد صرفاً نتیجه‌محور می‌توانند بهبود پردازش اطلاعات و ارتقای خودکارسازی مهارت‌ها در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی منجر شوند. این یافته‌ها مؤید آن است کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی برای کسب مهارت‌های حرکتی جدید به تمرین بیشتر، بازخورد دقیق‌تر و زمان طولانی‌تری نیاز دارند. مداخلات مؤثر مانند رویکردهای مبتنی بر وظیفه[2]، مداخلات مهارت‌های حرکتی[3] یا رویکرد شناخت‌گرا به عملکرد کاری روزمره[4] (CO-OP) با تأکید بر یادگیری ازطریق تجربه و تمرکز بر فرایندهای شناختی، توانسته‌اند سازگاری و کارایی‌حرکتی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی را افزایش دهند [۵، ۶]. مطالعات عصب‌روان‌شناختی نیز نشان داده‌اند تمرین مکرر در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی موجب فعال‌سازی مسیرهای حرکتی جایگزین در مغز و درنتیجه بهبود تدریجی کنترل حرکات می‌شود [۷]. هدف نهایی این مداخلات، نه‌تنها بهبود مهارت‌های حرکتی، بلکه انتقال یادگیری حرکتی به موقعیت‌ها و محیط‌های مشابه است؛ امری که به افزایش استقلال عملکردی و ثبات یادگیری حرکتی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی منجر می‌شود.

در همین راستا، درک ماهیت یادگیری حرکتی اهمیت ویژه‌ای دارد. یادگیری حرکتی فرایندی همراه با تمرین یا تجربه است که به تغییرات نسبتاً پایدار در توانایی اجرای مهارت منجر می‌شود [۸]. این فرایند شامل مراحل اکتساب، تحکیم و انتقال (تعمیم) است. از دیدگاه رفتاری، یادگیری مهارت‌های حرکتی در ۲ مرحله متمایز و متوالی صورت می‌گیرد. در مرحله نخست (یادگیری سریع)، بهبود سریعی در عملکرد در طول تنها ۱ جلسه تمرین دیده می‌شود. در مرحله دوم (یادگیری کُند)، پیشرفت‌ها در جلسات متعدد ادامه یافته و به تحکیم و خودکاری مهارت می‌انجامد [۹]. با تمرین کافی، مهارت خودکار و کارآمد می‌شود و فرد می‌تواند آن را به موقعیت‌های جدید تعمیم دهد [۳].

ازآنجاکه فرایندهای عصبی و شناختی مستقیماً قابل‌مشاهده نیستند، یادگیری از تغییرات عملکرد استنباط می‌شود [۱۰]. براین‌اساس یادگیری را می‌توان ازطریق شاخص‌هایی، مانند کاهش زمان انجام تکلیف یا افزایش دقت عملکرد اندازه‌گیری کرد. با اینکه عوامل مختلف می‌توانند قابلیت حرکتی را بهبود دهند، اما پژوهشگران یادگیری حرکتی بیشترین توجه را به نقش تمرین و تجربه دارند [۲].

یادگیری تکالیف حرکتی شامل دو فرایند صریح (آشکار) و ضمنی (پنهان) است. در رویکرد سنتی، یادگیری حرکتی از مرحله شناختی‌کلامی آغاز می‌شود؛ مرحله‌ای وابسته به حافظه کاری[5] که در آن، یادگیرنده، آگاهانه درباره تکلیف اطلاعات کسب می‌کند. با تداوم تمرین، مهارت به حالت خودکار و بدون تفکر آگاهانه اجرا می‌شود [۱۱]. این شیوه یادگیری صریح[6] نامیده می‌شود؛ حالتی که در آن به یادگیرنده درباره هدف و نحوه انجام تکلیف اطلاعات لازم داده می‌شود و وی قادر است اجرای حرکت را به‌صورت کلامی توضیح دهد.

در مقابل، در یادگیری ضمنی[7]، یادگیرنده بدون تفکر آگاهانه یا دریافت اطلاعات مستقیم، مهارت را ازطریق تمرین و تکرار به‌صورت ناخودآگاه فرامی‌گیرد و بدون آگاهی از هدف یا نحوه انجام تکلیف، فقط قادر به اجرای آن است [۱۲]؛ بنابراین مهارت‌ها خودکار و ناآگاهانه اجرا می‌شوند، درحالی‌که در یادگیری صریح، خودکاری پس از تمرین طولانی ایجاد می‌شود [۱۳]. نوع خاصی از یادگیری ضمنی، یادگیری رویه‌ای است که به کسب مهارت‌ها و حرکات متوالی یا توالی‌های حرکتی مربوط می شود و با تمرین زیاد و بدون توجه آگاهانه شکل می‌گیرد. تکالیف روزمره‌ای مانند لباس پوشیدن و نوشتن که به این یادگیری وابسته‌اند، برای کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی دشوار است و نارسایی در آن می‌تواند دلیل تأخیر رشد حرکتی آنان باشد [۱۴]. یادگیری صریح و ضمنی توسط ساختارهای مغزی متفاوتی کنترل می‌شود. در یادگیری ضمنی عمدتاً عقده‌های قاعده‌ای، مخچه و کرتکس پری‌فرونتال درگیر است، درحالی‌که یادگیری صریح با قطعه گیجگاهی، هیپوکامپ، تالاموس و کرتکس پیشانی‌آهیانه‌ای مرتبط است [۱۵]. پژوهش‌ها نشان

1. Developmental Coordination Disorder (DCD)
2. Task-oriented interventions
3. Motor-based interventions
4. Cognitive Orientation to daily Occupational Performance (CO-OP)
5. Working memory
6. Explicit learning
7. Implicit learning

می‌دهد ساختارهایی چون مخچه و عقده‌های قاعده‌ای که در خودکارسازی مهارت‌های حرکتی نقش دارند، نسبت به اختلالات رشدی آسیب‌پذیرند [۱۴]. شواهد بالینی نشان می‌دهد کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی در یادگیری و خودکارسازی حرکات مشکل دارند؛ برای مثال، بستن بند کفش حتی پس از تمرین زیاد نیازمند توجه آگاهانه است. مطالعات نقش مخچه و عقده‌های قاعده‌ای را در این اختلال تأیید کرده‌اند [۱۶، ۱۷]. همچنین زویکر و همکاران نشان دادند فعالیت مغزی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی هنگام اجرای تکلیف ردیابی مسیر در نواحی مخچه و پیش‌پیشانی کمتر از کودکان سالم است [۱۸]. این نتایج بیانگر همبستگی عصبی با نقص یادگیری مهارت‌های حرکتی است. هرچند تأیید قطعی به مطالعات با نمونه بزرگ‌تر نیاز دارد.

برای بررسی مکانیسم‌های یادگیری حرکتی، پژوهشگران از الگوهای آزمایشی مختلفی استفاده می‌کنند. یکی از رایج‌ترین آنها الگوی زمان واکنش متوالی[8] است [۱۹]. در این تکلیف، شرکت‌کنندگان باید با فشردن کلیدهای متناظر به محرک‌هایی که در صفحه‌نمایش ظاهر می‌شوند، سریع و دقیق پاسخ دهند. در این آزمون، به گروه یادگیری ضمنی، اطلاعاتی درباره ترتیب محرک‌ها داده نمی‌شود، درحالی‌که به گروه صریح، توالی‌ها آموزش داده می‌شود. یادگیری ازطریق افزایش سرعت پاسخ و تفاوت زمان واکنش بین بلوک‌های تصادفی و تکراری سنجیده می‌شود. این الگو در مطالعات اختلالات رشدی نیز کاربرد دارد [۲۰]. در این زمینه، قیسن و همکاران در مطالعه‌ای گزارش کردند کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی قادر به یادگیری توالی‌های حرکتی ضمنی‌اند، اما در تطبیق با توالی‌های جدید مشکل دارند [۲۱]؛ درحالی‌که یافته‌های ویلسون و همکاران و نیز لوژن و همکاران نشان داد توانایی یادگیری ضمنی در این کودکان بدون نقص است [۱۸، ۲۲].

تکلیف تطبیق یا سازگاری حرکتی نیز روش دیگری برای بررسی یادگیری هماهنگی چشم و دست است که فرد به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهد و شامل ۲ نوع سازگاری کینماتیکی [۲۳] و دینامیکی است [۲۴] که یادگیری هر دو نوع معمولاً صریح است.

پژوهش‌های پیشین در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی عمدتاً روی وظایف متوالی و تطبیق دیداری‌حرکتی متمرکز بوده‌اند [۱۴]. شواهد بیانگر توانایی یادگیری ضمنی و حرکات متوالی ساده این کودکان است [۲۵]. در مطالعه‌ای روی ۳۴ کودک با و بدون اختلال هماهنگی رشدی، هر دو گروه میزان سازگاری و تحکیم یادگیری حرکتی، مشابهی داشتند [۳]. بااین‌حال اطلاعات کافی درباره یادگیری مهارت‌های پیچیده‌تر وجود ندارد.

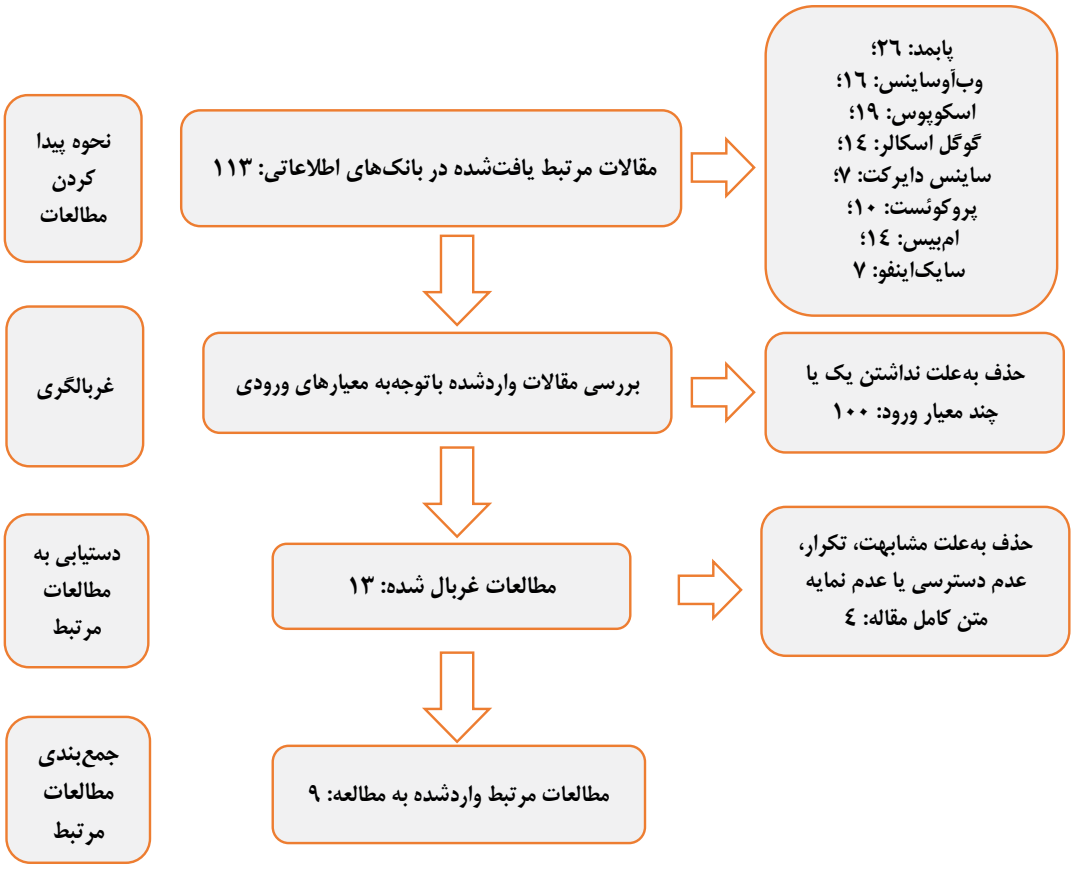
تعداد کمی از مطالعات، اکتساب مهارت در محیط‌های واقعیت مجازی را با استفاده از بازی‌های ویدئویی فعال بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی مانند همتایان عادی، مهارت‌های تعادلی را در تمرین با اگزرگیم‌ها به‌خوبی می‌آموزند و میزان پیشرفت و انتقال مهارت‌ها، صرف‌نظر از نوع تمرین (تکراری یا متغیر)، مشابه است [۲۶]. همچنین، گزارش شده کودکان عادی پس از ۱۰ هفته تمرین با ویدئوگیم‌های فعال عملکرد بهتری از کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی دارند، هرچند کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی نیز در برخی جنبه‌ها مانند تعادل بهبود قابل‌توجهی نشان دادند [۲]. این یافته‌ها نشان می‌دهد مشکل یادگیری حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی به نوع تکلیف و شرایط آن وابسته است. علاوه‌براین، اخیراً مرور نظام‌مند درزمینه مداخلات حرکتی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی نشان داده‌اند رویکردهای مبتنی بر تکلیف و یا ترکیبی از رویکردهای تکلیف‌محور و فرایندمحور می‌توانند به‌طور معناداری موجب بهبود مهارت‌های حرکتی، تعادل و عملکردهای شناختی این کودکان شوند [۵]. بااین‌حال، تمرکز اصلی این مطالعات مروری بر اثربخشی مداخلات درمانی بوده است، درحالی‌که بررسی فرایند یادگیری حرکتی و الگوهای تغییر عملکرد در جریان اکتساب مهارت ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

ازآنجاکه اختلال هماهنگی رشدی با کسب تأخیری مهارت‌های حرکتی شناخته می‌شود و ماهیت این اختلال مستقیماً با فرایند یادگیری مهارت‌های حرکتی در ارتباط است، بررسی ویژگی‌های یادگیری حرکتی در این کودکان اهمیت ویژه‌ای دارد. از طرفی، با وجود افزایش پژوهش‌ها درزمینه یادگیری حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، تاکنون مطالعه‌ای به‌صورت نظام‌مند به بررسی اثر یادگیری تکالیف حرکتی متوالی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی نپرداخته است؛ بنابراین هدف مقاله حاضر، مرور نظام‌مند مطالعات گذشته در حوزه یادگیری حرکتی با تمرکز بر پارادایم‌های یادگیری توالی حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی است تا ضمن شناسایی الگوهای عملکردی، خلأهای پژوهشی موجود نیز برجسته شود.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به‌صورت مروری نظام‌مند انجام شده است. به‌منظور شناسایی، مقالات مرتبط با یادگیری حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی از پایگاه‌های اطلاعاتی

8. Serial Reaction Time (SRT)



طب توانبخشی

تصویر ۱. نحوه انتخاب مقالات

پابمد[9]، گوگل‌اسکالر[10]، ساینس‌دایرکت[11]، الزویر[12]، سایک‌اینفو[13]، ام‌بیس[14]، پروکوئست[15] مدلاین[16] و وب‌آوساینس[17] و با استفاده از کلید واژه‌های Motor learning، Motor sequence، Implicit learning، Explicit learning، Developmental coordination disorder، DCD، Procedural learning، Procedural motor sequence learning استخراج شدند. جست‌وجو با تمرکز بر مقالات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ماه می سال ۲۰۲۵ انجام شد. به‌منظور یافتن مقالات مرتبط و مناسب‌تر، منابع مقالات اولیه شناسایی‌شده نیز مورد بررسی قرار گرفتند. چکیده، عنوان و در صورت لزوم متن کامل مقالات مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت (تصویر شماره ۱).

جست‌وجوی مقالات ابتدا به‌صورت الکترونیکی (با استفاده از پایگاه‌های داده آنلاین) و سپس به‌صورت دستی از بین مقالات چاپ‌شده در پایگاه‌های مذکور انجام شد. پس از انجام جست‌وجوی اولیه در پایگاه‌های داده، تمامی مقالات مرتبط با موضوع شناسایی و جمع‌آوری شدند. در این فرایند، از نرم‌افزار EndNote نسخه X۹ استفاده شد تا مدیریت و سازماندهی منابع علمی به‌صورت منسجم و کارآمد انجام گیرد. تمامی مقالات جمع‌آوری‌شده به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفتند تا اطمینان حاصل شود حاوی اطلاعات لازم برای تحلیل و بررسی دقیق هستند. اولین مرحله انتخاب مقاله این بود که آیا عناوین و چکیده مقالات، سؤالات موردنظر محقق را پاسخگو هست یا خیر.

دومین مرحله انتخاب، براساس معیارهای ورود زیر بود:

۱. مقالاتی که صرفاً کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی را مورد مطالعه قرار داده بودند. ۲. مقالاتی که صرفاً با استفاده از تکالیف حرکتی متوالی به بررسی یادگیری حرکتی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی پرداخته بودند. ۳. مقالاتی که به هر دو زبان انگلیسی و فارسی چاپ شده بودند. ۴. مقالاتی که مربوط به یادگیری حرکتی صریح، ضمنی یا رویه‌ای بودند. ۵. مقالاتی که دارای داده‌های تجربی و نتایج قابل‌اندازه‌گیری بودند. ۶. مقالاتی که دارای گروه کنترل سالم بودند.

9. PubMed
10. Google Scholar
11. Science Direct
12. Elsevier
13. PsycINFO (APA)
14. Embase
15. ProQuest
16. Medline
17. Web of Science

جدول ۱. چک‌لیست داونز و بلک جهت ارزیابی کیفیت مقالات

مطالعه	سؤال															کیفیت
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	
لوژن و همکاران (۲۰۱۳) [۱۸]	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱۱
قیسن و همکاران (۲۰۱۱) [۲۱]	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱۱
ویلسون و همکاران (۲۰۰۳) [۲۲]	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱۰
لوم و همکاران (۲۰۲۵) [۲۸]	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱۳
بیانکو و همکاران (۲۰۲۴) [۲۹]	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱۲
ون دایک و همکاران (۲۰۲۲) [۳۰]	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱۲
بلیس و همکاران (۲۰۲۱) [۳۱]	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱۰
اوپیتس و همکاران (۲۰۲۰) [۳۲]	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱۳
صالحی و همکاران (۲۰۱۶) [۳۳]	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱۰

طب توانبخشی

معیارهای خروج: ۱. مقالاتی که روی کودکان با نارسایی‌های عصبی یا ذهنی عمده انجام شده بود. ۲. مقالاتی که بدون تشخیص مشخص اختلال هماهنگی رشدی انجام شده بود. ۳. مقالاتی که صرفاً به ارزیابی تشخیصی اختلال هماهنگی رشدی پرداخته بودند. ۴. مقالاتی که به جنبه‌های غیرحرکتی (مثل مهارت‌های اجتماعی صرف) محدود شده بودند. ۵. مقالات مداخله‌ای که فرایند یادگیری حرکتی را مورد بررسی قرار نداده بودند. ۶. مقالاتی که در بررسی یادگیری حرکتی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی از دارو، یا تکنیک‌های دیگری نظیر ترسیم با آینه، تمرینات ذهنی و تصویری، بازی‌های رایانه‌ای، تکالیف ردیابی مسیر یا تکالیف سازگاری حرکتی به‌عنوان ابزار استفاده کرده بودند. ۷. مقالاتی که به‌صورت مروری و یا گزارش‌های موردی بودند.

در فرایند اجرای تحقیق، برای ارزیابی اعتبار و کیفیت روش‌شناختی و گزارش‌دهی مطالعات موردبررسی، از چک‌لیست داونز و بلک[18] استفاده شد. این ابزار به‌طور ویژه برای ارزیابی مطالعات تصادفی و غیرتصادفی مورد استفاده قرار گرفته و جنبه‌هایی همچون گزارش‌دهی، اعتبار خارجی و داخلی، سوگیری و توان آماری را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. نسخه مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل ۱۵ شاخص بود. براساس دستورالعمل امتیازدهی این ابزار، نمره ۱۲ و بالاتر بیانگر کیفیت روش‌شناختی بالا، نمرات ۱۰ تا ۱۱ نشان‌دهنده کیفیت متوسط و نمره کمتر از ۱۰ نشان‌دهنده کیفیت ضعیف مطالعه است. این ابزار دارای پایایی درون ـ بین ارزیاب r=۰/۷۵ و پایایی آزمون آزمون مجدد r=۰/۸۵ است که نشان‌دهنده پایایی مطلوب آن است [۲۷]. چک‌لیست مذکور توسط ۲ ارزیاب مستقل تکمیل شد و در صورت وجود اختلاف‌نظر، مورد بحث و توافق قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت مطالعات در **جدول شماره ۱** ارائه شده است.

یافته‌ها

در این مطالعه مروری نظام‌مند، جست‌وجوی جامع در پایگاه‌های اطلاعاتی مختلف انجام شد که در مرحله شناسایی، منجر به شناسایی ۱۱۳ مقاله در حوزه یادگیری حرکتی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی شد. در مرحله غربالگری اولیه براساس عنوان و چکیده، مقالاتی که معیارهای ورود را برآورده نمی‌کردند و همسویی یا ارتباط محتوایی ضعیفی با اهداف پژوهش داشتند، کنار گذاشته شدند که منجر به حذف ۱۰۰ مقاله شد. در مرحله بررسی کامل متن، از ۱۳ مقاله باقی‌مانده، ۴ مقاله به دلیل عدم دسترسی یا عدم تطابق کامل با معیارهای ورود، حذف شدند. درنهایت براساس معیارهای ورود و خروج تعیین‌شده، ۹ مقاله که بیشترین ارتباط با موضوع و واجد تمامی معیارهای کیفی و محتوایی بودند، برای بررسی و سنتز نهایی انتخاب شدند. نمودار مربوط به نحوه انتخاب مطالعات در **تصویر شماره ۱** ارائه شده است. این مطالعات به‌صورت دقیق و کامل مورد تحلیل قرار گرفت و یافته‌های اصلی استخراج‌شده از آن‌ها به‌صورت خلاصه در **جدول شماره ۲** گزارش شده است.

همان‌طور که در **جدول شماره ۱** مشاهده می‌شود، براساس دستورالعمل امتیازدهی چک‌لیست داونز و بلک نتایج ارزیابی نشان داد کیفیت ۴ مقاله [۲۸، ۳۰-۳۲] در سطح بالا (نمره ۱۲ و بالاتر) و کیفیت ۵ مقاله [۱۸، ۲۱، ۲۲، ۳۱، ۳۳] در سطح متوسط (نمره بین ۱۰ تا ۱۱) بوده است. این نتایج بیانگر آن است که بیشتر مطالعات بررسی‌شده از کیفیت روش‌شناختی نسبتاً مطلوبی برخوردار بوده‌اند.

18. Downs and Black

جدول ۲. اطلاعات استخراج شده از مطالعات موردبررسی.

نویسنده / سال انتشار	شرکت‌کنندگان، میانگین سن؛ دامنه، جنسیت	معیار تشخیص	شاخص اصلی بررسی‌شده	پارادایم یا تکلیف مورداستفاده	نتایج مطالعه
لوژن و همکاران (۲۰۱۳) [۱۸]	۱۷ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، ۱۷ کودک کنترل دامنه: ۶ تا ۱۲ سال (میانگین سن گروه اختلال هماهنگی رشدی:۹/۱۲ سال؛ میانگین سن کنترل: ۹/۰۸سال) ۱۱ پسر، ۶ دختر (اختلال هماهنگی رشدی و کنترل)	بر اساس DSM-5 ؛ عملکرد حرکتی < صدک ۱۵ در MABC، ۸۵ ≤ IQ ، شروع در کودکی، گزارش والدین	نوع یادگیری: ضمنی؛ مرحله یادگیری: ۱ جلسه (سریع)	تکلیف زمان واکنش متوالی (SRTT) با یک صفحه لمسی، با توالی‌های شامل ۱۰ محرک؛ ۸ بلوک ۸۰ کوششی (بلوک هَفتم= تصادفی)	تفاوتی بین کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی و کنترل سالم در پاسخ به محرک‌های متوالی مشاهده نشد (P=۰/۱۵). کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی در انجام تکلیف یادگیری توالی حرکتی، عملکردی مشابه کودکان گروه کنترل دارند (P=۰/۱۹ برای تعامل گروه × بلوک و P=۰/۹۶ برای مقایسه RT گروه‌ها).
قیسن و همکاران (۲۰۱۱) [۲۱]	۱۸ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، ۲۰ کودک کنترل دامنه: ۸ تا ۱۳ سال (میانگین سن گروه اختلال هماهنگی رشدی: ۱۰ سال؛ میانگین سن کنترل: ۹/۱سال) اختلال هماهنگی رشدی: ۴ دختر، ۱۴ پسر؛ کنترل: ۸ دختر، ۱۲ پسر	بر اساس DSM-۲؛ عملکرد حرکتی < صدک ۵ در MABC-۲ ، ۸۵ ≤ IQ ، شروع در کودکی، تأیید متخصص	نوع یادگیری: صریح و ضمنی؛ مرحله یادگیری: یک جلسه (سریع)	تکلیف زمان واکنش متوالی (SRTT) دو دستی (با توالی های شامل ۱۰ محرک؛ انجام ۶ بلوک ۱۰۰ کوششی (بلوک پَنجم = تصادفی)	عملکرد کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی کمتر از کودکان سالم بود (P=۰/۰۰۱). کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی از تمرین ضمنی توالی حرکتی سود بردند و آموزش صریح برای آن‌ها مؤثر نبود. کودکان سالم با آگاهی صریح از توالی، یادگیری بهتری داشتند (P=۰/۰۰۱).
ویلسون و همکاران (۲۰۰۳) [۲۲]	۱۰ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، ۱۰ کودک کنترل دامنه: ۸ تا ۱۲ سال (میانگین سن گروه اختلال هماهنگی رشدی: ۱۰ سال؛ میانگین سن کنترل: ۱۰ سال) اختلال هماهنگی رشدی: ۲ دختر، ۸ پسر؛ کنترل: ۲ دختر، ۸ پسر	بر اساس DSM–IV ؛ عملکرد حرکتی < صدک ۱۵ در MABC ، ۸۵ ≤ IQ ، شروع در کودکی، گزارش معلم	نوع یادگیری: رویه‌ای/ ضمنی؛ مرحله یادگیری: یک جلسه (سریع)	تکلیف زمان واکنش متوالی (SRTT) (با توالی‌های شامل ۱۰ محرک؛ انجام ۵ بلوک ۱۰۰ کوششی (بلوک پنجم = تصادفی)	کودکان، حتی بدون آگاهی صریح، یادگیری رویه‌ای خوبی داشتند و بین گروه مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی و کنترل تفاوت قابل‌توجهی در زمان واکنش توالی‌ها (P=۰/۲۷۴) و شیب رگرسیون RT بلوک‌ها مشاهده نشد (P=۰/۱۲۵، t=۱/۸۱).
لوم و همکاران (۲۰۲۵) [۲۸]	۱۹ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، ۳۸ کودک کنترل. دامنه: ۶–۱۴ سال (میانگین سن اختلال هماهنگی رشدی: ۱۰/۴سال؛ میانگین سن کنترل: ۱۰/۴) اختلال هماهنگی رشدی: ۱۰ دختر، ۹ پسر؛ کنترل: ۱۸ دختر، ۲۰ پسر.	براساس DSM-5؛ عملکرد حرکتی < صدک ۱۵ در BOT-2 SF، نمره پایین در DCD–Q، شروع در کودکی	نوع یادگیری: رویه‌ای / ضمنی؛ مرحله یادگیری: ۱ جلسه (سریع)	تکلیف زمان واکنش متوالی (SRTT) با توالی‌های شامل ۴ بلوک ۶۰ کوششی (بلوک چهارم = بلوک تصادفی)	کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی واکنش کندتر و یادگیری ضمنی ضعیف‌تر نسبت به گروه کنترل داشتند (P=۰/۰۱۴)؛ تحلیل EEG نشان داد که فعالیت بتا در نواحی حرکتی گروه DCD کاهش یافته بود (P=۰/۰۲۰، Z =۲/۳۲۸).
بیانکو و همکاران (۲۰۲۴) [۲۹]	۱۹ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، ۴۰ کودک کنترل. دامنه: ۶–۱۴ سال (میانگین سن اختلال هماهنگی رشدی: ۱۰/۶۳سال؛ میانگین سن کنترل: ۹/۵۳سال) مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی: ۹ دختر، ۱۰ پسر؛ کنترل: ۱۸ دختر، ۲۲ پسر	بر اساس DSM-5؛ عملکرد حرکتی < صدک ۱۶ در BOT-2 SF، نمره پایین در DCD–Q، شروع در کودکی، گزارش والدین	نوع یادگیری: رویه‌ای / ضمنی؛ مرحله یادگیری: ۱ جلسه (سریع)	تکلیف زمان واکنش متوالی (SRTT) نسخه دکمه‌ای / لمسی با توالی‌های شامل ۱۰ محرک؛ ۴ بلوک ۶۰ کوششی (بلوک چهارم= تصادفی)	گروه کنترل یادگیری بهتری را در تکلیف نشان دادند (P=۰/۰۰۷)؛ کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی الگوی یادگیری مشابه نداشتند؛ همبستگی مثبت عملکرد با حجم قشر مخچه (r=۰/۰۳۲)؛ کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی حجم مخچه کمتر نسبت به گروه کنترل داشتند (P=۰/۰۱۸).
ون دایک و همکاران (۲۰۲۲) [۳۰]	۳۱ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، ۳۱ کودک کنترل دامنه: ۷–۱۱ سال (میانگین سن اختلال هماهنگی رشدی: ۹/۶۱ سال؛ میانگین سن کنترل: ۹/۸۳سال) اختلال هماهنگی رشدی: ۳ دختر، ۲۸ پسر؛ کنترل: ۱۳ دختر، ۱۸ پسر	بر اساس DSM-5؛ عملکرد حرکتی < صدک ۱۵ در MABC-2، نمره پایین در DCD–Q، شروع در کودکی، گزارش والدین	نوع یادگیری: رویه‌ای / ضمنی؛ مرحله یادگیری: ۱ جلسه (سریع)	تکلیف زمان واکنش متوالی (SRTT) با توالی‌های شامل ۱۰ بلوک، هر بلوک ترکیبی از ۵۰ کوشش تکراری و ۳۰ کوشش تصادفی.	یادگیری ضمنی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی نسبت به گروه کنترل (TD) حتی پس از کنترل عملکرد کلی، ضعیف‌تر و کمتر بود (P=۰/۰۲)؛ هر دو گروه قادر به تشخیص تفاوت بین توالی‌های تکراری و تصادفی بودند (P=۰/۰۰۱، P=۰/۰۰۱).
بلیس و همکاران (۲۰۲۱) [۳۱]	۱۱ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، ۲۰ کودک کنترل دامنه: ۸–۱۲ سال (میانگین سن گروه اختلال هماهنگی رشدی: ۹/۷۸ سال؛ میانگین سن کنترل: ۱۰/۱۷ سال) جنسیت گروه اختلال هماهنگی رشدی و گروه کنترل به صورت جزئی و به تفکیک ذکر نشده است.	بر اساس DSM-5؛ عملکرد حرکتی < صدک ۵ در M–ABC، نمره مشکوک در DCD–Q، شروع در کودکی، تأیید والدین	نوع یادگیری: رویه‌ای / ضمنی؛ مرحله یادگیری: ۱ جلسه (سریع)	تکلیف زمان واکنش متوالی (SRTT) با سه نوع محرک؛ هر شرایط شامل توالی‌های با ۶ بلوک ۱۰ کوششی (بلوک پَنجم = تصادفی)	یادگیری ضمنی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی به نوع محرک بستگی دارد. ارائه هم‌زمان محرک‌های کلامی (حروف) و غیرکلامی (موقعیت فضایی) منجر به یادگیری موفقی می شود (P=۰/۰۱۲). چون بهره‌گیری از اطلاعات چندگانه به جبران نقایص مغزی کمک می‌کند.

نویسنده / سال انتشار	شرکت‌کنندگان، میانگین سن؛ دامنه، جنسیت	معیار تشخیص	شاخص اصلی بررسی‌شده	پارادایم یا تکلیف مورداستفاده	نتایج مطالعه
اوپیتس و همکاران (۲۰۲۰) [۳۲]	۲۴ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، ۲۳ کودک کنترل دامنه: ۷–۱۰ سال (میانگین سن گروه اختلال هماهنگی رشدی: ۸/۷ سال؛ میانگین سن کنترل: ۸/۶ سال) اختلال هماهنگی رشدی: ۵ دختر، ۱۹ پسر؛ کنترل: ۱۱ دختر، ۱۲ پسر	بر اساس DSM-5؛ عملکرد حرکتی < صدک ۵ در M-ABC، نمره پایین یا مشکوک در DCD-Q، شروع در کودکی، تأیید والدین	نوع یادگیری: صریح و ضمنی؛ مرحله یادگیری: ۱ جلسه (سریع)	تکلیف زمان واکنش (پیش‌بینی) متوالی (SRTT) با (STPS) با توالی‌های ۶۰ کوششی و ۷۰ کوششی که در نصف کوشش‌ها نظم توالی مختل می‌شد تا توانایی پیش‌بینی بررسی شود.	کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی در تمایز توالی‌های تکرای و تصادفی و یادگیری صریح ضعیف‌تر بودند (P=۰/۰۰۲، P=۰/۰۰۱)؛ در EEG، تأخیر در پتانسیل پاریتال مرتبط با پیش بینی مشاهده شد (P=۰/۰۱)؛ یادگیری خودکار و ناخودآگاه (ضمنی) در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی کمتر، اما سالم و بی‌نقص است (P=۰/۰۰۱، t=۲/۶۱).
صالحی و همکاران (۲۰۱۶) [۳۳]	۱۲ کودک مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، ۱۲ کودک کنترل دامنه: ۸–۱۰ سال (میانگین سن گروه اختلال هماهنگی رشدی: ۸/۷ سال؛ میانگین سن کنترل: ۸/۳ سال) اختلال هماهنگی رشدی: ۱۲ پسر؛ کنترل: ۱۲ پسر	بر اساس DSM-4؛ عملکرد حرکتی < صدک ۱۵ در MABC-2، نمره پایین در DCD-Q، شروع در کودکی، گزارش والدین	نوع یادگیری: ضمنی؛ مرحله یادگیری: ۲ جلسه (آهسته)	تکلیف زمان واکنش متوالی (SRTT) کلاسیک با توالی‌های شامل ۱۰ محرک؛ ۱۰ بلوک ۱۰ کوششی (بلوک پنجم و ششم= تصادفی)	تنها برخی تفاوت‌های جزئی بین کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی و سالم در طول بلوک‌های تمرین مشاهده شد (P=۰/۰۷۲). عملکرد کلی در تکلیف توالی حرکتی، بیانگر وجود قابلیت یادگیری ضمنی توالی حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی است (P=۰/۰۰۱).

طب‌توانبخشی

بررسی مطالعات نشان داد تمامی مطالعات واردشده روی کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی و گروه کنترل سالم (همتایان سالم) انجام شدند و دامنه سنی شرکت‌کنندگان بین ۶ تا ۱۴ سال متغیر بوده است. تعداد شرکت‌کنندگان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی در مطالعات از ۱۰ تا ۳۱ کودک و گروه کنترل از ۱۰ تا ۴۰ کودک متغیر بود. همچنین در تمامی مطالعات موردبررسی، یادگیری حرکتی با استفاده از تکلیف زمان واکنش متوالی[19] (SRTT) ارزیابی شد که یک ابزار نوروسایکولوژیک استاندارد در پژوهش‌های عصب‌روان‌شناختی برای سنجش یادگیری توالی‌های حرکتی است. در هیچ‌یک از مطالعات، انتقال یادگیری از یک تکلیف به تکلیف دیگر یا از یک اندام به اندام دیگر بررسی نشده بود. همچنین تمامی پژوهش‌ها در محیط آزمایشگاهی کنترل‌شده انجام شده بودند. شاخص اصلی ارزیابی عملکرد در تمام مطالعات، زمان عکس‌العمل و دقت اجرای حرکت در بلوک‌های تکراری و تصادفی بود. تعداد بلوک‌ها و کوشش‌ها در پروتکل‌های مختلف متفاوت بود؛ به‌طوری‌که تعداد بلوک‌ها از ۴ تا ۱۰ بلوک و تعداد کوشش‌ها در هر بلوک از ۱۰ تا ۱۰۰ کوشش متغیر بود. در تمامی مطالعات، حداقل یک بلوک تصادفی برای سنجش پدیده یادگیری حرکتی ضمنی (اثر اختصاصی یادگیری) در نظر گرفته شده بود.

از بین مطالعات مورد بررسی، به لحاظ نوع و مراحل یادگیری، ۸ مطالعه یادگیری حرکتی ضمنی / رویه‌ای را مورد بررسی قرار دادند [۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۸-۳۳]. ۲ مطالعه، هم‌زمان یادگیری حرکتی ضمنی و صریح را بررسی کردند [۲۱، ۳۲]. در ۸ مطالعه بهبود عملکرد و یادگیری در طول یک جلسه (به‌طور سریع) ارزیابی شد [۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۸-۳۳] و تنها ۱ مطالعه پیشرفت‌های تدریجی در عملکرد را به‌منظور سنجش ثبات و ماندگاری اجرا، در بیش از ۱ جلسه (۲ جلسه‌ای) دنبال کرده است [۳۳].

19. Serial Reaction Time (SRTT)

یافته‌های عصب‌فیزیولوژیک و تصویربرداری

۳ مطالعه، علاوه بر سنجش زمان عکس‌العمل متوالی، از روش‌های تصویربرداری عصبی یا الکتروانسفالوگرافی برای بررسی مکانیسم‌های زیربنایی یادگیری حرکتی استفاده کردند [۲۸، ۲۹، ۳۲].

مطالعه لوم و همکاران تحلیل الکتروانسفالوگرافی (EEG)[20] را به کار گرفت و نشان داد تعدیل باند بتا در نواحی حرکتی کاهش یافته بود که بیانگر ضعف در پردازش خودکار حرکات در طی یادگیری حرکتی ضمنی است [۲۸]. بیانکو و همکاران از روش حجم‌سنجی ساختار مغزی با استفاده از نرم‌افزار فری‌سافر[21] برای پردازش تصاویر ام‌آرآی[22] ساختاری استفاده کردند و حجم مخچه و سایر ساختارهای مرتبط با یادگیری رویه‌ای (عقده‌های قاعده‌ای و نواحی پیش‌پیشانی) را استخراج کردند و نشان دادند حجم مخچه در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی کمتر از گروه کنترل است و با عملکرد ضعیف‌تر در یادگیری رویه‌ای رابطه دارد [۲۹]. اوپیتس و همکاران نیز با استفاده از ثبت‌های EEG تأخیر در مؤلفه مثبت آهیانه‌ای[23] (موج الکتریکی ظاهر شده در مغز پس از ارائه محرک و مرتبط با پردازش توالی‌ها) را در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی گزارش کردند که نشانگر نقص در پیش‌بینی و تشخیص توالی‌هاست [۳۲].

20. Electroencephalography
21. FreeSurfer
22. MRI
23. Late Parietal Positivity

الگوهای عملکرد رفتاری

در ۶ مطالعه، کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی نسبت به گروه کنترل واکنش کندتری داشتند و یادگیری ضمنی آن‌ها کاهش یافته بود [۲۱، ۲۸-۳۰، ۳۲، ۳۳]. در ۲ مطالعه تفاوت معناداری بین عملکرد کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی و گروه کنترل مشاهده نشد؛ بدین معنی که هر دو گروه یادگیری ضمنی مشابهی داشتند و هیچ‌کدام بر دیگری برتری نداشت [۱۸، ۲۲]. در ۱ مطالعه، گزارش شد یادگیری ضمنی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی به نوع محرک بستگی داشت به‌طوری‌که ارائه هم‌زمان محرک‌های کلامی (حروف) و دیداری (موقعیت فضایی) به بهبود یادگیری موفق توالی‌ها کمک می‌کند که نشان‌دهنده جبران نقص شبکه‌های عصبی از طریق ورودی چندحسی است. براساس این مطالعه، محرک‌های ترکیبی (حرفی + دیداری‌فضایی) با فعال کردن مسیرهای متعدد مغزی و ارائه سرنخ‌های چندگانه، نارسایی‌های شبکه‌های عصبی آسیب‌دیده را جبران می‌کنند و یادگیری را امکان‌پذیر می‌کنند، درحالی‌که محرک‌های تک‌بعدی (دریافت فقط یک نوع اطلاعات مثلاً موقعیت فضایی محرک) که فقط بر یک مسیر متکی هستند، منجر به شکست یادگیری می‌شوند [۳۱].

بررسی، مرور و ترکیب نتایج مطالعات نشان می‌دهد آموزش صریح برای کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی کمتر مؤثر است [۲۱، ۳۲]، درحالی‌که یادگیری ضمنی توالی حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی هنوز ممکن است، هرچند با کاهش سرعت واکنش یا ضعیف‌تر بودن (نوسان و کارایی کمتر) نسبت به گروه کنترل همراه است [۲۱، ۲۸-۳۰، ۳۲، ۳۳]. از طرفی، ارائه چندگانه محرک‌ها (مثلاً ارائه هم‌زمان محرک‌های کلامی و دیداری‌فضایی) و شرایط تمرینی (تکرار منظم، فاصله‌های درست و سرعت متناسب) می‌تواند یادگیری حرکتی را بهبود بخشد [۳۱]. این یافته‌ها همچنین با شواهد عصبی و تصویرسازی مغزی، مانند کاهش فعالیت بتا در نواحی حرکتی یا کاهش حجم مخچه، همسو هستند [۲۸، ۲۹].

بحث

هدف از انجام مطالعه حاضر، مروری نظام‌مند بر مطالعاتی بود که به بررسی یادگیری حرکتی در کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی پرداخته بودند. نتایج ۶ مطالعه نشان داد قابلیت یادگیری حرکتی ضمنی در کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی وجود دارد، اما این فرایند با ویژگی‌های متمایزی همراه است که عمدتاً شامل کُندی در اکتساب مهارت، نیاز به زمان و تکرار بیشتر و در برخی موارد، کاهش کارایی یادگیری نسبت به همسالان با رشد طبیعی است [۲۱، ۲۸-۳۰، ۳۲، ۳۳]. این یافته درمجموع، تصویری واقعی‌تر از تخمین‌های قبلی درباره ناتوانی یادگیری در این جمعیت ارائه می‌دهد. زیرا اگرچه پژوهش‌های بررسی‌شده به وجود نوعی نارسایی در یادگیری حرکتی به‌ویژه یادگیری کُندتر کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی اشاره دارند، اما این مسئله به‌هیچ‌وجه به معنای ناتوانی کامل در یادگیری حرکتی نیست. کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی فارغ از نوع یادگیری (صریح یا ضمنی) قادر به یادگیری حرکتی هستند، می‌توانند ازطریق تکرار و تمرین عملکرد حرکتی خود را بهبود بخشند و در مدت‌زمان کوتاهی راهبردهای حرکتی خود را تعدیل کنند. تفاوت بین کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی و کودکان سالم در درجه‌ی یادگیری است، نه در ماهیت یادگیری. کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی به علت کم‌تجربگی یا کم‌فعالی حرکتی، فرصت کافی برای تمرین، تکرار و تقویت الگوهای حرکتی به دست نمی‌آورند؛ درنتیجه، این امر موجب می‌شود در مقایسه با همسالان سالم، در یادگیری مؤثر و پایدار تکالیف حرکتی با دشواری بیشتری مواجه شوند [۳۰].

به‌طور خاص، نتایج مطالعات موردبررسی بیانگر آن است که کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی زمان بیشتری برای یادگیری مهارت‌های حرکتی نیاز دارند؛ یادگیری آنان معمولاً از سطح پایین‌تری آغاز می‌شود و روند پیشرفتشان کندتر، ناهماهنگ‌تر و کم‌دقت‌تر است [۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۸-۳۲]؛ بنابراین هرچند اختلال هماهنگی رشدی به معنای ناتوانی در یادگیری حرکتی نیست، اما این کودکان به‌طور طبیعی از آمادگی و راهبردهای مؤثر یادگیری کمتری برخوردارند. این یافته‌ها حاکی از آن است که اگرچه کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی در اکتساب و اجرای برخی مهارت‌های حرکتی روزمره با مشکل مواجه هستند، اما توانایی یادگیری ضمنی توالی‌های حرکتی در آن‌ها حفظ شده است و می‌توان از این ظرفیت در آموزش و توان‌بخشی آن‌ها بهره برد [۳۳]. علاوه‌براین، هنگام ارزیابی مهارت‌های یادگیری در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، باید سطح عملکرد عمومی و توانایی‌های پایه‌ای کودک نیز در نظر گرفته شود تا تفاوت‌ها و ضعف‌ها به‌درستی تبیین شوند.

یکی از موارد برجسته در این مرور، ناهمگنی قابل‌توجه در نتایج مطالعات بود. با اینکه در ۶ مطالعه [۲۱، ۲۸-۳۰، ۳۲، ۳۳] وجود یادگیری ضمنی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی تأیید شد و این کودکان فقط واکنش کندتری در تکالیف زمان عکس‌العمل متوالی نسبت به همتایان سالم خود نشان دادند، اما در ۲ مطالعه [۱۸، ۲۲] هیچ تفاوت معناداری بین دو گروه یافت نشد. این ناسازگاری ظاهری، نه‌تنها بازتابی از تفاوت‌های روش‌شناختی بین مطالعات است، بلکه به مسئله عمیق‌تری اشاره دارد و آن اینکه یادگیری حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی به‌شدت به شرایط تکلیف، نوع و پیچیدگی محرک‌ها، ساختار تمرینی، تعداد بلوک‌های تمرینی و سطح دشواری تکلیف وابسته است که می‌تواند یادگیری حرکتی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد و مربوط به نقص ذاتی یادگیری ضمنی

در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی نیست. تحلیل دقیق‌تر مطالعات نشان می‌دهد تفاوت‌های روش‌شناختی کلیدی می‌توانند این ناهمگنی را توضیح دهند.

برای نمونه، مطالعات ویلسون و همکاران [۲۲] و لوژن و همکاران [۱۸] که تفاوت معناداری بین گروه‌ها نیافتند، از پروتکل‌های تمرینی با تعداد کوشش‌های بیشتر (۸۰-۱۰۰ کوشش در هر بلوک) استفاده کردند، درحالی‌که برخی از مطالعاتی که تفاوت معنادار گزارش کردند [۲۸، ۲۹، ۳۱]، از بلوک‌های کوتاه‌تر (۱۰-۶۰ کوشش) بهره بردند. این الگو نشان می‌دهد که کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی ممکن است برای رسیدن به سطح عملکردی قابل‌مقایسه با همسالان سالم، به تکرار و تمرین بیشتری نیاز داشته باشند و این یافته با فرضیه یادگیری کندتر به جای عدم یادگیری همخوانی دارد.

علاوه‌براین، مطالعه بلیس و همکاران [۳۱] اهمیت نوع محرک را برجسته می‌کند. این مطالعه نشان داد ارائه هم‌زمان محرک‌های کلامی و غیرکلامی منجر به یادگیری ضمنی موفق در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی می‌شود، درحالی‌که محرک‌های تک‌بعدی با شکست در یادگیری همراه بودند. این یافته بیانگر اهمیت و نقش تعیین‌کننده طراحی دقیق و مناسب تکلیف و تعدیل ویژگی‌های محرک‌ها برای جبران محدودیت‌های حرکتی و شناختی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی و منطبق با نظریه کدگذاری دوگانه است که پیشنهاد می‌کند کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی می‌توانند ازطریق فعال‌سازی مسیرهای عصبی متعدد، نارسایی‌های شبکه‌های آسیب‌دیده را جبران کنند. این مکانیسم جبرانی نشان می‌دهد محدودیت‌های یادگیری در اختلال هماهنگی رشدی ماهیتی ساختاری‌عصبی دارند و می‌توانند با دستکاری‌های محیطی و روش‌شناختی مناسب تعدیل شوند.

این یافته کاربردهای عملی مهمی برای طراحی برنامه‌های توان‌بخشی و آموزش حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی دارد و بر این نکته تأکید دارند که به علت تأخیر بیشتر کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی در اکتساب مهارت‌های جدید و کاهش کارایی یادگیری، مداخلات مؤثر برای این کودکان باید تا حد امکان مبتنی بر یادگیری ضمنی، محرک‌های ترکیبی و چندحسی با ساختار تمرینی متنوع (تکرار منظم، فواصل، و سرعت مناسب) و متناسب با پروفایل شناختی‌حرکتی هر کودک باشد تا بهینه‌ترین نتایج در اکتساب و تحکیم مهارت‌های حرکتی حاصل شود.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این مرور، یکپارچه‌سازی یافته‌های رفتاری با شواهد عصب‌فیزیولوژیک و تصویربرداری مغزی است. ۳ مطالعه [۲۸، ۲۹، ۳۱] که از روش‌های EEG و ام‌آرآی استفاده کردند، الگوی همسانی از اختلالات عصبی را نشان دادند که با ضعف‌های رفتاری مشاهده‌شده مرتبط بودند. یافته‌های لوم و همکاران [۲۸] درباره کاهش تعدیل باند بتا در نواحی حرکتی مغز، به‌ویژه قابل‌توجه است. نوسانات بتا به‌طور سنتی با حفظ وضعیت فعلی حرکتی و مهار تغییرات حرکتی مرتبط دانسته می‌شوند و کاهش آن در طی یادگیری ضمنی نشان‌دهنده فعال‌سازی و بازسازی شبکه‌های حرکتی است. کاهش این تعدیل در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی ممکن است بیانگر عدم انعطاف‌پذیری شبکه‌های حرکتی و ناتوانی در بازنمایی و خودکارسازی الگوهای حرکتی جدید باشد. این یافته با نظریه اختلال در پردازش داخلی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی همخوانی دارد که پیشنهاد می‌کند این کودکان در ساخت و به‌روزرسانی مدل‌های پیش‌بینانه درونی دچار نقص هستند.

یافته‌های بیانکو و همکاران [۲۹] درباره رابطه بین حجم مخچه و عملکرد کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی در تکلیف SRTT، جنبه دیگری از درک و فهم را اضافه می‌کند. کاهش حجم مخچه در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی و همبستگی مثبت آن با عملکرد یادگیری، به نقش محوری مخچه در یادگیری ضمنی و توالی‌های حرکتی اشاره دارد. مخچه نه‌تنها در هماهنگی و زمان‌بندی حرکات نقش دارد، بلکه در پیش‌بینی پیامدهای حسی‌حرکتی و تطبیق خطاها نیز دخیل است. بنابراین اختلال در ساختار مخچه و کاهش حجم آن ممکن است یکی از عوامل عصبی کلیدی باشد که باعث کُندی یادگیری و ضعف در خودکارسازی مهارت‌های حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی می شود.

یافته‌های EEG اوپیتس و همکاران [۳۲] نیز مکمل این تصویر است. تأخیر در مؤلفه مثبت آهیانه‌ای مغز (تأخیر در واکنش نسبت به تغییرات در توالی‌ها) در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی نشان می‌دهد پردازش توالی‌ها و پیش‌بینی رویدادهای آتی در این کودکان با اختلال همراه است. این تأخیر عصبی با ضعف رفتاری در تشخیص و تمایز توالی‌های تکراری و تصادفی همخوانی دارد و بر فرضیه اختلال در مدل پیش‌بینانه درونی[24] در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی تأکید می‌کند؛ به‌طوری‌که وقتی اتفاق جدیدی می‌افتد یا خطایی رخ می‌دهد، مغز آن‌ها نمی‌تواند اطلاعات جدید را به‌طور مؤثر در پیش‌بینی‌های آینده لحاظ کند و درنتیجه بازنمایی ذهنی از توالی‌ها مبهم‌تر می‌شود و توانایی تشخیص الگوهای محیطی کاهش می‌یابد.

درمجموع، این شواهد عصبی‌زیستی نشان می‌دهند محدودیت‌های یادگیری حرکتی در اختلال هماهنگی رشدی ریشه در اختلالات ساختاری و عملکردی شبکه‌های عصبی خاص - به‌ویژه مخچه، قشر حرکتی و نواحی آهیانه‌ای - دارند.

24. Internal Forward Model

این شبکه‌ها در یکپارچه‌سازی اطلاعات حسی‌حرکتی، پیش‌بینی پیامدها و خودکارسازی حرکات نقش دارند. اختلال در این سیستم‌ها، نه‌تنها بیانگر کُندی یادگیری است، بلکه نشان می‌دهد که چرا کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی در شرایط خاص (مانند ارائه محرک‌های چندگانه) می‌توانند (ازطریق فعال کردن مسیرهای جایگزین) عملکرد بهتری داشته باشند.

یکی از یافته‌های مهم این مرور، تفاوت در اثربخشی یادگیری صریح و ضمنی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی است. ۲ مطالعه [۲۱، ۳۲] که هر ۲ نوع یادگیری را بررسی کردند، نشان دادند آموزش صریح برای کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی کم‌اثرتر یا حتی مخرب است، درحالی‌که یادگیری ضمنی (با وجود کندتر بودن) به نتایج بهتری منجر می‌شود. این الگو با نظریه‌های شناختی درباره تفاوت‌های پردازشی بین ۲ نوع یادگیری همخوانی دارد. یادگیری صریح نیازمند منابع توجهی، حافظه کاری و پردازش‌های شناختی گسترده است؛ یعنی دقیقاً همان عوامل پایه‌ای و حوزه‌هایی که تحقیقات نشان داده‌اند در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی با محدودیت مواجه هستند

علاوه‌براین، تلاش برای درک و اعمال آگاهانه قوانین حرکتی ممکن است با فرایند خودکارسازی طبیعی تداخل کند و به پدیده‌ای معروف به نام فلج ناشی از تحلیل منجر شود. در مقابل، یادگیری ضمنی که به‌تدریج و ازطریق تکرار و تجربه اتفاق می‌افتد، بار شناختی کمتری دارد و به شبکه‌های عصبی زیرقشری (مانند عقده‌های قاعده‌ای و مخچه) متکی است. این شبکه‌ها، هرچند ممکن است در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی کارایی کمتری داشته باشند، اما با تمرین کافی می‌توانند یادگیری را تسهیل کنند. یافته قیسن و همکاران [۲۱] که نشان داد کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی از تمرین ضمنی سود بردند، اما آموزش صریح به دلیل پردازش ذهنی و بار شناختی اضافی، برای آن‌ها مؤثر نبود، این تمایز را به‌طور قانع‌کننده‌ای نشان می‌دهد. این یافته‌ها پیامدهای مهمی برای برنامه‌های آموزشی و توان‌بخشی دارند. بدین‌صورت که رویکردهایی که بر اکتشاف، تمرین تکراری با بازخورد غیرصریح، و یادگیری ازطریق تجربه تأکید می‌کنند، ممکن است برای کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی مؤثرتر از روش‌های آموزش مستقیم و قاعده‌محور باشند.

یکی دیگر از یافته‌های با اهمیت این مرور، نقش جبران عصبی و انعطاف‌پذیری مغزی است. یافته بلیس و همکاران [۳۱] درباره اثر محرک‌های چندگانه، مفهوم مهمی را مطرح می‌کند: مغز کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی از ظرفیت جبران و انعطاف‌پذیری برخوردار است. وقتی یک شبکه عصبی یا مسیر خاص با محدودیت مواجه است، مغز می‌تواند از مسیرهای جایگزین یا شبکه‌های موازی برای تحقق یادگیری استفاده کند.

این مکانیسم جبرانی با مفهوم انعطاف‌پذیری عصبی و قابلیت بازسازی مغز همخوانی دارد. ارائه محرک‌های کلامی و دیداری‌فضایی به‌طور هم‌زمان، نه‌تنها اطلاعات زیادی ارائه می‌دهد، بلکه شبکه‌های عصبی متعددی (شامل نواحی زبانی، بینایی، فضایی، و حرکتی) را فعال می‌کند. این فعال‌سازی توزیع‌شده، بار را بین شبکه‌های مختلف توزیع می‌کند و احتمال یادگیری موفق را افزایش می‌دهد، حتی زمانی که برخی از شبکه‌ها عملکرد ضعیفی دارند. این یافته همچنین تأکید می‌کند که محدودیت‌های اختلال هماهنگی رشدی ماهیتی مطلق ندارند. در شرایط مناسب و با دستکاری‌های محیطی دقیق، کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی می‌توانند یادگیری مؤثری داشته باشند. این دیدگاه، از رویکرد نقص‌محور به سمت رویکرد توانمندی‌محور حرکت می‌کند و بر اهمیت طراحی محیط‌ها و تکالیفی که با پروفایل شناختی‌حرکتی این کودکان سازگار هستند، تأکید دارد.

در مطالعه مروری حاضر، تنها پژوهش‌هایی مورد بررسی قرار گرفتند که با استفاده از تکالیف زمان واکنش متوالی به ارزیابی یادگیری حرکتی در کودکان دارای اختلال هماهنگی رشدی پرداخته بودند و سایر روش‌های سنجش پدیده یادگیری حرکتی، مانند تکلیف‌های سازگاری یا تطبیق حرکتی و تکلیف ضربه زدن با انگشت در دامنه بررسی قرار نگرفتند. همچنین صرفاً مطالعات منتشرشده به ۲ زبان فارسی و انگلیسی در این مرور گنجانده شدند و پژوهش‌های منتشرشده به زبان‌های دیگر بررسی نشد. افزون‌براین، مطالعاتی که از مداخلات خاص مانند تحریک الکتریکی، تمرینات ذهنی، ترسیم با آینه، بازی‌های رایانه‌ای (واقعیت مجازی) یا تکالیف ردیابی مسیر را برای بررسی یادگیری حرکتی استفاده کرده بودند، در تحلیل حاضر وارد نشدند. پژوهش‌های آینده باید با در نظر گرفتن این موارد که هریک می‌تواند به صورت مروری نظام‌مند انجام شود، انتقال یادگیری بین تکالیف، اعضای بدن و محیط‌های واقعی را بررسی کنند و همچنین تحکیم و نگهداری بلندمدت مهارت‌ها را مورد توجه قرار دهند تا ضمن دقیق‌تر مشخص‌شدن وضعیت یادگیری حرکتی در کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، راهنمایی‌های عملی برای مداخلات آموزشی و توانبخشی ارائه شود.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، مجموع یافته‌ها حاکی از آن است که کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی علی‌رغم نارسایی‌های حرکتی، قادر به یادگیری ضمنی توالی‌های حرکتی هستند، اما سرعت و کارایی یادگیری آن‌ها در مقایسه با همسالان سالم کمتر بود و به زمان و تمرین بیشتری برای رسیدن به سطح عملکرد مشابه نیاز دارند. این مسئله به معنای ناتوانی کامل در یادگیری حرکتی نیست، بلکه این کودکان تنها به‌طور طبیعی از آمادگی و

راهبردهای مؤثر یادگیری کمتری برخوردارند. براساس مطالعات مرورشده، تفاوت‌های مشاهده‌شده در میزان یادگیری کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی و همتایان سالم، تا حد زیادی به ویژگی‌های تکلیف، نوع محرک‌های ارائه‌شده و شرایط تمرین وابسته است. به‌طوری‌که ارائه محرک‌های چندحسی (به‌ویژه ترکیب نشانه‌های کلامی + دیداری‌فضایی) و ایجاد شرایط تمرین متنوع می‌تواند به بهبود قابل‌توجهی در یادگیری حرکتی این کودکان منجر شود.

همچنین، یادگیری صریح برای کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی اثربخشی کمتری دارد. در مقابل، یادگیری ضمنی که به منابع شناختی کمتر وابسته است، روش مؤثرتری برای اکتساب مهارت‌های حرکتی آن‌ها محسوب می‌شود. علاوه‌براین در سطح عصبی، یافته‌های مطالعات تصویربرداری مغزی و الکتروفیزیولوژیک، شواهدی از درگیری شبکه‌های قشری و زیرقشری، به‌ویژه عقده‌های قاعده‌ای و مخچه در فرایند یادگیری حرکتی ضمنی فراهم کرده است. این داده‌ها تأیید می‌کنند که اختلال در عملکرد این نواحی می‌تواند مبنای برخی از نارسایی‌های مشاهده‌شده در یادگیری حرکتی کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی باشد. باتوجه‌به مرور مطالعات انجام‌شده، توصیه می‌شود در محیط‌های آموزشی، درمانی و توان‌بخشی و کار با کودکان مبتلا به اختلال هماهنگی رشدی، برنامه‌های مداخله‌ای با تکیه بر قابلیت‌های یادگیری ضمنی طراحی شوند تا از ظرفیت طبیعی سیستم عصبی این کودکان برای کسب مهارت ازطریق تجربه و تکرار غیرآگاهانه بیشترین بهره گرفته شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه از نوع مرور نظام‌مند بود و هیچ‌گونه مداخله‌ای بر نمونه‌های انسانی یا حیوانی انجام نشده است؛ ازاین‌رو نیازمند دریافت کد اخلاق نبود. تمامی قواعد و اصول اخلاق در پژوهش رعایت شده است.

حامی مالی

این پژوهش با حمایت مالی **دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی** (شماره کمک هزینه ۳۹۷۰۳۲/۴۰۴) انجام شده است.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسنده، این مقاله تعارض منافع نداد.

References

[1] Blank R, Barnett AL, Cairney J, Green D, Kirby A, Polatajko H, et al. International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. Developmental Medicine & Child Neurology. 2019; 61(3):242-85. [DOI:10.1111/dmcn.14132] [PMID]

[2] Smits-Engelsman B, Bonney E, Ferguson G. Motor skill learning in children with and without Developmental Coordination Disorder. Human Movement Science. 2020; 74:102687. [DOI:10.1016/j.humov.2020.102687] [PMID]

[3] Lejeune C, Wansard M, Geurten M, Meulemans T. Procedural learning, consolidation, and transfer of a new skill in Developmental Coordination Disorder. Child Neuropsychology. 2016; 22(2):143-54. [DOI:10.1080/09297049.2014.988608] [PMID]

[4] Biotteau M, Chaix Y, Albaret JM. What do we really know about motor learning in children with developmental coordination disorder? Current Developmental Disorders Reports. 2016; 3(2):152-60. [DOI:10.1007/s40474-016-0084-8]

[5] Gao J, Yang Y, Xu X, Huang D, Wu Y, Ren H, et al. Motor-based interventions in children with Developmental Coordination Disorder: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. Sports Medicine-Open. 2025; 11(1):59. [DOI:10.1186/s40798-025-00833-w] [PMID]

[6] Saidmamatov OA, Nascimento MM, Cerqueira JC, Rodrigues P, Vasconcelos O. Motor skill training programs for children with developmental coordination disorder: Does gender matter? Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence. 2022; 70(4):183-94. [DOI:10.1016/j.neurenf.2022.03.001]

[7] Lee K. Enhancing motor performance and physical fitness in children with developmental coordination disorder through fundamental motor skills exercise. Healthcare. 2024; 12(21):2142. [DOI:10.3390/healthcare12212142] [PMID]

[8] Salehi SK, Tahmasebi F, Talebrokni FS. A different look at featured motor learning models: Comparison exam of Gallahue's, Fitts and Posner's and Ann Gentile's motor learning models. Movement & Sport Sciences-Science & Motricité. 2021; 112:53-63. [DOI:10.1051/sm/2021012]

[9] Meier B, Cock J. Offline consolidation in implicit sequence learning. Cortex. 2014; 57:156-66. [DOI:10.1016/j.cortex.2014.03.009] [PMID]

[10] Anderson DI, Lohse KR, Lopes TCV, Williams AM. Individual differences in motor skill learning: Past, present and future. Human Movement Science. 2021; 78:102818. [DOI:10.1016/j.humov.2021.102818] [PMID]

[11] Kleynen M, Braun SM, Bleijlevens MH, Lexis MA, Rasquin SM, Halfens J, et al. Using a Delphi technique to seek consensus regarding definitions, descriptions and classification of terms related to implicit and explicit forms of motor learning. PloS One. 2014; 9(6):e100227. [DOI:10.1371/journal.pone.0100227] [PMID]

[12] Kal E, Prosée R, Winters M, Van Der Kamp J. Does implicit motor learning lead to greater automatization of motor skills compared to explicit motor learning? A systematic review. PloS One. 2018; 13(9):e0203591. [DOI:10.1371/journal.pone.0203591] [PMID]

[13] Chauvel G, Maquestiaux F, Hartley AA, Joubert S, Didierjean A, Masters RSW. Age effects shrink when motor learning is predominantly supported by nondeclarative, automatic memory processes: Evidence from golf putting. Quarterly Journal of Experimental Psychology. 2012; 65(1):25-38. [DOI:10.1080/17470218.2011.588714] [PMID]

[14] Bo J, Lee CM. Motor skill learning in children with developmental coordination disorder. Research in Developmental Disabilities. 2013; 34(6):2047-55. [DOI:10.1016/j.ridd.2013.03.012] [PMID]

[15] Nejati V, Garusi Farshi MT, Ashayeri H, Aghdasi MT. Dual task interference in implicit sequence learning by young and old adults. International Journal of Geriatric Psychiatry. 2008; 23(8):801-4. [DOI:10.1002/gps.1976] [PMID]

[16] Mariën P, Wackenier P, De Surgeloose D, De Deyn PP, Verhoeven J. Developmental coordination disorder: Disruption of the cerebello-cerebral network evidenced by SPECT. The Cerebellum. 2010; 9(3):405-10. [DOI:10.1007/s12311-010-0177-6] [PMID]

[17] Zwicker JG, Missiuna C, Harris SR, Boyd LA. Brain activation associated with motor skill practice in children with developmental coordination disorder: An fMRI study. International Journal of Developmental Neuroscience. 2011; 29(2):145-52. [DOI:10.1016/j.ijdevneu.2010.12.002] [PMID]

[18] Lejeune C, Catale C, Willems S, Meulemans T. Intact procedural motor sequence learning in developmental coordination disorder. Research in Developmental Disabilities. 2013; 34(6):1974-81. [DOI:10.1016/j.ridd.2013.03.017] [PMID]

[19] Nissen MJ, Bullemer P. Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. Cognitive Psychology. 1987; 19(1):1-32. [DOI:10.1016/0010-0285(87)90002-8]

[20] Lum JA, Ullman MT, Conti-Ramsden G. Procedural learning is impaired in dyslexia: Evidence from a meta-analysis of serial reaction time studies. Research in Developmental Disabilities. 2013; 34(10):3460-76. [DOI:10.1016/j.ridd.2013.07.017] [PMID]

[21] Gheysen F, Van Waelvelde H, Fias W. Impaired visuo-motor sequence learning in Developmental Coordination Disorder. Research in Developmental Disabilities. 2011; 32(2):749-56. [DOI:10.1016/j.ridd.2010.11.005] [PMID]

[22] Wilson PH, Maruff P, Lum J. Procedural learning in children with developmental coordination disorder. Human Movement Science. 2003; 22(4-5):515-26. [DOI:10.1016/j.humov.2003.09.007] [PMID]

[23] Hochhauser M, Ben Refael Y, Adi-Japha E, Bartov R. Kinetics and kinematics of shape tracing in children with probable developmental coordination disorder (pDCD). Children. 2025; 12(1):90. [DOI:10.3390/children12010090] [PMID]

[24] Izawa J, Criscimagna-Hemminger SE, Shadmehr R. Cerebellar contributions to reach adaptation and learning sensory consequences of action. Journal of Neuroscience. 2012; 32(12):4230-9. [DOI:10.1523/JNEUROSCI.6353-11.2012] [PMID]

[25] Wilson PH, Ruddock S, Smits-Engelsman B, Polatajko H, Blank R. Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: A meta-analysis of recent research. Developmental Medicine & Child Neurology. 2013; 55(3):217-28. [DOI:10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x] [PMID]

[26] Bonney E, Jelsma D, Ferguson G, Smits-Engelsman B. Variable training does not lead to better motor learning compared to repetitive training in children with and without DCD when exposed to active video games. Research in Developmental Disabilities. 2017; 62:124-36. [DOI:10.1016/j.ridd.2017.01.013] [PMID]

[27] Gholami F, Yousefi M, Zanguie H. [Postural control one year after surgery in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction versus healthy controls: A systematic review (Persian)]. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2025; 14(4):518-31. [DOI:10.32598/SJRM.14.4.3365]

[28] Lum JA, Hamilton KM, Leow LA, Marinovic W, Fuelscher I, Barhoun P, et al. Atypical beta oscillatory dynamics are related to poor procedural learning in children with developmental coordination disorder. Developmental Science. 2025; 28(4):e70031. [DOI:10.1111/desc.70031] [PMID]

[29] Bianco KM, Barhoun P, Lum JA, Fuelscher I, Enticott PG, Williams J, et al. Atypical procedural learning in children with developmental coordination disorder: A combined behavioral and neuroimaging study. Brain and Cognition. 2024; 177:106160. [DOI:10.1016/j.bandc.2024.106160] [PMID]

[30] Van Dyck D, Deconinck N, Aeby A, Baijot S, Coquelet N, De Tiege X, et al. Atypical procedural learning skills in children with Developmental Coordination Disorder. Child Neuropsychology. 2023; 29(8):1245-67. [DOI:10.1080/09297049.2022.2152433] [PMID]

[31] Blais M, Jucla M, Maziero S, Albaret JM, Chaix Y, Tallet J. Specific cues can improve procedural learning and retention in developmental coordination disorder and/or developmental dyslexia. Frontiers in Human Neuroscience. 2021; 15:744562. [DOI:10.3389/fnhum.2021.744562] [PMID]

[32] Opitz B, Brady D, Leonard HC. Motor and non-motor sequence prediction is equally affected in children with developmental coordination disorder. PLoS One. 2020; 15(11):e0232562. [DOI:10.1371/journal.pone.0232562] [PMID]

[33] Salehi SK, Sheikh M, Naghdi N. [Comparison of implicit motor sequence learning in children with and without developmental coordination disorder (persian)]. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2017; 12(6):362-9. [Link]