Mot. Behav, 2025, 17 (59): 121-136

Motor Behavior

Journal hompage: https://mbj.ssrc.ac.ir

Research Article

Comparison of Linear and non-linear Training Strategies on Coordination Variability of Basketball Free Shooting

Naghme Asadi[1], Shahab Parvinpour[2], Marzieh Balali[3], Zahra Entezari[4]

1. Department of physical education and sport science, Faculty of Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Physical Education, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Department of physical education and sport science, Faculty of Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 23/04/2023, Accepted: 01/09/2024, Online Published: 01/09/2024

* Corresponding Author: Shahab Parvinpour, E-mail: shahabpr@khu.ac.ir

How to Cite: Asadi, N; Parvinpour, Sh; Balali, M; Entezari, Z. (2025). Comparison of Linear and non-linear training strategies on coordination variability of basketball free shooting. Motor Behavior, 17(59), 121-136. In Persian. Doi: 10.22089/mbj.2024.14729.2098

Extended Abstract

Background and Purpose

Training motor skills presents notable challenges due to the complexity of exercises and individual differences among learners. Traditional linear methods often focus on replicating movement patterns and execution processes, assuming that imitating expert models leads to optimal outcomes. However, this assumption frequently fails, especially in diverse populations. Excessive repetition and isolated muscle activation—particularly in children—may result in maladaptive motor behaviors and overuse injuries. In contrast, contemporary approaches such as Nonlinear Pedagogy, including the Constraints-Led Approach (CLA) and Differential Learning (DL), emphasize variability and adaptability. These methods better equip athletes for dynamic, unpredictable environments typical of field sports. Research indicates that coordination development through differential learning occurs more efficiently and rapidly than with linear techniques. Accordingly, modern pedagogical strategies offer a more holistic and individualized framework for motor skill acquisition. This study investigates the comparative effects of linear and nonlinear instructional methods on learning basketball free throw performance, aiming to identify which approach yields superior skill development.

Methods

This study involved 45 healthy male students aged 9–10 years from elementary schools in Kerman, selected through a combination of random and convenience sampling. Inclusion criteria required participants to be in good health with no visual or motor impairments, ensuring a uniform baseline for motor performance assessment. Participants were randomly assigned to three instructional conditions representing distinct coaching approaches. Over four weeks, each group

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

participated in weekly 40-minute training sessions, organized as a 10-minute warm-up, 30 minutes of targeted practice, and a brief cool-down. Of the initial cohort, 28 students who completed all sessions were retained for post-intervention analysis, providing a complete data set for evaluating learning and coordination outcomes.

The linear training group received instruction through holistic demonstrations of whole-pattern movements coupled with command-style feedback. Corrections were provided only when attempts fell outside predefined performance boundaries, reinforcing a tolerance for minor errors while emphasizing overall movement efficiency. Demonstrations began with an overarching view of the complete movement and progressively broke down into constituent segments across four sessions to facilitate cognitive and motor chunking. By contrast, the CLA (constraint-led approach) and DL (dynamic limbs) groups were exposed to systematically varied task constraints designed to foster motor variability and adaptability. These constraints included alterations in ball size and material, hoop height, shooting distance, and target type, as well as alternating dominant and non-dominant hands, varying foot positioning, changing visual conditions (eyes open vs. eyes closed), adjusting support levels, and modifying body orientation during shooting. The aim was to explore how varied perceptual-motor contexts influence skill acquisition and transfer.

Baseline assessments captured each participant's height, and nine inertial measurement unit (IMU) sensors were affixed to anatomical landmarks on the upper limbs and trunk to enable comprehensive kinematic analysis. After calibration, participants completed ten practice trials prior to the pre-test, which consisted of ten basketball free-throw attempts scored under a modified Ifred accuracy protocol (Ifred, 1976). The intervention consisted of eight 45-minute sessions spread over four weeks, followed by a post-test mirroring the pre-test to assess changes in shooting accuracy and coordination. Data were analyzed using repeated-measures ANOVA and dependent t-tests, focusing on the RMSe (root mean squared error) values of the coordination index. Statistical processing employed MATLAB and SPSS to ensure robust cross-method validation. The results indicate that the CLA and DL groups yielded greater improvements in coordination variability and transfer to novel task contexts compared with the linear training group, suggesting that structured variability and constraint manipulation can enhance motor learning in pediatric populations. Implications for school-based physical education and the design of age-appropriate, adaptable coaching curricula are discussed, along with limitations and directions for future research.

Results

The present analysis indicates that both the Constraints-Led Approach (CLA) and Differential Learning (DL) methods produced substantial improvements in coordination variability across the elbow, wrist, and shoulder joints during basketball free-throw performance in boys aged 9–11 years. Across the three instructional conditions, the CLA group exhibited the most pronounced enhancement in joint coordination variability, surpassing both the DL and linear training groups. Statistical comparisons demonstrated that the CLA group achieved significantly higher gains in variability than the DL group, whereas no significant difference emerged between the DL and linear training conditions in this metric. These findings suggest that the structured perturbation of practice conditions inherent to CLA can more effectively diversify motor strategies and promote exploration of viable coordination patterns.

Regarding performance outcomes, both CLA and DL groups showed notable improvements in free-throw accuracy after the intervention period. Yet, there was no statistically significant difference in accuracy scores between the CLA and DL modalities, indicating comparable efficacy for accuracy gains within nonlinear instructional frameworks. In contrast, the linear

training group failed to exhibit meaningful progress in free-throw accuracy, highlighting the limited effectiveness of conventional repetitive instruction for skill acquisition in this younger cohort. The lack of improvement in the linear condition underscores the potential inadequacy of rote practice for fostering transferable motor skills amid developing youths.

A key finding is the association between enhanced coordination variability and improved motor performance within nonlinear training contexts. The CLA-driven enhancement in coordination variability correlated with better execution under dynamic and unpredictable task demands, aligning with the hypothesis that increased movement variability can facilitate adaptive responses. The deliberate manipulation of task constraints — including variations in ball size and material, hoop height, shooting distance, and body orientation — appears to be central to promoting exploratory movement strategies and the emergence of individualized, efficient motor solutions. These results reinforce the value of nonlinear pedagogical frameworks in youth sport settings, where fostering variability and adaptability may yield more robust motor learning than linear approaches that emphasize repetition and imitation.

Together, the evidence supports incorporating task variability and personalized challenges into practice designs to accelerate coordination development and improve performance in complex motor tasks such as basketball free throws. Implications for coaching, curriculum design, and future research directions are discussed, with attention to dose–response relationships, developmental considerations, and long-term transfer to game contexts.

Conclusion

This study highlights the superiority of nonlinear training methods—particularly the Constraints-Led Approach—in enhancing motor coordination and performance in young basketball players. CLA-based instruction led to the most significant improvements in joint coordination variability and free throw accuracy, outperforming both DL and linear methods. The findings support the theoretical premise that movement variability fosters adaptive motor learning, especially in dynamic sports environments. While DL also showed positive effects, its impact on coordination variability was not significantly different from linear training. These results suggest that manipulating task constraints is a powerful strategy for promoting individualized learning and skill acquisition in children. Coaches and educators are encouraged to adopt nonlinear pedagogical approaches in youth sports programs to optimize motor development and performance. Future research should explore long-term effects and applicability across different age groups and sports disciplines to further validate the efficacy of these methods.

Key Words: Constrain Led Approach, Differential Learning, Movement Coordination

Article Message

This study highlights the effectiveness of modern motor learning approaches in youth sports coaching. The findings support the integration of nonlinear pedagogy into coaching practices, emphasizing the value of task variability and constraint manipulation for developing motor skills in young athletes.

Ethical Considerations

This study was approved by Research Ethics Committee of Sport Sciences Research Institute (code: IR.SSRI.REC.1401.1515).

Authors' Contributions

All authors contributed equally across all stages of the research.

Conflict of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge all individuals who supported this research.

رفتار حرکتی، بهار ۱۴۰۴، دوره ۱۷، شماره ۵۹، صص. ۱۳۶-۱۲۱

رفتار حرکتی

Journal hompage: https://mbj.ssrc.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

تأثیر راهبردهای آموزشی خطی و غیرخطی بر تغییرپذیری هماهنگی پرتاب آزاد بسکتبال در کودکان

نغمه اسدی [۱]، شهاب پروین پور* [۲]، مرضیه بلالی [۳]، زهرا انتظاری خراسانی [۳]

۱. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی ، دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه خارزمی، تهران، ایران

۳. گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی ، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱، تاریخ انتشار آنلاین:۱۴۰۳/۰۶/۱۱

*نویسنده مسئول: شهاب پروین پور، ایمیل: shahabpr@khu.ac.ir

How to Cite: Asadi, N; Parvinpour, Sh; Balali, M; Entezari, Z. (2025). Comparison of Linear and non-linear training strategies on coordination variability of basketball free shooting. Motor Behavior, 17(59), 121-136. In Persian. Doi: 10.22089/mbj.2024.14729.2098

چکیده

پیچیدگی تمرینات آموزشی و موضوع تفاوت‌های فردی، چالش‌های زیادی را برای مربیان مهارت‌های حرکتی ایجاد کرده است. هدف این مطالعه مقایسه اثربخشی روش‌های آموزشی خطی و غیرخطی در تسهیل اکتساب هماهنگی در پرتاب آزاد بسکتبال بود. تعداد ۴۵ پسر (میانگین سنی= ۹±۱/۲ سال) به صورت تصادفی در گروه یادگیری خطی و دو گروه آموزش با دست‌کاری قیود تکلیف و آموزش افتراقی به‌عنوان روش غیرخطی، در هشت جلسه تمرینی به یادگیری مهارت پرتاب آزاد بسکتبال پرداختند. سنجش عملکرد و تغییرات هماهنگی با روش پیش‌آزمون-پس‌آزمون با دستگاه سنجش کینماتیک حرکتی بررسی شد. به‌منظور تحلیل داده‌ها از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (۳*۲) و آزمون t وابسته برای مقایسه نمرات RMSe استفاده شد. نتایج نشان داد که تغییرپذیری هماهنگی مفاصل مچ و آرنج به طور معناداری در گروه دست‌کاری قیود تکلیف بهبود یافت (P≤۰/۰۱) و نمرات دقت در دو گروه غیرخطی به طور معناداری افزایش پیدا کرد که این بهبود برای گروه دست‌کاری قیود تکلیف به مراتب بیشتر از دو گروه دیگر بود؛ درنتیجه پیشنهاد می‌شود که مربیان ورزشی از آموزش غیرخطی به‌خصوص دست‌کاری قیود تکلیف در آموزش کودکان خود بهره بگیرند.

واژگان کلیدی: آموزش قیودمحور، آموزش افتراقی، هماهنگی حرکتی.

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

مقدمه

روش‌های خطی و سنتی یادگیری اصول و قوانین مشخصی دارند که تمام یادگیرنده‌ها با تمرین‌های مشابهی از «ساده به سخت» و از «ساده به پیچیده» آموزش می‌بینند. در این روش، مربی به صورت جداگانه روی تمرین‌ها متمرکز می‌شود و در آخر، تمام تمرین‌ها در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و به صورت کلی تمرین می‌شوند (۱). براساس الگوی حرکتی ایده‌آل، پیچیدگی تمرین به‌تدریج افزوده می‌شود تا فرد به مرحله خودکاری برسد (۲). درواقع، روش خطی مانعی برای اکتشاف و یافتن راه‌حل‌های حرکتی فردی در پاسخ به مسائل حرکتی و تفکر نقادانه است (۳). دیدگاه خطی، بیشتر بر فرایند اجرا و الگوی حرکتی تمرکز دارد؛ درحالی‌که نتیجه تکلیف می‌تواند مهم‌تر باشد. عقیده تقلید از الگوی ماهرانه که اتوماتیک‌وار به نتیجه ایده‌آل می‌رسد، همیشه نمی‌تواند درست باشد (۴)؛ همان‌طورکه در عملکرد ورزشکاران نخبه دیده می‌شود که برای رسیدن به بهترین نتیجه، هرکدام از راه‌حل‌های مختلفی بهره می‌گیرند. از طرفی تکرارهای زیاد و استفاده متناوب از یک سری عضلات، به‌خصوص در کودکان، می‌تواند به استفاده اشتباه و بیش از حد[1] از یک گروه از عضلات منجر شود که برای کودک آسیب‌زا است (۵).

درمقابل، رویکردهای جدیدتر آموزش تربیت‌بدنی براساس پویایی‌های بوم‌شناختی است و رفتارهای حرکت برطبق تعامل پویا بین قیود کلیدی محیط، تکلیف و فرد انجام می‌شود (۶). در این نوع آموزش، فقط یک روش ایده‌آل برای رسیدن به هدف وجود ندارد، بلکه راه‌های فراوانی نیز وجود دارد که یادگیرنده با اکتشاف محیط به هدف مدنظر می‌رسد (۷)؛ به این صورت که روش مدنظر مربی به یادگیرنده دیکته نمی‌شود و مربی فقط نقش هدایت‌کننده دارد و با مثال و سرگرمی یادگیرنده را به سمت هدف هدایت می‌کند. این روش‌ها غالباً نتیجه‌گرا هستند و تمرکز زیادی بر فرایند اجرای مهارت ندارند. این رویکرد خود به زیرشاخه‌های مختلف تقسیم می‌شود که می‌توان به «آموزش افتراقی»[2] (۸، ۱) و «آموزش قیودمحور»[3] (۶) اشاره کرد. در آموزش افتراقی بیشتر بر قیود فردی تأکید می‌شود (برای مثال، با دست بسته شیرجه زدن) که سیستم کنترلی را برای شرایط متفاوت و جدید آماده می‌کند تا به صورت خودسازمان شرایط جدید و اختلالات واردشده بر رفتار حرکتی انسان را کنترل کند و درجات آزادی زیادی را که در اثر پیچیدگی مهارت ایجاد می‌شود، هماهنگ کند؛ تکلیف به شکل‌های مختلف و از طریق «تکرار بدون تکرار»[4] انجام می‌شود. درنهایت، یادگیرنده روش مطلوب انجام مهارت خاص را کشف می‌کند و با موقعیت‌های مختلف تطبیق می‌یابد. آموزش افتراقی از طریق تغییرپذیری حرکتی و نوسانات ایجادشده در تکلیف به فرد کمک می‌کند تا خود را با هدف مطلوب تطبیق دهد (۹). فلسفه آموزش افتراقی این است که «هیچ وقت یک چیز درست را با ترتیب درست تمرین نکنید» (۱۰). درواقع، در این آموزش تمرینات شلوغ[5] با تنوع کیفیتی و کمیتی زیاد وجود دارد، اما در آموزش قیودمحور، محیط بیشتر براساس دست‌کاری قیود تکلیف طراحی می‌شود؛ به این صورت که با دست‌کاری قیود مربوط به تکلیف مانند تغییر در تجهیزات، قوانین و نیازهای تمرینی سیستم کنترلی را درگیر می‌کند و از طریق جفت‌شدگی بین ادراک و عمل به یادگیرنده اجازه می‌دهد که به هماهنگی برسد (۱۱). این سبک آموزشی با ساده‌سازی تکلیف به یادگیرنده کمک می‌کند تا از پیچیدگی تمرین بکاهد و آموزش سریع‌تر و بهتر صورت گیرد (۱۱). مطالعات گسترده در ادبیات یادگیری حرکتی نشان داده‌اند که این روش آموزشی عملکرد حرکتی افراد را بهبود می‌دهد (۱۴-۱۱).

1. Abuse and overuse
2. Differential learning
3. Constraint led approach
4. Repetition without repetition
5. Noisy

براساس نظریه سیستم‌های پویا، یک سیستم برای رسیدن به پایداری تغییر حالت می‌دهد و درنتیجه الگوها ناپایدار می‌شوند. بعد از آن الگوهای جدید و پایدار به وجود می‌آیند. تغییرپذیری در کنترل حرکات، ویژگی مهم سیستم‌ها است که با ناپدید شدن الگوهای ناپایدار، الگوهای هماهنگ از تعامل درجات آزادی در سیستم و تعامل با محیط به صورت خودبه‌خودی ایجاد می‌شوند که این مفهوم خودسازمانی نام دارد (۱۵). عملکرد موفق به هماهنگی زیاد بین درجات آزادی بین عضلات اسکلتی نیاز دارد. از دیدگاه برنشتاین (۱۹۶۷)، هماهنگی به معنی «رسیدن به سطح تبحر در آزاد کردن درجات آزادی بدن در حال حرکت است». درواقع، ترکیب کردن سیستم‌های کنترل‌شدنی در بدن به‌منظور رسیدن به الگوی بهینه در اجرا. از منظر دینامیک غیرخطی، یادگیری موجب تغییر الگوی آموخته‌شده می‌شود و چیدمان کلی هماهنگی را در سیستم حرکتی تغییر می‌دهد. وقتی حرکتی در محیط یادگیری خاص و تحت قیود تکلیفی مشخص فراگرفته شود، دینامیک درونی فرد هم تغییر می‌کند و برای تسهیل اکتساب هماهنگی از هم‌کوشی‌های عضلانی کارکردی متفاوتی استفاده خواهد شد (۱۶). این هم‌کوشی‌ها از گرایش‌های هماهنگی سود می‌برند و در اثر تمرین منعطف‌تر می‌شوند و باعث می‌شوند که اجراها در محیط پویا کمی متفاوت باشند (۱۷). در این بین، بدن به صورت خودسازمان الگوهای هماهنگی حرکتی مرتبط با هماهنگی الگوی جدید را ایجاد می‌کند و توسعه می‌دهد. درواقع، در اثر تغییر پارامترهای کنترل، انتقال فاز از سازمان حرکتی ناپایدار به سازمان حرکتی پایدار، به صورت خود به خودی انجام می‌شود. الگوهای هماهنگی در اوایل یادگیری شکل می‌گیرند و با اکتساب مهارت بهبود پیدا می‌کنند؛ تغییرپذیری در این روند نشان از اکتساب مهارت دارد. تاکنون تحقیقات کمی به اندازه‌گیری این متغیر در نتیجه تأثیر رویکردهای مختلف آموزشی پرداخته‌اند و به نظر می‌رسد که بیشترین اثربخشی را داشته باشند. مطالعات نشان داده‌اند که آموزش افتراقی موجب تطبیق سریع‌تر با محیط، سرعت عکس‌العمل بیشتر، ارتقای یکپارچگی حسی-حرکتی، بهبود نوسانات قامتی، تسهیل اکتساب مهارت و اجرای الگوهای حرکتی کارآمد، بهبود تعادل، رشد خلاقیت و جلوگیری از آسیب می‌شود (۱۸، ۹). در این تمرینات با نوسانات تمرینی زیاد، فرد به صورت خودسازمان به اکتشاف محیط می‌پردازد و در این اکتشاف، حالت جدید و کارآمدتر اجرای حرکت را جستجو می‌کند (۱۹). با اضافه کردن نوسانات، سیستم می‌تواند راه‌حل‌های جدیدی را تجربه کند؛ بنابراین روندی خودسازمان ایجاد می‌شود و در نتیجه این تحریک‌پذیری‌ها سیستم به استراتژی هماهنگی جدیدی ارتقا پیدا می‌کند که به طور عادی در اثر تأثیرپذیری بیشتر و الگوهای پایدار حرکت است (۲۰). در آموزش افتراقی، نوسانات یک جزء حیاتی برای تمرین پایدارتر از شبکه‌های عصبی را در بر می‌گیرد (۲۱). جیمز مشاهده کرد که آموزش افتراقی نه‌تنها در مهارت‌های حرکتی پیچیده، بلکه در مهارت‌های حرکتی ساده نیز می‌تواند یادگیری حرکتی را ارتقا دهد (۲۲). همچنین محققان مدعی هستند که یادگیری افتراقی نه‌تنها منجر به افزایش سرعت اکتساب مهارت می‌شوند، بلکه باعث افزایش سرعت یادگیری نیز می‌شود (۲۴، ۲۳). فعالیت‌های مغزی ثبت‌شده در تمرینات افتراقی نشان داده‌اند که این تمرینات باعث تثبیت[1] بیشتر در یادگیری حرکتی می‌شود (۱۹). درمقابل، گری[2] در مقایسه بین سه روش آموزشی خطی، دست‌کاری قیود تکلیف و روش افتراقی در یادگیری ضربه بیسبال، آموزش به روش دست‌کاری قیود تکلیف را کارآمدترین روش آموزشی در اکتساب الگوی مطلوب و خودسازمانی معرفی می‌کند (۲۵). از طرفی محققان به این نتیجه رسیده‌اند که روش آموزش غیرخطی نسبت به روش خطی برتری دارد (۲۶). همچنین گری مشاهده کرد که روش دست‌کاری قیود تکلیف درجات اکتشاف را در فضای حرکتی ادراکی بیشتر ارتقا می‌دهد (۲۵). روش‌های غیرخطی به سیستم اجازه می‌دهند تا به صورت طبیعی بیشتر خودتنظیم باشند (۲۷).

1. Consolidation
2. Gray

روش‌های نوین آموزشی مانند روش‌های مبتنی بر پداگوژی غیرخطی، ضمن متنوع‌تر و جذاب کردن تمرین، احتمالاً نسبت به روش‌های خطی، بیشتر سیستم کنترلی انسان را برای رویارویی با محیط پویای ورزش‌های میدانی آماده می‌کند. به نظر می‌رسد که اکتساب هماهنگی در آموزش‌های نوین تربیت‌بدنی سریع‌تر و بهتر صورت می‌گیرد و همچنین در روش افتراقی به طور خاص در زمان کوتاه‌تر فرد می‌تواند به اکتساب هماهنگی برسد. در همین راستا، این مطالعه به بررسی تفاوت‌های سه روش آموزشی در اکتساب مهارت پرتاب آزاد بسکتبال می‌پردازد. در مرحله بعد، هدف ارائه برنامه تمرینی براساس اصول و قواعد روش‌های آموزشی نوین است. وجه تمایز این پژوهش با مطالعات دیگر در روش جمع‌آوری داده‌ها به صورت کینماتیکی در مقایسه بین سه گروه تمرینی خطی، آموزش با دست‌کاری قیود تکلیف و آموزش افتراقی است. همچنین مطالعات هماهنگی کمتری در زمینه کودکان انجام شده‌اند. از میان روش‌های آموزشی موجود و همچنین اهمیت زیاد فعالیت‌جسمانی در توسعه مهارت‌های حرکتی کودکان، این پژوهش به دنبال این است که کدام‌یک از روش‌های یادگیری موجب تسهیل اکتساب مهارت‌های حرکتی در کودکان می‌شود.

روش پژوهش

شرکت کنندگان این مطالعه تمام پسران ابتدایی ۹ -۱۰ ساله در مدارس شهر کرمان بودند. براساس پیشینه پژوهش، ۴۵ پسر به‌عنوان نمونه آماری از یکی از مدارس ابتدایی به صورت تصادفی و دردسترس انتخاب شدند. معیار ورود به مطالعه، سلامت کامل دانش‌آموزان و نبود هرگونه نقص بینایی و حرکتی بود. در ابتدا رضایت‌نامه‌ای از والدین دانش‌آموزان گرفته شد. سپس پیش‌آزمون به صورت میدانی اجرا شد و بعد از آن دانش‌آموزان به سه گروه تمرینی تقسیم شدند. چهار هفته، هر هفته دو جلسه ۴۰ دقیقه‌ای مداخله با گروه‌های آموزشی صورت گرفت که شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن، ۳۰ دقیقه جلسه آموزشی و تمرین و زمان کوتاهی برای سردکردن نهایی بود. درنهایت، ۲۸ نفر از دانش‌آموزان که در جلسات به صورت مداوم شرکت کردند، در پس‌آزمون بررسی شدند.

تکلیف انجام‌شده به این صورت بود که تمرینات خطی به صورت نمایش الگو و به روش دستوری با ارائه بازخورد دامنه‌ای داده شد؛ به این صورت که به کوشش‌هایی که در دامنه صحیح بودند، بازخورد داده نشد و تنها به کوشش‌هایی که خارج از دامنه بودند، بازخورد داده شد. ابتدا حرکت به صورت کلی نمایش داده شد و سپس آموزش تکلیف به صورت جزء به جزء انجام شد که در چهار جلسه تمرینی الگو به صورت کامل ارائه شد. مربی به صورت مکرر بازخورد داد و آموزش به صورت معلم‌محور و دستوری انجام گرفت. آموزش قیودمحور، با تنوع دادن به قیود حرکتی، یادگیرنده را به کشف راه‌حل ادراکی-حرکتی بهتر برای اجرای پرتاب آزاد بسکتبال تشویق می‌کند. در این روش با اضافه کردن قیود حرکتی به تسهیل یادگیری مهارت حرکتی می‌پردازد. در این مطالعه سایز و جنس متفاوت توپ، تغییر ارتفاع حلقه، تغییر فاصله تا حلقه و استفاده از اهداف مختلف به جای تخته و حلقه به‌عنوان قیود تکلیف استفاده شدند. در روش آموزش افتراقی، هدف کشف راه‌حل حرکتی بهتر از طریق جستجوی راه‌حل‌های متفاوت حرکتی با دست‌کاری قیود فردی است. در این مطالعه از دست برتر و غیربرتر، پرتاب در حالت‌های مختلف وضعیت پا، باز و بسته بودن چشم، تغییر سطح اتکا و تغییر در موقعیت قرارگیری بدن هنگام پرتاب برای ایجاد اختلال در اجرای حرکت استفاده شد.

به‌منظور اجرای پژوهش حاضر ابتدا قد دانش‌آموزان اندازه‌گیری شد و ۹ سنسور IMU[1] به اندام‌های بالایی شامل زائده نیزه‌ای زنداعلا (مچ دست)، اپی کندیل خارجی زند اعلا (آرنج)، زائده آخرمی (شانه)، پشت جمجه سر، مهره آخر گردنی و مهره آخر کمری دانش‌آموزان متصل شد. سپس به‌منظور تعیین موقعیت و کم کردن خطا، کالیبراسیون انجام شد و

1. IMU: Inertial movement units

۱۰ کوشش تمرینی پشت سر هم اجرا شد (۱۴). سپس پرتاب آزاد بسکتبال را در ۱۰ کوشش اجرا کردند و نتایج ثبت شد. ارتفاع تخته حلقه از سطح زمین ۲/۶ متر و فاصله خط پنالتی با تخته ۴ متر بود و از توپ سایز ۵ استفاده شد. در پیش‌آزمون دستورالعمل خاصی به اجرای کودکان داده نشد و فقط به صورت نمایش حرکت، نمایش پرتاب نشان داده شد و از آن‌ها خواسته شد که توپ را به سمت سبد پرتاب کنند.

سیستم سنجش حرکتی بی‌سیم، نیاز به دوربین ندارد و مبتنی بر واحدهای IMU است. سیستم مذکور این امکان را فراهم کرده است که خارج از محیط آزمایشگاه و در موقعیت‌های میدانی معیارهایی مانند سرعت، سرعت زاویه‌ای، شتاب خطی و موقعیت اندام‌ها را بسنجد. این ابزار به این صورت است که سنسورهای پوشیدنی با چسب‌های مخصوص به اندام‌ها متصل می‌شوند و اسکلت بدن انسان روی نرم افزار نمایش داده شده و اطلاعات مربوط ثبت می‌شود. دلیل اصلی استفاده از این سنسورها در این مطالعه، کاهش دادن تأثیر محیط آزمایشگاهی بر عملکرد کودکان و تسریع در فرایند جمع‌آوری داده‌ها بود. برای سنجش تغییرپذیری هماهنگی درون‌عضوی بین مفاصل از روش محاسبه ریشه میانگین مجذور خطا (RMSe) استفاده شد. روش محاسبه noRMS برای کمی کردن اطلاعات نمودار زاویه -زاویه و بررسی هماهنگی حرکتی به کار رفت؛ به این منظور از فرمول مولینیوکس (۲۰۰۱) که شکل اصلاح‌شده فرمول سایداوی (۱۹۹۵) است، استفاده شد.

$$NoRMS = 100 * \left(\frac{\sum_{j=1}^{k} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\bar{x}_A - x_{Ai}\right)^2 + \left(\bar{x}_B - x_{Bi}\right)^2} \Big/ n_j}{R} \right)$$

فرمول مولینیوکس (۲۰۰۱) به‌منظور محاسبه noRMS

همچنین آزمون دقت پرتاب آزادبسکتبال از شکل تعدیل‌شده آزمون پرتاب ایفرد (۱۹۷۶) به این صورت بود که توپ پرتاب‌شده به تخته و سبد برخورد کند اما گل نشود. ۱ امتیاز و در صورت گل شدن ۲ امتیاز و در غیر این صورت صفر امتیاز ثبت می‌شود. سپس هشت جلسه مداخله در چهار هفته به صورت جلسات ۴۵ دقیقه‌ای انجام شد و هر گروه مداخله مربوط را در زمان خود تمرین کرد. بعد از اتمام جلسات، پس‌آزمون با دستگاه سنجش حرکتی نوراکسون به صورت ۱۰ کوشش پرتاب آزاد بسکتبال انجام شد و پرتاب‌ها به صورت کمی و با نمره گذاری پنج‌ارزشی لیکرت، نمره‌گذاری شد. درنهایت، تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر و آزمون t وابسته برای مقایسه نمرات RMSe شاخص هماهنگی در برنامه متلب و نرم‌افزار SPSS صورت گرفت.

نتایج

با توجه به وجود عامل درون‌گروهی و بین‌گروهی در این طرح، به‌منظور آزمون تأثیر روش‌های دست‌کاری قیود تکلیف، آموزش افتراقی و خطی بر تغییرپذیری هماهنگی مفاصل آرنج-مچ از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (۳*۲) استفاده شد. نتایج این آزمون در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- خلاصه نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای مقایسه تغییرپذیری هماهنگی مفاصل آرنج-مچ

Table 1 - Summary of results of repeated-measures analysis of variance test to compare the variability of elbow-wrist joint coordination

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	df	میانگین مجذورات	F	Sig	η^2
اثر اصلی جلسات آزمون	611.30	1,24	611.30	37.30	*0.001	0.607
اثر اصلی گروه	567.62	2,24	283.81	8.90	*0.001	0.426
اثر تعاملی جلسات آزمون و گروه	116.69	2,24	58.34	3.53	*0.045	0.227

*P≤۰/۰۵

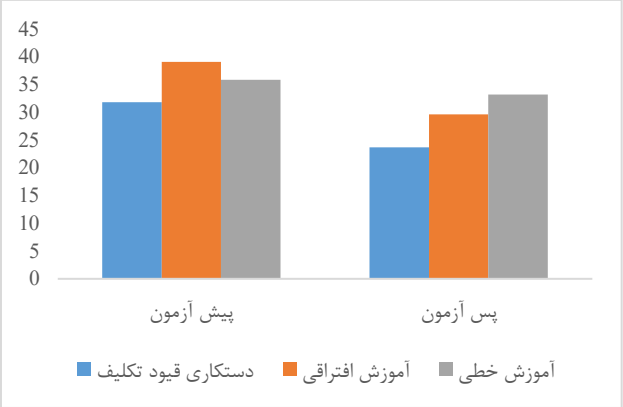
نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان می‌دهد که اثر اصلی جلسات آزمون ($F_{1,24}$= 37.30, P=0.01, η^2= 0.607)، اثر اصلی گروه ($F_{2,24}$= 8.90, P= 0.01, η^2= 0.426) و اثر تعاملی جلسات آزمون و گروه ($F_{2,24}$= 3.53, P= 0.01, η^2= 0.227) معنادار بود. با توجه به معناداری اثر تعاملی، به‌منظور تعیین محل اختلافات از آزمون‌های تعقیبی استفاده شد. همچنین با توجه به معنادار بودن اثر اصلی مراحل آزمون و اثر تعاملی مراحل و گروه به‌منظور بررسی تغییرات درون‌گروهی از آزمون t وابسته استفاده شد. همان‌طورکه در جدول (۲) مشخص است، نتایج آزمون t وابسته نشان داد که بین نمرات کسب شده در دو مرحله آزمون در دو گروه دست‌کاری قیود تکلیف و آموزش افتراقی تفاوت معنی‌داری وجود داشت و نمرات RMSe در مرحله پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون کاهش یافت؛ یعنی تغییرپذیری هماهنگی مفاصل آرنج-مچ در این گروه‌ها به‌طور معناداری بهبود یافت (P=0.01)، اما در گروه آموزش خطی تفاوت معناداری بین نمرات RMSe در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون مشاهده نشد و استفاده از روش آموزش خطی بر تغییرپذیری هماهنگی مفاصل آرنج-مچ تأثیر نداشت (P=0.212).

جدول ۲- خلاصه نتایج آزمون t وابسته برای مقایسه نمرات RMSe مفاصل آرنج-مچ

Table 2 - Summary of the results of the dependent t-test for comparing RMSe scores of the elbow-wrist joints

گروه	میانگین اختلاف‌ها	انحراف استاندارد اختلاف‌ها	t	df	Sig
دست‌کاری قیود تکلیف	8.14	5.13	5.01	9	0.001
آموزش افتراقی	9.50	6.39	4.20	7	0.004
آموزش خطی	2.62	5.80	1.35	8	0.212

درمجموع نتایج نشان می‌دهد که دو روش دست‌کاری قیود تکلیف و آموزش افتراقی منجر به بهبود معنادار تغییرپذیری هماهنگی مفاصل آرنج-مچ در اجرای پرتاب آزاد بسکتبال پسران ۹ تا ۱۱ سال شد، اما این بهبود برای گروه دست‌کاری قیود تکلیف به مراتب بیشتر بود؛ بنابراین مشخص است که استفاده از روش آموزش دست‌کاری قیود تکلیف منجر به بهبود معنادار تغییرپذیری هماهنگی مفاصل آرنج-مچ نسبت به دو گروه آموزش افتراقی و آموزش خطی شد. همچنین بین تأثیر استفاده از دو روش آموزش افتراقی و آموزش خطی تفاوت معناداری وجود نداشت. این نتایج به وضوح نشان می‌دهد که استفاده از روش آموزش دست‌کاری قیود تکلیف به طور معناداری منجر به بهبود تغییرپذیری هماهنگی مفاصل آرنج-مچ در اجرای پرتاب آزاد بسکتبال پسران ۹ تا ۱۱ سال شد. نمرات ثبت‌شده برای RMSe مفاصل آرنج- مچ در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱- نمرات RMSe مفاصل آرنج-مچ

Figure 1 - RMSe scores of elbow-wrist joints

با توجه به وجود عامل درون‌گروهی و بین‌گروهی در طرح تحقیق، به‌منظور آزمون تأثیر روش‌های دست‌کاری قیود تکلیف، آموزش افتراقی و خطی بر تغییرپذیری هماهنگی مفاصل شانه-آرنج از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (۳*۲) استفاده شد. نتایج این آزمون در جدول (۳) ارائه شده است.

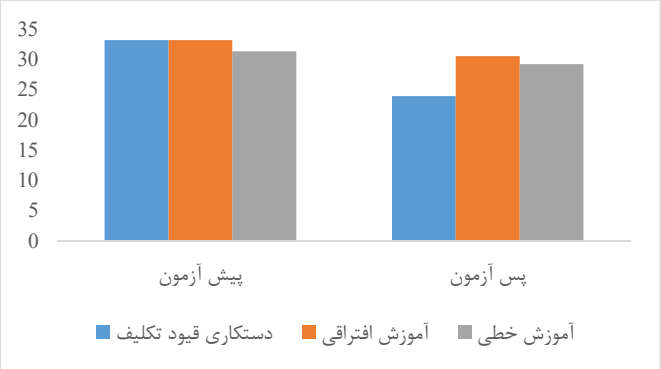
جدول ۳- خلاصه نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای مقایسه تغییرپذیری هماهنگی مفاصل شانه- آرنج

Table 3 - Summary of results of repeated measures analysis of variance test to compare variability of shoulder-elbow joint coordination

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	df	میانگین مجذورات	F	Sig	η^2
اثر اصلی جلسات آزمون	291.37	1,24	291.37	7.99	*0.009	0.250
اثر اصلی گروه	97.03	2,24	48.51	0.624	0.544	0.049
اثر تعاملی جلسات آزمون و گروه	148.38	2,24	0.1974	2.03	0.153	0.145

*P≤۰/۰۵

نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان می‌دهد که اثر اصلی جلسات آزمون ($F_{1,24}$=7.99, P=0.01, η^2= 0.250) معنادار بود؛ اما اثر اصلی گروه ($F_{2,24}$=0.624, P=0.544, η^2=0.049) و اثر تعاملی جلسات آزمون و گروه ($F_{2,24}$= 2.03, P=0.153, η^2=0.145) معنادار نبود. این نتایج نشان می‌دهد که به رغم اینکه به‌طورکلی بین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون تفاوت معناداری وجود داشت، بین هیچ یک از گروه‌ها تفاوت معنادار نبود. مرور نمرات نشان می‌دهد که در مرحله پس‌آزمون میانگین کلی نمرات RMSe مفاصل شانه-آرنج هر سه گروه نسبت به پیش‌آزمون کاهش یافت، اما تفاوت معناداری بین گروه‌های تحقیق یافت نشد. نمرات ثبت‌شده RMSe مفاصل شانه- آرنج در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل ۲- نمرات RMSe مفاصل شانه-آرنج

Figure 2 - RMSe scores of shoulder-elbow joints

با توجه به وجود عامل درون‌گروهی و بین‌گروهی در طرح تحقیق حاضر، به‌منظور آزمون تأثیر روش‌های دست‌کاری قیود تکلیف، آموزش افتراقی و خطی بر دقت پرتاب آزاد بسکتبال، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (۳*۲) استفاده شد. نتایج آزمون در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- خلاصه نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای مقایسه نمرات دقت پرتاب

Table 4 - Summary of results of repeated measures analysis of variance test for comparison of throwing accuracy scores

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	df	میانگین مجذورات	F	Sig	η^2
اثر اصلی جلسات آزمون	579.99	1,24	579.99	43.93	*0.001	0.646
اثر اصلی گروه	68.14	2,24	34.07	1.25	0.304	0.095
اثر تعاملی جلسات آزمون و گروه	199.17	2,24	99.58	7.51	*0.003	0.385

*P≤۰/۰۵

نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان می‌دهد که اثر اصلی جلسات آزمون ($F_{1,24}$=43.93, P= 0.01, η^2=0.646) و اثر تعاملی جلسات آزمون و گروه ($F_{2,24}$=7.51, P=0.01, η^2=0.385) معنادار بود، اما اثر اصلی گروه ($F_{2,24}$=1.25, P=0.304, η^2=0.095) معنادار نبود. این نتایج نشان می‌دهد، به رغم اینکه بین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون تفاوت معناداری وجود داشت، بین گروه‌های تحقیق هیچ‌گونه تفاوت معناداری مشاهده نشد. با توجه به معناداری اثرات اصلی مراحل آزمون و اثر تعاملی مراحل آزمون و گروه، به‌منظور تعیین محل اختلافات از آزمون t وابسته استفاده شد.

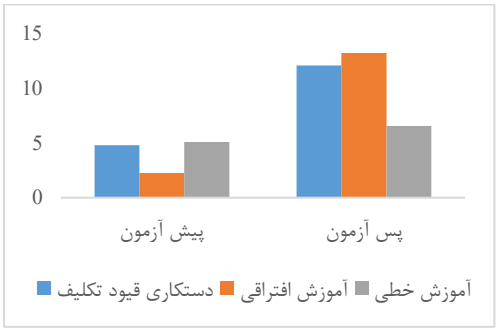
همان‌طورکه در جدول (۵) مشخص است، نتایج آزمون t وابسته نشان می‌دهد که بین نمرات کسب‌شده در دو مرحله آزمون در دو گروه دست‌کاری قیود تکلیف و آموزش افتراقی تفاوت معناداری وجود داشت و نمرات دقت پرتاب آزاد بسکتبال در مرحله پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش یافت؛ یعنی دقت پرتاب در این گروه‌ها به‌طور معناداری بهبود یافت (P=0.01)، اما در گروه آموزش خطی تفاوت معناداری بین نمرات دقت پرتاب آزاد بسکتبال در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون یافت نشد و استفاده از روش آموزش خطی بر دقت پرتاب آزاد بسکتبال تأثیر نداشت (P=0.538).

جدول ۵- خلاصه نتایج آزمون t وابسته برای مقایسه نمرات دقت پرتاب

Table 5- Summary of dependent t-test results for comparing throwing accuracy scores

گروه	میانگین اختلاف‌ها	انحراف استاندارد اختلاف‌ها	t	df	Sig
دست‌کاری قیود تکلیف	7.30	4.66	4.94	9	0.001
آموزش افتراقی	11.00	3.33	9.32	7	0.001
آموزش خطی	1.44	6.72	0.644	8	0.538

درمجموع نتایج نشان می‌دهد که هر دو روش دست‌کاری قیود تکلیف و آموزش افتراقی منجر به بهبود معنادار دقت پرتاب آزاد بسکتبال پسران ۹ تا ۱۱ سال شد و تفاوت معناداری بین دو گروه یافت نشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش آموزش خطی تأثیر معناداری بر دقت پرتاب آزاد بسکتبال پسران ۹ تا ۱۱ سال نداشت. نمرات ثبت‌شده برای دقت پرتاب آزاد بسکتبال در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل ۳- نمرات دقت پرتاب در دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون برای گروه‌های تحقیق

Figure 3- Throwing accuracy scores in the two pre-test and post-test stages for the research groups

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، مقایسه اثر دو راهبرد آموزشی خطی و غیرخطی در تسهیل آموزش پرتاب آزاد بسکتبال در کودکان بود؛ بر این اساس، ۴۵ دانش‌آموز پسر با میانگین سنی ۱/۲ ±۹ سال در مداخله هشت جلسه‌ای به سه روش آموزشی خطی و غیرخطی به صورت پیش‌آزمون-پس‌آزمون مطالعه شدند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش تغییرپذیری در اکتساب مهارت پرتاب آزاد بسکتبال مؤثر بود و آموزش براساس دست‌کاری قیود تکلیف نسبت به دو روش آموزشی افتراقی و خطی می‌تواند تأثیر بیشتری بر هماهنگی مفصل مچ و آرنج داشته باشد. همچنین دقت پرتاب در هشت جلسه آموزشی غیرخطی به طور معناداری بهبود داشت؛ درحالی‌که در روش آموزشی خطی بهبود معناداری مشاهده نشد. در راستای پژوهش‌های گذشته، نتایج این پژوهش همسو با مطالعات دیگر(۲۹، ۲۸، ۲۵، ۱)، نشان داد که روش آموزش غیرخطی می‌تواند نسبت به روش آموزش خطی نمرات دقت را بهبود دهد و در نمرات دقت در روش آموزش قیودمحورف بیشتر از روش افتراقی بهبود حاصل شد.

نتایج نشان داد که تغییرپذیری هماهنگی حرکتی در گروه دست‌کاری قیود تکلیف یک عامل مثبت بود و موجب بهبود عملکرد و اکتساب مهارت در یادگیرنده شد. تغییرپذیری در اجرای حرکتی نقش جبرانی دارد و همراه با بهبود سطح مهارت تغییرپذیری هماهنگی نیز افزایش می‌یابد. ظاهراً تغییرپذیری در اجرای حرکت یادگیرنده را مقید می‌کند تا با شرایط متغیر مربوط به تکلیف منطبق شود و به یادگیری تعامل با محیط‌های پیچیده‌ای مانند بازی بسکتبال کمک

می‌کند. برخلاف دیدگاه خطی که تغییرپذیری را به‌عنوان یک نویز معرفی می‌کند، نظریه سیستم‌های پویا تغییرپذیری حرکتی را یک عامل مثبت در بهبود اجرای ماهرانه می‌داند. این مطالعه با مطالعه گری درباره هماهنگی ضربه بیسبال، مغایرت دارد. این مطالعه نشان داد که آموزش قیودمحور درجات اکتشاف را در فضای ادراکی حرکتی بیشتر ارتقا می‌دهد. استراتژی‌های هماهنگی در اوایل یادگیری در زمانی که افراد هنوز به سطح خبرگی نرسیدند، روی می‌دهند و اجرای کارکردی با تمرین توسعه پیدا می‌کند و تقویت می‌شود (۳۰). ظاهراً روش دست‌کاری قیود تکلیف به سیستم اجازه می‌دهد تا بیشتر به صورت طبیعی خودتنظیم و خودسازمان باشند (۲۷). احتمالاً علت تأثیرنداشتن روش افتراقی در هماهنگی بین‌عضوی در این مطالعه، مبتدی بودن شرکت‌کنندگان بوده است. ویلسون و همکاران در بررسی تغییرپذیری هماهنگی بین‌عضوی در اجرای پرتاب سه‌گام بسکتبال مشاهده کردند که تغییرپذیری در اجرای افراد ماهر افزایش می‌یابد و تغییرپذیری نقش کارکردی دارد و باعث بهبود عملکرد می‌شود. پژوهش آن‌ها رابطه U شکلی را بین سطح مهارت و میزان تغییرپذیری هماهنگی نشان داد (۳۱). باتون و همکاران در بررسی تغییرپذیری الگوی حرکتی در پرتاب آزاد بسکتبال مشاهده کردند که الگوی روشنی از کاهش تغییرپذیری با افزایش سطح مهارت وجود ندارد، اما با افزایش سطح مهارت ثبات بین آرنج و مچ بهبود پیدا می‌کند و آرنج و مچ نقش جبرانی برای پرتاب دقیق دارند (۳۲). مطالعه دیویدز نیز نشان داد که هماهنگی مچ-آرنج در اجرای پرتاب آزاد بسکتبال مهمترین عامل موفقیت است (۳۳)؛ بنابراین یافته‌های پژوهش حاضر با دیدگاه هماهنگی و کنترل نیوول (۱۹۸۵) هم‌راستا است؛ زیرا تغییرپذیری حرکتی را برای اجرای ماهرانه مفید و مؤثر می‌داند. براساس تعریف برنشتاین (۱۹۶۷)، هماهنگی حرکتی تسلط یافتن بر درجات آزادی متعدد در اندام و مفاصل و کنترل کردن آن‌ها است؛ درنتیجه در طی فرایند اکتساب مهارت حرکتی، هماهنگی بین مفاصل بهبود پیدا کرده و تغییرپذیری کاهش پیدا می‌کند، اما روش افتراقی در مدت زمان کوتاه هشت جلسه‌ای نتوانست هماهنگی معنی-داری را برای گروه کودکان مبتدی فراهم کند.

علت برتری آموزش غیرخطی بر روش خطی در کسب نمرات دقت بهتر، می‌تواند این فرضیه باشد که روش‌های تمرینی در این روش بیشتر اکتشافی هستند و الگوی حرکتی را برای اکتساب مهارت ارتقا می‌دهند، اما روش خطی تنها از یک روش تکراری و تکنیک خاص با تکرار و بازخورد زیاد طراحی شده است؛ درحالی‌که در روش افتراقی الگوهای حرکتی در شرایط مختلف قیود فردی و روش قیودمحور در شرایط مختلف قیود تکلیفی اجرا می‌شوند. این اکتشاف بیشتر باعث گسترده شدن تجارب حرکتی فرد شده و منجر به رشد الگوهای عملکردی یادگیرنده می‌شود. آموزش غیرخطی تغییراتی در ادراک فراهم‌سازها ایجاد می‌کند که به نظر می‌رسد بیشتر برای گروه قیودمحور این ادراک ایجاد شده است. این تأثیرات ادراک را به‌عنوان روشی برای اکتشاف فضای ادراکی حرکتی در یادگیری یک تکلیف ارتقا می‌دهد و از طریق تمرین‌های متنوع در این روند تمرینی، افراد با تفاوت‌های ادراکی مربوط به هر حرکت و تقاضاهای موردنیاز آن سازگار می‌شوند (۳۴). این روش بیشتر با آزادسازی درجات آزادی و استفاده از دیجنریسی[۱] برای بررسی تفاوت‌های فردی در هماهنگی حرکت، به اکتشاف بهتر راه‌حل‌های حرکتی در تمرین و هماهنگی مؤثر منجر می‌شود (۲۵). به نظر می‌رسد که آموزش غیرخطی می‌تواند منجر به نتایج کارکردی بهتر و ارتقای یادگیری حرکتی در مرحله اکتساب مهارت شود. ظاهراً محیط مقیدشده در آموزش غیرخطی به بروز رفتارهای منعطف منجر می‌شود و فرصت بهره‌بردن از تعداد بیشتری از درجات آزادی را به صورت کارکردی در حرکت فراهم می‌کند.

مربیان و تمرین‌کنندگان باید پایه‌های نظری قوی را برای یک روش آموزشی مناسب پایه‌ریزی کنند و روش خطی به‌وسیله سیستم‌های پویا و نظریه پیچیدگی به طور فزاینده‌ای به چالش کشیده شده است (۳۵)؛ بنابراین با توجه به

۱. degeneracy: تغییرپذیری در الگوهای حرکت و رسیدن به راه‌حل حرکتی برای کشف الگوهای متفاوت حرکت در شرایط اجرای یکسان.

نتایج این مطالعه در دوره کوتاه‌مدت، می‌توان انتظار داشت که هرچه دوره مداخله بیشتر شود، اثرات مثبت آموزش غیرخطی نیز نسبت به روش خطی بیشتر شود؛ زیرا تمرین، ساختارهای هماهنگ را انعطاف‌پذیرتر می‌کند. یادگیرنده‌ای که به روش غیرخطی آموزش دیده است، قادر است الگوهای فردی هماهنگی کارکردی را بهبود بخشد که از نظر بیومکانیکی بسیار مؤثرتر است (۳۶). الگوهای حرکتی کارکردی انعطاف بیشتری در انطباق در برابر آشفتگی‌ها و محیط متغیر تمرین ایجاد می‌کنند؛ بنابراین نتایج این پژوهش با دیدگاه سیستم‌های پویا هم‌راستا است و نشان می‌دهد که تغییرپذیری در حرکات برای تغییر الگوهای هماهنگی لازم است و موجب تسهیل انطباق با محیط و انطباق مؤثر در برابر تغییرات محیطی می‌شود (۳۷).

درمجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که آموزش پرتاب آزاد بسکتبال به روش قیودمحور در دوره کوتاه هشت‌جلسه‌ای بیشترین تأثیر را برای یادگیری پرتاب آزاد به صورت کمی و کیفی دارد و روش آموزشی قیودمحور نسبت به دو روش دیگر عملکرد بهتری دارد. نتایج این مطالعه تأکیدی بر چهارچوب نظریه پویایی بوم‌شناختی و نظریه سیستم-های پویا است. ظاهراً این روش یادگیری الگوهای هماهنگی کارکردی بیشتری را در خزانه یک سیستم حرکتی ایجاد می‌کند و باعث کشف دامنه گسترده‌ای از الگوهای حرکتی غنی، متنوع و خلاق در یادگیرنده می‌شود. این پژوهش اهمیت تغییرپذیری هماهنگی مچ و آرنج را در بهبود اجرای پرتاب آزاد بسکتبال و افزایش نمرات دقت مطرح می‌کند؛ بر این اساس می‌توان ادعا کرد که استفاده از روش‌های غیرخطی نسبت به روش‌های خطی بیشتر منجر به بروز رفتار ماهرانه می‌شود؛ بنابراین همان‌طورکه نتایج پژوهش حاضر نشان داد، استفاده از تمرینات به روش دست‌کاری قیود تکلیف می‌تواند در بهبود هماهنگی در کودکان مؤثرتر از تمرینات خطی و افتراقی باشد. ظاهراً تمرینات افتراقی برای افراد خبره مناسب‌تر از افراد مبتدی است و بیشتر موجب بهبود عملکرد در اکتساب مهارت‌های حرکتی آن‌ها می‌شود.

درباره آموزش غیرخطی هنوز به اندازه کافی مطالعات لازم انجام نشده است و مطالعات بیشتری برای بررسی هماهنگی در فعالیت‌های چندمفصلی برای درک حرکات انسان لازم است؛ درنتیجه مطالعات در آینده باید به بررسی تغییرپذیری هماهنگی مفاصل در فعالیت‌های دیگر و همچنین در زمان اکتساب مهارت حرکتی جدید بپردازند.

پیام مقاله

آموزش غیرخطی به‌عنوان یک روش نوین در آموزش تربیت‌بدنی نسبت به روش خطی برتری دارد و مربیان برای اکتساب بهتر مهارت می‌توانند از اصول تغییرپذیری در هنگام آموزش خود بهره ببرند.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه توسط کمیته اخلاق پژوهشی پژوهشگاه علوم ورزشی (کد: IR.SSRI.REC.1401.1515) تأیید شد.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در تمام مراحل تحقیق به طور مساوی مشارکت داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافعی را اعلام نمی‌کنند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمام افرادی که از این تحقیق حمایت کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

1. Schöllhorn PHaKD. The nonlinear nature of learning - A differential learning approach. Sport Science. 2012;5: 100-12 DOI: 10.2174/1875399X01205010100
2. Moy B, Renshaw I, Davids K. Variations in acculturation and Australian PETE students' receptiveness to an alternative pedagogical approach to games teaching. Physical Education and Sport Pedagogy. 2014;19(4):349-69. DOI:10.1080/17408989.2013.780591
3. Davids K, Hristovski R, Araújo D, Serre NB, Button C, Passos P. Complex systems in sport. London: Routledge; 2013. ISBN: 978-0-415-80970-2
4. Newell KM, Ranganathan R. Instructions as constraints in motor skill acquisition. In: Motor learning in practice: a constraints-led approach. London: Routledge; 2010, pp. 17-32. ISBN 9780203888100
5. Davids K, Araújo D, Vilar L, Renshaw I, Pinder R. An ecological dynamics approach to skill acquisition: Implications for development of talent in sport. Talent Development and Excellence. 2013;5(1):21-34. DOI: 10.1037/tde0000001
6. Chow JY, Davids K, Button C, Renshaw I. Nonlinear pedagogy in skill acquisition: an introduction. Philadelphia: Taylor & Francis; 2015. ISBN: 9781003247456
7. Davids K, Button, C., & Bennett, S. J. Coordination and control of movement in sport: an ecological approach. Champaign, IL: Human Kinetics 2008. ISBN:978-0736036863
8. I Schollhorn W, Hegen P, Davids K. The nonlinear nature of learning-A differential learning approach. The Open Sports Sciences Journal. 2012;5(1):100-12. DOI:10.2174/1875399X01205010100
9. Fuchs PX, Fusco A, Cortis C, Wagner H .Effects of differential jump training on balance performance in female volleyball players. Applied Sciences. 2020;10(17):5921.DOI: 10.3390/app10175921
10. Schollhorn W, Beckmann H, Michelbrink M, Sechelmann M, Trockel M, Davids K. Does noise provide a basis for the unification of motor learning theories? International Journal of Sport Psychology. 2006;37(2/3):186. DOI:10.1098/7608.2006
11. Renshaw I, Chow JY. A constraint-led approach to sport and physical education pedagogy. Physical Education and Sport Pedagogy. 2019;24(2):103-16.DOI:10.1080/17408989.2018.1552676
12. Renshaw I ,Headrick J, Maloney M, Moy B, Pinder R. Constraints-led learning in practice: Designing effective learning environments. Skill acquisition in sport. London: Routledge; 2019, pp. 163-82. ISBN: 9781351189750
13. Renshaw I, Chow J-Y. A constraint-led approach to sport and physical education pedagogy. Physical Education and Sport Pedagogy. 2019;24(2):103-16. .DOI:10.1080/17408989.2018.1552676
14. Chow JY. Nonlinear learning underpinning pedagogy: evidence, challenges, and implications. Quest. 2013;65(4):469-84.DOI: 10.1080/00336297.2013.807746
15. Hajhasan Tehrani A, Prvinpour s. Scientific works and theories of motor learning: Tehran: Elm-o-Harekat: Publications; 2018. ISBN:9786008500247
16. Chow JY, Davids K, Hristovski R, Araújo D, Passos P. Nonlinear pedagogy: Learning design for self-organizing neurobiological systems. New Ideas in Psychology. 2011;29(2):189-200.DOI: 10.1016/j.newideapsych.2010.10.001
17. Davids K, Button C, Bennett S. Dynamics of skill acquisition: a constraints-led approach. Champagin, IL: Human Kinetics; 2008. ISBN:978-0736036863
18. Mateus N, Santos S, Vaz L, Gomes I, Leite N. The effect of a physical literacy and differential learning program in motor, technical and tactical basketball skills. Revista de Psicología del Deporte. 2015;24(1):73-6. DOI:10.1080/3390.2015
19. Henz D, Schöllhorn WI. Differential training facilitates early consolidation in motor learning. Frontiers in Behavioral Neuroscience. 2016;10:199. DOI:10/3389/fnbeh.2016.00199
20. Bozkurt S. The effects of differential learning and traditional learning trainings on technical development of football players. Journal of Education and Training Studies. 2018;6:25-9 . DOI:10.1080/4775.2018
21. Oftadeh S, Bahram A, Yaali R, Ghadiri F, Schöllhorn WI. External focus or differential learning: is there an additive effect on learning a futsal goal kick? International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;19(1):317.DOI: 10.3390/ijerph19010317
22. James EG. Short-term differential training decreases postural sway. Gait & Posture. 2014;39(1):172-6.DOI: 10.1016/j.gaitpost.2013.06.020

23. Renshaw I, Araújo D, Button C, Chow JY, Davids K, Moy B. Why the constraints-led approach is not teaching games for understanding: a clarification. Physical Education and Sport Pedagogy. 2016;21(5):459-80.DOI: 10.1080/17408989.2015.1095870
24. Savelsbergh GJ, Kamper WJ, Rabius J, De Koning JJ, Schöllhorn W. A new method to learn to start in speed skating: a differencial learning approach. International Journal of Sport Psychology. 2010;41(4):415.DOI:10.1080/1744.2010
25. Gray R. Comparing the constraints led approach, differential learning and prescriptive instruction for training opposite-field hitting in baseball. Psychology of Sport and Exercise. 2020;51:101797.DOI: 10.1016/j.psychsport.2020.101797
26. Raposo FZ, Caldeira P, Batalau R, Araújo D, Silva MN. Self-determination theory and nonlinear pedagogy: An approach to exercise professionals' strategies on autonomous motivation. Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte Y Recreación. 2020(37):680-6.DOI: 10.47197/retos.v37i37.74355
27. Wulf G, Shea C, Park J-H. Attention and motor performance: preferences for and advantages of an external focus. Research Quarterly for Exercise and Sport. 2001;72(4):335-44.DOI: 10.1080/02701367.2001.10608970
28. Ghojoghi M, Boroujeni ST, Aghapoor SM, Shahbazi M, Shirzad E. Effect of task constraints on coordination variability in missed and successful trails of chip pass. Motor Behavior. 2019;11(38):97-114.DOI: 10.22089/mbj.2018.4732.1554
29. Lee MCY, Chow JY, Komar J, Tan CWK, Button C. Nonlinear pedagogy: an effective approach to cater for individual differences in learning a sports skill. PloS one. 2014;9(8):e104744.DOI: 10.1371/journal.pone.0104744
30. Gray R. Changes in movement coordination associated with skill acquisition in baseball batting: freezing/freeing degrees of freedom and functional variability. Frontiers in Psychology. 2020;11.DOI: 10.3389/fpsyg.2020.01295
31. Wilson C, Simpson SE, Van Emmerik REA, Hamill J. Coordination variability and skill development in expert triple jumpers. Sports Biomechanics. 2008;7(1):2-9. DOI: 10.1080/14763140701682983
32. Button C, Macleod M, Sanders R, Coleman S. Examining movement variability in the basketball free-throw action at different skill levels. Research Quarterly for Exercise and Sport. 2003;74(3):257-69.DOI: 10.1080/02701367.2003.10609090
33. Mullineaux DR, Uhl TL. Coordination-variability and kinematics of misses versus swishes of basketball free throws. Journal of Sports Sciences. 2010;28(9):1017-24.DOI: 10.1080/02640414.2010.487872
34. Pacheco MM, Lafe CW, Newell KM. Search strategies in the perceptual-motor workspace and the acquisition of coordination, control, and skill. Frontiers in Psychology. 2019;10:1874 DOI:. 10/3389/fpsyg.2019.01874
35. Schöllhorn W. Practical consequences of systems dynamic approach to technique and strength training. Acta Academiae Olympique Estonia. 2000;8:25-37.DOI:10.1080/0814785
36. Komar J, Chow J-Y, Chollet D, Seifert L. Effect of analogy instructions with an internal focus on learning a complex motor skill. Journal of Applied Sport Psychology. 2014;26(1):17-32 .DOI: 10.1080/10413200.2013.771386
37. Chow J-Y. Coordination and its acquisition in a multi-articular lower limb interceptive task. Otago: University of Otago; 2007. hdl.handle.net/10523/195