

Kinematical Study of Mechanisms of Physical Performance, Action Observation and Mental Imagery Using Manipulation of Feedback

Davoud Fazeli^{1✉}, Hossein Taghizadeh², Fatemeh Jabbari³, Leila Ghohestani⁴

1. Corresponding Author, Department of Sports Sciences, Faculty of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: d.fazeli@shirazu.ac.ir
2. Department of Sports Sciences, Faculty of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: h.taghizadeh@hafez.shirazu.ac.ir
3. Department of Sports Sciences, Faculty of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: f.jabbari@hafez.shirazu.ac.ir
4. Department of Sports Sciences, Faculty of Education and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: leilaghohestani@gmail.com

Article Info

Article type: Research

Article history:

Received:

14 July 2024

Received in revised form:

24 September 2024

Accepted:

5 October 2024

Published online :

22 June 2025

Keywords:

Feedback
Mental Representation,
Observational Learning.

ABSTRACT

Introduction: This study aimed to directly manipulate feedback in physical execution and action observation to address whether feedback serves as a mediating variable for the different effects of physical practice, observational practice, and motor imagery.

Methods: Sixty right-handed students participated in this study and were randomly divided into six groups as follows: physical, observational, mental, physical without feedback, observational without feedback, and control. The participants practiced golf putting for one day (9 blocks of 18 trials). The training groups practiced the task physically, observationally, or through imagery based on the aforementioned grouping. The physical without feedback and observational without feedback groups were prevented from observing the ball's stopping point. The accuracy of the participants' shots and the number of dynamic degrees of freedom were measured as performance variables

Results: In the movement accuracy variable, it was shown that removing feedback in physical practice and observational practice reduces performance to the level of mental practice. However, in the number of dynamic degrees of freedom, it was shown that motor imagery differs significantly from the groups without feedback, and removing feedback in these two conditions did not make them similar to mental practice

Conclusion: These results were explained based on different underlying mechanisms. It was argued that physical practice is a perception-based training and motor imagery is a cognitive cognition based practice that relies on memory representation for movement production. In contrast, observational practice is a bidirectional perceptual-cognitive process.

Cite this article: Fazeli, D., Taghizadeh, H., Jabbari, F. & Ghohestani, L. (2025). Kinematical Study of Mechanisms of Physical Performance, Action Observation and Mental Imagery Using Manipulation of Feedback. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 17 (2), p-p.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jsmdl.2024.379355.1791>



Journal of Sports and Motor Development and Learning by University of Tehran Press is licensed under CC BY-NC 4.0| web site: <https://jsmdl.ut.ac.ir/> | Email: jsmdl@ut.ac.ir.

Extended Abstract

Introduction

Motor learning is crucial for human adaptation in dynamic environments (Newell, 1991). Among the key factors influencing skill acquisition, physical execution, observational learning, and motor imagery have drawn significant attention due to their distinct learning mechanisms—such as sensory integration, mental representation, and cognition (Wolpert & Flanagan, 2001; Jeannerod, 2001).

Sensorimotor feedback, especially visual feedback, plays a vital role in error detection and motor correction (Magill & Anderson, 2017). Theories suggest that physical practice, action observation, and motor imagery share neural pathways and rely on similar internal models (Guillot & Collet, 2005; Fazeli et al., 2021). Behavioral evidence supports this, highlighting temporal alignment between real and imagined movements (Guillot & Collet, 2005) and feedback-dependent motor similarities (Krigolson et al., 2006).

However, research also points to distinct differences between these modalities. For instance, variations in movement timing between execution and imagery (Calmels et al., 2006), and memory strategies—favoring motor-coordinate encoding in physical practice and visual-spatial encoding in observation—have been observed (Gruetzmacher et al., 2011). Moreover, motor imagery does not update internal models due to the lack of sensory feedback (Ong & Hodges, 2010; Grush, 2004).

This raises critical questions: Is sensory feedback the main factor behind the varying effectiveness of these practices? Additionally, does feedback availability influence advanced kinematic features like movement coordination or degrees of freedom? To explore this, the present study directly manipulates visual feedback in physical and observational learning contexts, examining its impact on performance and kinematics to further uncover motor learning processes.

Conclusion

This study examined the differential effects of physical execution, motor imagery, and action observation on movement accuracy and coordination, with a focus on the role of feedback. Results showed that removing feedback in physical and observational practice diminished performance accuracy to levels comparable to mental imagery. However, this convergence did not extend to kinematic control, as the mental imagery group exhibited higher dynamic degrees of freedom, indicating weaker coordination.

Physical practice with feedback produced the highest accuracy, followed by observational practice, while mental imagery only outperformed the control group. Despite reduced feedback narrowing accuracy differences, persistent kinematic disparities suggest that perceptual and cognitive mechanisms play a distinct role. As proposed in existing frameworks, physical practice engages perceptual systems, motor imagery relies on cognitive processing (Frank et al., 2014; Ryan &

Methods

This semi-experimental study employed a pretest-posttest design with six parallel groups. Sixty right-handed university students (aged 20–30) with no prior golf experience were randomly assigned to one of six groups: Physical Practice (PP), Observational Practice (OP), Motor Imagery (MI), Physical Practice without Feedback (PP-NF), Observational Practice without Feedback (OP-NF), and Control. The experimental task involved golf putting, conducted in a single session of 9 blocks (18 trials per block).

In the feedback groups, participants observed the final position of the ball, whereas those in feedback-deprived groups were unable to see the ball's endpoint due to occlusion devices or video masking. Kinematic data were obtained using 17 reflective markers positioned bilaterally on anatomical landmarks. The primary outcomes measured were radial error (accuracy) and dynamic degrees of freedom (DoF), analyzed through Principal Component Analysis (PCA) of joint movement data. A mixed-design ANOVA was conducted with 6 groups \times 2 test phases to evaluate performance changes.

Results

The results demonstrated significant effects of test phase, practice group, and their interaction on movement accuracy ($p < 0.001$). Participants in the physical and observational practice groups with feedback achieved superior accuracy compared to the motor imagery and no-feedback groups, while the control group showed the lowest performance with no significant improvement over time.

For dynamic degrees of freedom (DoF), significant differences were also observed across groups and test phases ($p < 0.05$). In the post-test, the motor imagery group exhibited higher DoFs than the no-feedback groups, indicating less efficient coordination. Conversely, the feedback-based physical and observational groups had the lowest DoFs, reflecting greater movement efficiency and coordination.

Simons, 1983), and observation integrates both top-down and bottom-up processing (Robert et al., 2014). While imagery enhances memory representation, it does not guarantee motor performance gains (Frank et al., 2014; Kim et al., 2017; Fazeli & Moradi, 2018).

Future studies should incorporate analysis of mental representations and neural activity, alongside manipulations of feedback and model characteristics, to deepen understanding of motor learning mechanisms.

Ethical Considerations

All participants were able to withdraw from, or leave, the study at any point without feeling an obligation to continue. Written informed consent was obtained from all participants prior to their involvement in this study.

Compliance with ethical guidelines: All procedures involving human participants adhered to ethical standards set by the institutional research committee.

Funding: The authors declare that no funding was received for this study.

Authors' contribution: All authors contributed equally to the design, execution, and writing of this study.

Conflict of interest: The authors declare that there are no conflicts of interest related to this study.

Acknowledgments: We extend our deepest gratitude to all participants in this study.

UT Press



رشد و یادگیری حرکتی ورزشی



مطالعه کینماتیکی سازوکارهای اجرای جسمانی، مشاهده عمل و تصویرسازی ذهنی با استفاده از

دستکاری بازخورد

داود فاضلی^۱ , حسین تقی زاده^۲ , فاطمه جباری^۳ , لیلا قوهستانی^۴ 

۱. نویسنده مسؤل، بخش علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: d.fazeli@shirazu.ac.ir

۲. بخش علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: h.taghizadeh@hafez.shirazu.ac.ir

۳. بخش علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: f.jabbary@hafez.shirazu.ac.ir

۴. بخش علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: leilaghuestani@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>مقدمه: هدف پژوهش حاضر آن بود که با دستکاری مستقیم بازخورد در حالت اجرای جسمانی و مشاهده عمل به این موضوع بپردازد که آیا بازخورد به عنوان یک متغیر تعدیل کننده برای تاثیرات متفاوت تمرین جسمانی، مشاهده‌ای و تصویرسازی عمل می‌کند و یا خیر؟</p> <p>روش پژوهش: در این پژوهش ۶۰ نفر دانشجوی راست دست شرکت داشتند که به صورت تصادفی به شش گروه به صورت زیر تقسیم‌بندی شدند: جسمانی، مشاهده‌ای، ذهنی، جسمانی بدون بازخورد، مشاهده‌ای بدون بازخورد و کنترل. افراد به مدت یک روز (۹ بلوک ۱۸ کوششی) به تمرین ضربه گلف پرداختند. گروه‌های تمرینی بر اساس گروه‌بندی ذکر شده به صورت جسمانی، مشاهده‌ای و یا تصویرسازی تکلیف را تمرین کردند. گروه‌های جسمانی بدون بازخورد و مشاهده‌ای بدون بازخورد از مشاهده نقطه توقف توپ منع شدند. دقت ضربه افراد و تعداد درجات آزادی دینامیک به عنوان متغیر اجرا مورد سنجش قرار گرفتند.</p> <p>یافته‌ها: در متغیر دقت حرکت نشان داده شد که حذف بازخورد در تمرین جسمانی و تمرین مشاهده‌ای سطح عملکرد را در حد تصویرسازی ذهنی کاهش می‌دهد. با این حال در تعداد درجات آزادی دینامیک نشان داده شد که تصویرسازی حرکتی با گروه‌های بدون بازخورد تفاوت معنی‌داری دارد و حذف بازخورد در این دو حالت موجب مشابهت با تصویرسازی ذهنی نشد.</p> <p>نتیجه گیری: این نتایج بر اساس مکانیزم‌های زیربنایی متفاوت توجیه شدند. استدلال شد که تمرین جسمی یک تمرین ادراک محور است و تصویرسازی ذهنی یک تمرین مبتنی بر شناخت است که بر بازنمایی حافظه‌ای برای تولید حرکت تکیه دارد. در مقابل تمرین مشاهده‌ای یک فرایند دو سویه ادراکی-شناختی است.</p>	<p>نوع مقاله: پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۳</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۱</p> <p>کلیدواژه‌ها: بازخورد، بازنمایی ذهنی، یادگیری مشاهده‌ای.</p>

استناد: فاضلی، داود؛ تقی زاده، حسین؛ جباری، فاطمه و قوهستانی، لیلا (۱۴۰۴). مطالعه کینماتیکی سازوکارهای اجرای جسمانی، مشاهده عمل و تصویرسازی ذهنی با استفاده از دستکاری بازخورد. نشریه رشد و یادگیری حرکتی ورزشی، ۱۷(۲)، ص-ص.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jsmdl.2024.379355.1791>

این نشریه علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کپی‌رایت CC BY-NC 4.0 به نویسندگان واگذار کرده است.

تارنما: <https://jsmdl.ut.ac.ir> | رایانامه: jsmdl@ut.ac.ir



مقدمه

ادامه حیات انسان وابسته به یادگیری او در طول زندگی است. در این میان یادگیری حرکتی به عنوان یک پدیده مهم ایفای نقش می‌کند. تغییر در عملکرد حرکتی که منعکس کننده یادگیری است، معمولاً توسط اطلاعات تسهیل می‌شود (نیوول^۱، ۱۹۹۱). یادگیری در شرایط پویای محیطی با کسب الگوهای حرکتی هماهنگ مشخص می‌شود که به برآورده کردن هدف عمل منجر می‌شوند. از اصول مهم کنترل حرکتی، تنظیم یکپارچگی حسی حرکتی است که به واسطه اطلاعات محیطی و مدل‌سازی رفتار در مواجهه با محیط پیرامون شکل می‌گیرد (شادمهر^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). یکی از مهمترین عواملی که منجر به تنظیم یکپارچگی حسی حرکتی می‌شود، تمرین می‌باشد. تمرین می‌تواند به روش‌های مختلفی صورت پذیرد که از جمله روش‌های مختلف تمرینی می‌توان به روش تمرین جسمانی، یادگیری مشاهده‌ای و تصویرسازی ذهنی اشاره نمود. از دیدگاه‌های نظری (ولپرت و فلانگان^۳، ۲۰۰۱)، یادگیری از طریق هر کدام از این روش‌ها توسط بازخورد حاصل از حرکت تسهیل می‌شود. بازخورد (منظور بازخورد ذاتی حرکت) به عنوان یک جزء بسیار مهم برای شناسایی خطا و همچنین اصلاح خطای حرکت مورد استفاده قرار می‌گیرد (مگیل و اندرسون^۴، ۲۰۱۷). اگرچه نشان داده شده است که این سه روش تمرینی منجر به یادگیری مهارت‌های حرکتی می‌شوند، اما یکی از چالش‌های اصلی پژوهشگران در این حوزه، درک مکانیزم‌های زیربنایی این روش‌های تمرینی می‌باشد.

اعتقاد بر این است که مکانیزم‌های زیربنایی این سه روش تمرینی با هم مشابه است (جینرود^۵، ۲۰۰۱). از این دیدگاه، روش‌های پنهان عمل (مشاهده و تصویرسازی) بازنمایی ذهنی مشابهی با حالت اجرای واقعی دارند. با توجه به شواهد خوبی که برای بهینه‌سازی حرکت از طریق یک یا چند مورد از این سه شرایط وابسته به عمل وجود دارد، این احتمال وجود دارد که تصویرسازی ذهنی و مشاهده عمل به یک بستر عصبی مشابه با اجرای جسمانی دسترسی داشته باشند و از مکانیزم‌های مشابهی برای رفتار حرکتی استفاده کنند (فاضلی^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). به لحاظ تجربی، شواهد رفتاری وجود دارند که بر مشابه بودن مکانیزم زیربنایی این سه روش تمرینی تاکید می‌کنند. به عنوان مثال، نشان داده شده است که بین عمل اجرا شده و تصور شده تجانس زمانی وجود دارد (گایلوت و کولت^۷، ۲۰۰۵). همچنین کریگولسون^۸ و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از دیدگاه اختصاصی بودن تمرین، تشابه بین تصویرسازی و اجرای واقعی را نشان دادند. در اختصاصی بودن تمرین اعتقاد بر این است که زمانی انتقال بهینه خواهد بود که بازخورد موجود در شرایط انتقال با بازخورد موجود در شرایط تمرین مشابه باشد (پورتو^۹ و همکاران، ۱۹۹۲). محققین نتیجه گرفتند که بازخورد حاصل از اجرای واقعی و بازخورد بینایی تصور شده در تصویرسازی حرکتی شباهت زیادی با هم دارند و به نوعی بازنمایی حسی آنها با هم مشابه است (کریگولسون و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین نشان داده شده است که مشابه با تمرین جسمانی، در حین تصویرسازی عمل حذف بازخورد موجب تغییرات برخط در عمل تصور شده می‌شود (اوان^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۴). فراتر از این شواهد نشان داده است که قوانین حاکم بر اجرای واقعی (مانند قانون فیتز) در حالت تصویرسازی (دستی و جینرود^{۱۱}، ۱۹۹۵) و مشاهده عمل (گروسژان^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۷) نیز صدق می‌کند. جالب توجه است که شیب خط رگرسیون نیز برای

1. Newell

2. Shadmehr

3. Wolpert & Flanagan

4. Magill & Anderson

5. Jeannerod

6. Fazeli

7. Guillot & Collet

8. Krigolson

9. Proteau

10. Owen

11. Decety & Jeannerod

12. Grosjean

این سه حالت با هم تفاوت معنی داری ندارد؛ این بدان معناست که میزان افزایش اطلاعات پردازشی با بالا رفتن شاخص دشواری به صورت یکسان تغییر می کند (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۳).

علی‌رغم شواهد پژوهشی در حمایت از مکانیزم مشابه بین سه حالت تمرینی، شواهدی وجود دارد که مدعی تفاوت در مکانیزم زیربنایی هر کدام هستند. به عنوان مثال نشان داده شده است که اگرچه زمان کلی حرکت در حالت تصویرسازی و اجرای عمل مشابه است، اما زمان اجرای قسمت‌های مختلف یک حرکت در حالت تصویرسازی با حالت اجرای جسمانی متفاوت است (کالمز^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). در همین راستا کلی^۳ و همکارانش (۲۰۰۳) نشان دادند که یادگیری یک توالی حرکتی به وسیله مشاهده از طریق فرایندهای آشکار تعدیل می‌شود و تحت شرایطی که از یادگیری به وسیله اجرای جسمانی حمایت می‌کند (تکلیف دوگانه) از بین می‌رود. بر همین اساس محققین استدلال کردند که یادگیری مشاهده‌ای از طریق فرایندهای هوشیار رخ می‌دهد در حالی که اجرای واقعی از طریق فرایندهای پنهان رخ می‌دهد. قابل توجه است که گروتماچر^۴ و همکارانش (۲۰۱۱) نشان دادند که کدهای ایجاد شده در تمرین جسمانی به صورت کدهایی مبنی بر مختصات حرکتی می‌باشند اما یادگیری مشاهده‌ای سیستم را محدود می‌کند تا کدهایی را ایجاد نماید که بر اساس مختصات بینایی-فضایی می‌باشند. همچنین در همین راستا نشان داده شده است که تمرین یک تکلیف به صورت تصویرسازی ذهنی برخلاف تمرین جسمانی منجر به بروزسانی مدل‌های درونی نمی‌شود (وانگ و هاجز^۵، ۲۰۱۰؛ لارسن^۶ و همکاران، ۲۰۱۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۲).

شاید بتوان تفاوت‌های یافته شده در بین سه حالت اجرا را با توجه به نقش بازخورد در هر کدام از این سه حالت توجیه نمود. جنتیلی^۷ و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل درونی را برای شباهت بین حرکات تصور شده و اجرا شده ارائه دادند. بر اساس این مدل یک کپی وابرائی از دستورات حرکتی اجازه پیش‌بینی پیامدهای حرکتی را می‌دهد که می‌تواند از طریق یک سیگنال تمرینی برای پالایش دستورات آتی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال اعتقاد بر این است که همانندی سیگنال تمرینی برای تصویرسازی به دلیل کمبود بازخورد محیطی از حرکت کاهش یافته است. هم‌راستا با این ایده گراش^۸ (۲۰۰۴) یکی از تفاوت‌های عمده بین اجراء ادراک و تصویرسازی را تولید پیامدهای حسی تقلید شده از عمل می‌داند. نکته قابل توجه، استدلال برخی از محققین است که بیان می‌کنند وجود بازخورد بینایی در اجرای واقعی و مشاهده موجب تنظیم دقیق فرایند شبیه‌سازی می‌شود و دقت شبیه‌سازی‌های آینده را افزایش می‌دهد، در حالی که در تصویرسازی چنین فرایندی وجود ندارد (وونگ و همکاران، ۲۰۱۳). بر این اساس، یکی از تفاوت‌های عمده بین اجرای جسمانی و مشاهده با تصویرسازی این است که در دو مورد اول (اجرای جسمانی و مشاهده عمل) بازخورد درباره حرکت وجود دارد اما در حالت تصویرسازی بازخوردی در مورد صحت حرکت وجود ندارد و به همین علت مدل‌های درونی در حین تصویرسازی به روزسانی نمی‌شوند. بر همین اساس احتمال دارد بازخورد موجود در حرکت نقش مهمی در توجیه یافته‌های تحقیقاتی متناقض داشته باشد. این در حالی است که برخی پژوهش‌ها برخلاف این ادعا نشان داده‌اند که مدل‌های درونی در حالت تصویرسازی با حالت اجرای واقعی مشابه می‌باشد و منجر به پیش‌بینی حسی مشابهی می‌شود (کیلتنی^۹ و همکاران، ۲۰۱۸).

اگرچه مدل ارائه شده منطقی به نظر می‌رسد، اما تا کنون شواهد تجربی زیادی به صورت مستقیم نقش بازخورد را در این سه حالت اجرا به صورت همزمان مورد بررسی قرار نداده‌اند. در اندک شواهد تجربی موجود، (فاضلی و همکاران، ۲۰۲۰)، در یک طرح به بررسی تاثیر تمرین متغیر و ثابت در سه حالت جسمانی، مشاهده‌ای و ذهنی پرداختند. استدلال آن‌ها این بود که احتمالاً وجود بازخورد موجود در حالت

1. Wong

2. Calmels

3. Kelly

4. Gruetzmacher

5. Ong & Hodges

6. Larssen

7. Gentili

8. Grush

9. Kilteni

اجرای جسمانی و مشاهده موجب دیدن شدن تاثیر تغییرپذیری تمرین خواهد شد در حالی که در حالت تصویرسازی احتمالا به دلیل عدم وجود بازخورد، این اثر دیده نخواهد شد. بر همین اساس در این پژوهش در حالت جسمانی و مشاهده گروه‌های متغیری وجود داشتند که از دیدن نتیجه حرکت منع می‌شدند. بر اساس استدلال آن‌ها این گروه‌ها می‌بایست شبیه به حالت تصویرسازی ذهنی عمل می‌کردند. نتایج حاصل از پژوهش فرضیات آن‌ها را تایید کرد. اما در این پژوهش فقط از سنجش دقت حرکت استفاده شد و مشخص نیست که آیا حذف بازخورد در حالت جسمانی و مشاهده موجب عملکرد مشابهی با تصویرسازی ذهنی در متغیرهای سطح بالای کینماتیکی همچون هماهنگی حرکتی می‌شود و یا خیر. اگرچه شواهد پژوهشی در زمینه بررسی تاثیر تصویرسازی ذهنی بر متغیرهای کینماتیک وجود دارد، اما نتایج این پژوهش‌ها نیز با هم متناقض است. به عنوان مثال، در برخی از پژوهش‌ها تاثیر تصویرسازی ذهنی بر متغیرهای کینماتیک نشان داده نشد (سوبری^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). اما در پژوهشی دیگر نشان داده شد که تصویرسازی ذهنی می‌تواند نرمی حرکت را بهبود دهد هرچند که این بهبود به اندازه تاثیر تمرین جسمانی نبود (رافینو^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). این نتایج در پژوهشی دیگر نیز مورد تایید قرار گرفتند (فاضلی و همکاران، ۲۰۲۳). هرچند که این پژوهش‌ها در نوع خود ارزشمند هستند، اما دارای محدودیت‌هایی هستند که نیاز به پژوهش جدید را توجیه می‌کند. به عنوان مثال، در برخی از این پژوهش‌ها منحصرا از یک سنجش مجرد استفاده شده است (سوبری و همکاران، ۲۰۱۷). یا تنها به سنجش کوتاه‌مدت متغیرها پرداخته شده است (رافینو و همکاران، ۲۰۲۱). و در هیچکدام از این پژوهش‌ها به بررسی نقش بازخورد در این متغیرهای کینماتیکی پرداخته نشده است. بر همین اساس، پژوهش حاضر بر آن است که با دستکاری مستقیم بازخورد در حالت اجرای جسمانی و مشاهده عمل به این موضوع بپردازد که آیا بازخورد به عنوان یک متغیر توجیه کننده برای تاثیرات متفاوت تمرین جسمانی، مشاهده‌ای و ذهنی عمل می‌کند و یا خیر؟ و همچنین آیا این متغیر در بین این سه حالت اجرا تاثیر بر متغیرهای کینماتیک دارد و یا خیر؟

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی و طرح پژوهش پیش‌آزمون - پس‌آزمون است.

شرکت‌کنندگان

شرکت‌کنندگان در این پژوهش به صورت تصادفی در شش گروه به صورت زیر تقسیم‌بندی شدند: جسمانی، مشاهده‌ای، تصویرسازی، جسمانی بدون بازخورد، مشاهده‌ای بدون بازخورد و کنترل؛ که هر گروه شامل ۱۰ نفر بود. همه شرکت‌کنندگان افرادی بودند که نسبت به بازی گلف تجربه قبلی نداشتند. معیارهای ورود شامل داشتن دامنه سنی بین ۲۰-۳۰ سال، عدم سابقه شکستگی در اندام‌های فوقانی و تحتانی، داشتن دید نرمال و یا نرمال شده، عدم سابقه بازی گلف (حتی یک بار و بدون آموزش رسمی)، عدم ابتلا به بیماری‌هایی که قابلیت حرکت را دچار اختلال نمایند. موارد خروج از پژوهش شامل عدم احراز موارد ورود به پژوهش و همچنین عدم مراجعه ۲۴ ساعت بعد از تمرین به منظور پس‌آزمون بود. همه این اطلاعات از طریق پرسشنامه از افراد کسب شد.

روند اجرای پژوهش

تکلیف شامل ضربه گلف به سمت هدفی با فاصله ۲/۴۴ متری بود. هدف به صورت دایره‌ای شکل و با قطر چهار سانتیمتر بود که از جنس کاغذ مقوا ساخته شده بود و بر روی چمن مصنوعی با چسب چسبانده شده بود. به منظور اجرای این تکلیف از توپ و چوب (پاتر^۳) استاندارد گلف استفاده شد.

¹.Suberi
². Ruffino
³.Putter

بعد از تقسیم تصادفی در هر گروه، افراد پرسشنامه اطلاعات فردی و همچنین فرم رضایت‌نامه آگاهانه را پر کردند. در ادامه تمامی افراد پرسشنامه تصویرسازی ذهنی را پر کردند (سهرابی^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). سپس به منظور ثبت کینماتیک حرکت ۱۷ مارکر منعکس کننده نور بر روی بدن افراد در قسمت‌های مشخص شده به صورت زیر قرار داده شد: سر دیستال استخوان پنجم کف پای (انگشت)، قوزک پا (مچ پا)، کندیل خارجی ران (زانو)، برجستگی بزرگ ران (ران) زانده آخرومی شانه (شانه)، اپی کندیل کناری (آرنج)، زانده نیزه‌ای زند اعلی (مچ) و سر دیستال استخوان اول کف دستی (انگشت) و وسط پیشانی (سر) - مارکرگذاری به صورت دوسویه در دو سمت بدن انجام شد. بعد از مارکرگذاری و انجام سه کوشش به عنوان گرم کردن، شرکت کنندگان ۱۲ کوشش را به سمت هدفی در فاصله ۲/۴۴ متری اجرا کردند. به شرکت کنندگان در مورد نحوه زدن ضربه هیچ توضیحی داده نشد. این کار به این منظور انجام شد که دادن دستورالعمل می‌تواند تاثیرات تمرین جسمانی، مشاهده‌ای و تصویرسازی را افزایش دهد. چون در این پژوهش اثرات خالص این نوع تمرینات مد نظر بود (به دلیل اینکه قصد مقایسه مکانیزم‌های زیربنایی این سه روش را داشتیم)، از هیچ دستورالعمل استفاده نشد. این روش، روشی متداول در این نوع پژوهش‌ها است که در پژوهش‌های پیشین نیز مورد استفاده قرار گرفته است (کوئلهو^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). بعد از پیش‌آزمون، افراد بر اساس گروه‌بندی که ذکر شد به تمرین ضربه گلف پرداختند. گروه‌ها به صورت جزئی به صورت زیر تمرین کردند:

تمرین جسمانی: در این گروه شرکت کنندگان هر بار توپ را در نقطه شروع قرار می‌دادند و به سمت هدف مورد نظر ضربه می‌زدند. عملکرد این گروه جهت نشان دادن به گروه‌های مشاهده توسط یک دوربین (Fuji HS 10) ضبط می‌شد. در مورد نحوه اجرای حرکت به افراد توضیحی داده نمی‌شد و شرکت کنندگان فقط نتیجه نهایی ضربه را مشاهده می‌کردند.

تمرین جسمانی بدون بازخورد: تمرین در این گروه مشابه با گروه قبلی بود با این تفاوت که این افراد یک عینک بر روی صورت خود داشتند و این عینک به یک درگاه لیزر وصل بود. درگاه به صورتی قرار داده شد که اگر فرد به توپ ضربه می‌زد و توپ از آن عبور می‌کرد دریچه عینک بسته می‌شد و فرد نتیجه حرکت را مشاهده نمی‌کرد.

تصویرسازی: این گروه چوب گلف را در دست خود نگه می‌داشت و در نقطه شروع حرکت می‌ایستاد و هر بار ضربه زدن به توپ را تصور می‌کرد. بعد از اتمام هر کوشش فرد به صورت کلامی واژه "تمام" را بیان می‌کرد که نشان دهنده پایان تصویرسازی فرد بود.

مشاهده: این گروه فیلم افرادی که در گروه جسمانی بودند را مشاهده می‌کردند که در این فیلم نتیجه حرکت (محل توقف توپ) نیز مشخص بود و هیچ کوشش جسمانی در طول تمرین اجرا نمی‌کردند. فیلم مورد نظر از صفحه ساجیتال فیلم برداری شده بود.

مشاهده بدون بازخورد: این گروه همانند گروه قبلی فیلم گروه جسمانی را مشاهده می‌کرد منتها بعد از ضربه مکان مربوط به اهداف در این فیلم به حالت شطرنجی تبدیل می‌شد و فرد نمی‌توانست نتیجه حرکت را مشاهده نماید.

گروه کنترل: در این گروه افراد هیچ تمرینی انجام ندادند و فقط در آزمون‌ها مشارکت داشتند. به عبارت دقیق‌تر، این گروه فقط در پیش‌آزمون و پس‌آزمون مشارکت داشت و هیچ کوشش تمرینی را تجربه نکرد.

تمرین به مدت یک روز و در ۱۶۲ کوشش تمرینی (۹ بلوک ۱۸ کوششی) ادامه یافت. یک روز بعد از تمرین افراد به آزمایشگاه فرا خوانده شدند و آزمونی مشابه با پیش‌آزمون انجام دادند. یعنی ابتدا سه کوشش گرم کردن انجام دادند و در ادامه ۱۲ کوشش را به منظور پس‌آزمون اجرا نمودند. شکل ۱ طرح شماتیک مراحل مختلف این پژوهش را برای گروه‌ها نشان می‌دهد.

1. Sohrabi

2. Coelho



شکل ۱. طرح شماتیک مراحل مختلف پژوهش برای گروه‌ها

متغیرها

دقت ضربه افراد بر اساس محاسبه خطای شعاعی اندازه‌گیری شد. همچنین داده‌های کینماتیک ابتدا فیلتر شدند (باترورث مرتبه چهارم ۷ هرتزی) سپس تعداد درجات آزادی دینامیک (توسط روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی) مورد سنجش قرار گرفتند. ابتدا از روش تبدیل داده‌ها به نمرات استاندارد برای امکان مقایسه بین کوششی و بین فردی استفاده شد. به منظور دستیابی به تعداد ابعاد مستقل مورد نیاز برای منطبق کردن ویژگی‌های حرکتی متعدد و دستیابی به مشارکت متغیرها به اجزاء مستقل از یک رویکرد آنالیز خطی استفاده شد (چن و همکاران، ۲۰۰۵) تعداد مولفه‌هایی که می‌توانستند ۹۰ درصد از واریانس کل را تبیین نمایند به عنوان مولفه‌های اصلی در نظر گرفته شدند (چن^۱ و همکاران، ۲۰۰۵؛ آدوایر^۲، ۲۰۰۱). سپس تعداد مولفه‌های اصلی بین گروه‌های مختلف در پیش‌آزمون و پس‌آزمون مورد آزمون آماری قرار گرفتند. هرچقدر که تعداد این مولفه‌های اصلی کمتر باشند یعنی اینکه درجات آزادی مکانیکی بدن توسط همکوشی‌های کمتری کنترل می‌شوند و درجات آزادی کارکردی کمتری برای اجرای حرکت لازم است (چن و همکاران، ۲۰۰۵).

روش آماری

به منظور تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس مرکب با ۶ (گروه تمرینی) \times ۲ (مراحل آزمون) استفاده شد که در عامل آخر خود دارای اندازه-های تکراری می‌باشد. همه تحلیل‌ها با استفاده از نرم افزار اس پی اس^۳ و در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ اجرا شد.

یافته‌های پژوهش

¹.Chen
².O'Dwyer
³.SPSS

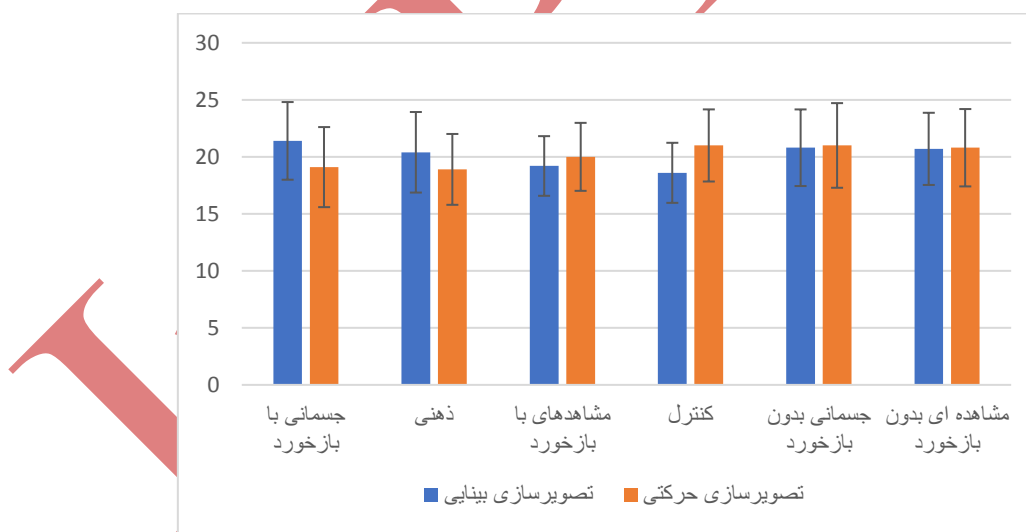
جدول ۱ ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی گروه‌ها

گروه	میانگین سن	انحراف استاندارد
جسمانی	۲۵/۱	۲/۵۴
ذهنی	۲۴/۸	۲/۲۵
مشاهده‌ای	۲۴/۱	۲/۴۳
جسمانی بدون بازخورد	۲۴/۸	۲/۶۱
مشاهده‌ای بدون بازخورد	۲۴/۹	۲/۹۹
ذهنی	۲۴/۱	۲/۱۴

تصویرسازی

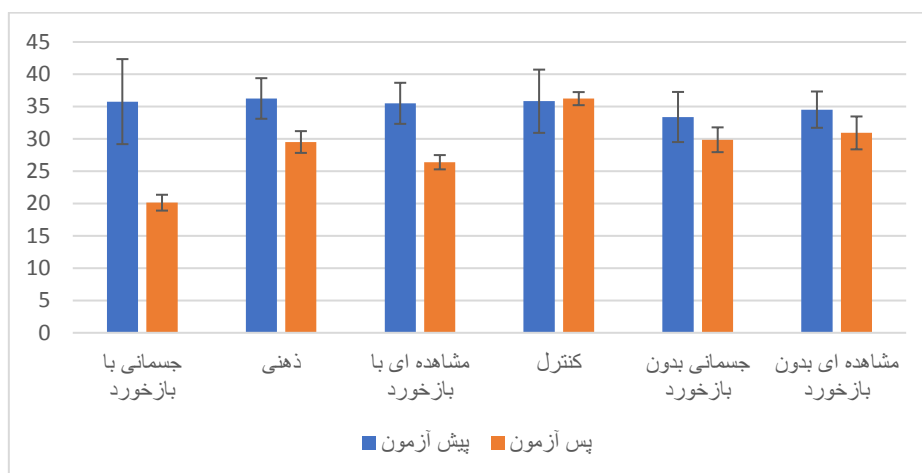
شکل ۲ نمودار مربوط به نمرات تصویرسازی بینایی و تصویرسازی حرکتی را نشان می‌دهد. نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد که بین گروه‌ها در توانایی تصویرسازی بینایی، ($F < 1$)، و حرکتی، ($F < 1$)، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.



شکل ۲. نمرات مربوط به تصویرسازی بینایی و تصویرسازی حرکتی گروه‌ها. نوارهای خطا نشان دهنده انحراف استاندارد هستند.

دقت

شکل ۳ نمودار عملکرد دقت گروه‌ها را در پیش‌آزمون و پس‌آزمون نشان می‌دهد.

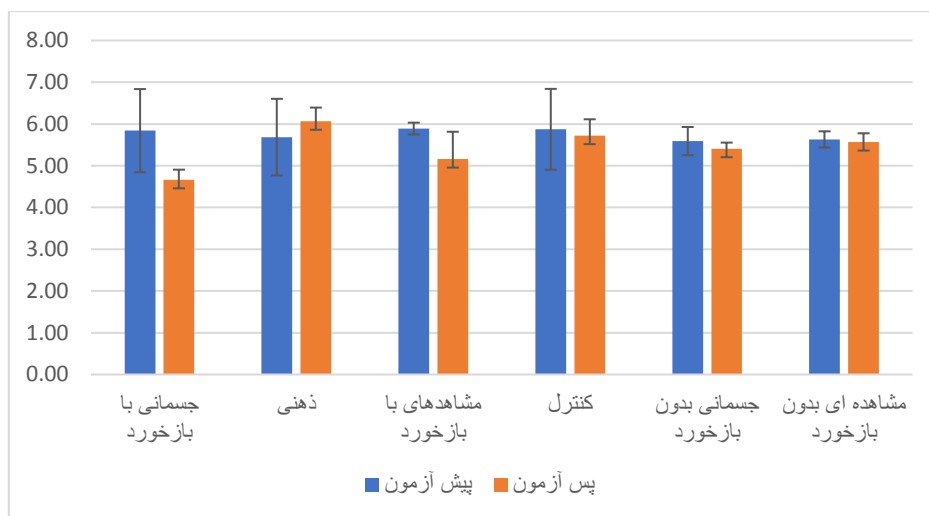


شکل ۳. نمودار عملکرد دقت گروه‌ها در مراحل مختلف. نوارهای خطا نشان دهنده انحراف استاندارد هستند.

نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد که اثر اصلی گروه، $(F(5,54)=12/95, P<0/001, \eta^2_p=0/54)$ ، اثر اصلی مراحل آزمون، $(F(1,54)=110/95, P<0/001, \eta^2_p=0/67)$ و اثر تعاملی گروه در مراحل آزمون، $(F(5,54)=14/88, P<0/001, \eta^2_p=0/58)$ ، معنی‌دار بود. برای اثر تعاملی گروه در مراحل آزمون، آزمون تعقیبی اجرا شد که نتایج نشان داد که در پیش‌آزمون تفاوتی بین گروه‌ها وجود ندارد، اما در پس‌آزمون تفاوت بین گروه جسمانی با سایر گروه‌ها، گروه مشاهده‌ای با سایر گروه‌ها و گروه کنترل با سایر گروه‌ها معنی‌دار بود، (همه $P<0/05$). اما تفاوت بین گروه ذهنی با گروه جسمانی بدون بازخورد، $(P=0/63)$ ، و گروه مشاهده‌ای بدون بازخورد، $(P=0/06)$ ، معنی‌دار نبود. همچنین تفاوت بین گروه جسمانی بدون بازخورد و گروه مشاهده‌ای بدون بازخورد نیز معنی‌دار نبود، $(P=0/16)$. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که گروه جسمانی و مشاهده‌ای با بازخورد نسبت به سایر گروه‌ها دقت بالاتری داشته‌اند (میانگین‌ها، جسمانی با بازخورد= $20/13$ ، ذهنی= $29/52$ ، مشاهده‌ای با بازخورد= $26/39$ ، جسمانی بدون بازخورد= $29/87$ ، مشاهده‌ای بدون بازخورد= $30/93$ ، کنترل= $36/23$). همچنین نتایج این آزمون تعقیبی نشان داد که گروه کنترل از پیش‌آزمون به پس‌آزمون تغییر معنی‌داری نداشته است، $(P=0/81)$. اما سایر گروه‌ها همگی تغییرات معنی‌داری از پیش‌آزمون به پس‌آزمون تجربه کرده بودند، (همه $P<0/05$).

درجات آزادی دینامیک

شکل ۴ نتایج مربوط به میانگین درجات آزادی دینامیک گروه‌ها را در مراحل مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۴. میانگین درجات آزادی دینامیک گروه‌ها در مراحل مختلف آزمون. نوارهای خطا نشان دهنده تعداد درجات آزادی دینامیک هستند.

نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد که اثر اصلی گروه، $(F(5,54)=3/04, P<0/05, \eta^2_p=0/22)$ ، اثر اصلی مراحل آزمون، $(F(5,54)=5/10, P<0/05, \eta^2_p=0/32)$ ، و تعامل گروه در مراحل آزمون، $(F(1,54)=10/23, P<0/02, \eta^2_p=0/15)$ اثر تعاملی آزمون تعقیبی اجرا شد که نتایج آن نشان داد که تفاوت بین گروه‌ها در پیش آزمون معنی دار نیست، $(P=0/88)$ ، اما در پس آزمون گروه جسمانی با سایر گروه‌ها و همچنین گروه ذهنی با سایر گروه‌ها تفاوت معنی دار داشت، $(P<0/05)$ ، علاوه بر این، گروه مشاهده‌ای با بازخورد فقط با گروه جسمانی بدون بازخورد تفاوت معنی دار نداشت، $(P=0/12)$ ، و با سایر گروه‌ها تفاوت معنی دار داشت، $(P<0/05)$ ، گروه کنترل نیز با گروه‌های جسمانی بدون بازخورد، $(P=0/068)$ ، و مشاهده‌ای بدون بازخورد، $(P=0/36)$ ، تفاوت معنی داری نداشت. همچنین تفاوت بین گروه جسمانی بدون بازخورد با مشاهده‌ای بدون بازخورد نیز معنی دار نبود، $(P=0/35)$ ، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که گروه‌های جسمانی و مشاهده‌ای با بازخورد نسبت به سایر گروه‌ها درجات آزادی کمتری داشته‌اند (میانگین‌ها، جسمانی با بازخورد = $4/66$ ، ذهنی = $6/06$ ، مشاهده‌ای با بازخورد = $5/16$ ، جسمانی بدون بازخورد = $5/41$ ، مشاهده‌ای بدون بازخورد = $5/57$ ، کنترل = $5/72$). همچنین نتایج این آزمون نشان داد که گروه‌های ذهنی، کنترل، جسمانی بدون بازخورد و مشاهده‌ای بدون بازخورد از پیش آزمون به پس آزمون تغییر معنی داری نداشته‌اند، $(P>0/05)$ ، همه $(P>0/05)$.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی مکانیزم‌های زیربنایی اجرای جسمانی، تصویرسازی حرکتی و مشاهده عمل و همچنین نقش بازخورد در وجود تفاوت‌های مشاهده شده در بین این سه روش اجرا در سطح متغیر دقت و کینماتیک حرکت بود. استدلال بر این بود که اگر این سه روش از مکانیزمی مشابه استفاده می‌کنند نباید تفاوتی بین این سه حالت در سطوح متغیرهای مختلف مشاهده شود. همچنین استدلال بر این بود که اگر تفاوت احتمالی بین این سه روش اجرا فقط به دلیل بازخورد حرکت باشد، احتمالاً حذف بازخورد ناشی از حرکت در حالت اجرای واقعی و مشاهده عمل منجر به نتیجه‌ای مشابه با حالت تصویرسازی در سطح متغیر دقت حرکت و همچنین کینماتیک حرکت خواهد شد. یافته‌های این پژوهش از هیچ کدام از این پیش‌بینی‌ها حمایت نکرد. نتایج مشابه با پژوهش‌های قبلی نشان داد که تمرین جسمانی نسبت

به تمرین مشاهده‌ای و همچنین تصویرسازی ذهنی منجر به یادگیری موثرتری می‌شود (هولمز و کالمز^۱، ۲۰۰۸؛ کوتلهو و همکاران^۲، ۲۰۱۲). نتایج دقت حرکت نشان داد که گروه جسمانی با بازخورد نسبت به سایر گروه‌ها دقت بالاتری داشت. همچنین نشان داده شد که گروه مشاهده‌ای با بازخورد نسبت به سایر گروه‌ها دقت بالاتری از خود نشان داده است و گروه ذهنی با گروه‌های بدون بازخورد (جسمانی و ذهنی) تفاوت معنی‌داری نداشت؛ هرچند که این گروه‌ها از گروه کنترل عملکرد بهتری داشتند. اگرچه نتایج دقت حرکت نشان داد با حذف بازخورد ناشی از حرکت در حالت اجرای جسمانی و مشاهده عمل، دقت حرکت این گروه‌ها مشابه با حالت تصویرسازی خواهد شد و در ظاهر این نتیجه تایید کننده نقش احتمالی بازخورد ناشی از حرکت در ایجاد تفاوت بین این سه حالت اجرا می‌باشد؛ اما وقتی به نتایج کینماتیک حرکت دقت می‌کنیم، این نتایج تایید کننده این فرضیه نیستند. هرچند که ممکن است بازخورد دلیل برخی از تفاوت‌های مشاهده شده در بین این سه روش اجرا باشد و بر اساس مدل درونی ارائه شده (جنتیلی و همکاران^۳، ۲۰۱۰) بازخورد ناشی از حرکت در حالت مشاهده و اجرای واقعی موجب بروزسانی مدل‌های درونی می‌شود اما این بازخورد در حالت تصویرسازی وجود ندارد و در نتیجه مدل‌های درونی در این حالت بروزسانی نمی‌شوند. بر همین اساس، وقتی که بازخورد در حالت مشاهده و اجرای جسمانی حذف گردید عملکرد دقت این دو حالت اجرا مشابه با حالت تصویرسازی شد.

با این حال وقتی به نتایج کینماتیک حرکت (درجات آزادی کارکردی) دقت می‌کنیم متوجه می‌شویم که ممکن است بازخورد تنها دلیل وجود تفاوت بین این سه حالت اجرا نباشد. در این متغیر نشان داده شد که گروه تصویرسازی نسبت به گروه‌های بدون بازخورد درجات آزادی بیشتری داشته است (ضعیف‌تر عمل کرده است). اگر فقط بازخورد ناشی از حرکت دلیل تفاوت بین اجرای جسمانی، مشاهده و تصویرسازی می‌بود، نباید تفاوتی در درجات آزادی کارکردی گروه‌های بدون بازخورد با گروه تصویرسازی مشاهده می‌شد. اما نتایج نشان داد که گروه تصویرسازی نسبت به دو گروه بدون بازخورد جسمانی و مشاهده‌ای درجات آزادی کارکردی بیشتری دارد. این نتایج نشان می‌دهد که ممکن است تفاوت در بین این سه روش اجرا عمقی‌تر و در سطوح دیگری رخ دهد. در توجیه این تفاوت می‌توان به فرایندهای درگیر در این سه روش اشاره نمود. استدلال برخی از پژوهشگران بر این است که اجرای جسمانی یک فرایند ادراک محور است که بیشتر تحت تاثیر متغیرهای بیرونی موجب تغییر در اجرا در سطوح ادراکی می‌شود (فرانک^۴ و همکاران^۳، ۲۰۱۴). اما از این دیدگاه تصویرسازی حرکتی یک فرایند شناخت محور است که بیشتر تحت تاثیر بازنمایی ذهنی شکل گرفته از تکلیف در حافظه فرد است و بیشتر متغیرهای شناختی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همراستا با این ایده نشان داده شده است که تصویرسازی حرکتی در تکالیف شناختی موثرتر است تا تکالیف ادراکی-حرکتی (رایان و سایمونز^۴، ۱۹۸۳). اما در این دیدگاه مشاهده عمل یک فرایند دوسویه از بالا به پایین (شناختی) و همچنین از پایین به بالا (ادراکی) در نظر گرفته می‌شود (رابرت^۵ و همکاران^۳، ۲۰۱۴). بر اساس این ایده مشاهده عمل با استفاده از تصویری که در محیط می‌بیند (فرایند از پایین به بالا) در حافظه خود یک تصویر ایجاد می‌کند (فرایند از بالا به پایین) که مرور این تصویر موجب یادگیری در فرد می‌شود. همراستا با این استدلال نشان داده شده است که اجرای واقعی اگرچه به اجرای قوی‌تری در آزمون یادداری منجر می‌شود، اما تصویری که از تکلیف در حافظه بر اثر این نوع تمرین شکل می‌گیرد نسبت به تصویرسازی و مشاهده عمل ضعیف‌تر است (فرانک و همکاران^۶، ۲۰۱۴؛ کیم^۶ و همکاران^۳، ۲۰۱۷؛ فرانک و همکاران^۳، ۲۰۱۸). همچنین نشان داده شده است که اگرچه مشاهده ممکن است به یادداری قوی‌تر نسبت به تصویرسازی منجر شود، اما تصویر ایجاد شده از تکلیف در حافظه فرد نسبت به تصویرسازی ذهنی ضعیف‌تر خواهد بود (فاضلی و مرادی^۷، ۲۰۱۹). پژوهشگران این تفاوت در بازنمایی ذهنی را به مکانیزم‌های زیربنایی متفاوت این سه نوع تمرین نسبت دادند. بر اساس این استدلال احتمال دارد تمرین جسمانی اگرچه ممکن است از بازخورد بینایی در حین اجرا محروم شده باشد اما به دلیل

1. Holmes & Calmels

2. Coelho

3. Frank

4. Ryan & Simons

5. Roberts

6. Kim

7. Fazeli & Moradi

درگیری بیشتر در فرایندهای ادراکی موجب تقویت هم‌کوشی‌های ایجاد شده در سطح مفصل شده و از این رو تعداد درجات آزادی ادراکی کاهش یافته باشد. همچنین در حالت مشاهده به دلیل درگیر بودن فرایند ادراکی و مشاهده الگوی یک فرد در حین اجرا موجب بهبود در هم‌کوشی‌ها و در نتیجه درجات آزادی دینامیک شده باشد. اما در حالت تصویرسازی، به دلیل اتکا بر فرایندهای شناختی درونی که مبتنی بر تصویر عمل در حافظه هستند و درگیر نبودن فرایندهای ادراکی، تغییری در متغیرهای مرتبط با فرایندهای ادراکی ایجاد نشده است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی همزمان با بررسی متغیر دقت و کینماتیک، بازنمایی ذهنی افراد در این سه حالت اجرا نیز مورد بررسی قرار گیرد تا صحت این ادعا مورد بررسی قرار گیرد.

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تمرین جسمانی و مشاهده عمل و تصویرسازی بر فرایندهای زیربنایی متفاوتی تکیه دارند. اگرچه ممکن است برخی از تفاوت‌ها در نتیجه وجود بازخورد ناشی از حرکت در حالت اجرای جسمانی و مشاهده عمل توجیه‌پذیر باشند، اما به نظر می‌رسد تفاوت در این سه سطح اجرا از مکانیزم‌هایی نشأت بگیرند که در تولید حرکت درگیر هستند. در این پژوهش مشابه با هر پژوهشی محدودیت‌هایی وجود داشت که در نظر داشتن آن‌ها در پژوهش‌های آتی می‌تواند به رفع ابهام در این زمینه کمک نماید. به عنوان مثال در این پژوهش مکانیزم‌های عمیق درگیر در فرایند تولید حرکت به صورت مستقیم مورد ارزیابی قرار نگرفت. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی با بررسی این مکانیزم‌ها به لحاظ شناختی (اندازه‌گیری ساختار بازنمایی ذهنی) و همچنین بررسی سیگنال‌های مغزی به بررسی شباهت و یا تفاوت در بین این سه روش اجرا پرداخته شود. علاوه بر این، در این پژوهش در گروه جسمانی با بازخورد و همچنین مشاهده‌ای با بازخورد همه افراد در همه کوشش‌ها نتیجه حرکت خود را مشاهده می‌کردند (بازخورد ۱۰۰ درصد نتیجه حرکت) و همچنین هیچ کنترلی بر بازخورد درونی ناشی از حس عمقی افراد انجام نشد. انجام پژوهشی که موارد فوق را در نظر بگیرد ممکن است به توسعه دانش در این زمینه کمک نماید. همچنین در این پژوهش از الگوی همسن، همجنس و هم سطح مهارت استفاده شده است. حال این سوال می‌تواند مطرح شود که آیا استفاده از الگوهای با سن، جنسیت و سطح مهارت متفاوت ممکن است موجب تغییر در این یافته‌ها شود و یا خیر. پرداختن به این محدودیت‌ها در پژوهش‌های آتی می‌تواند ارزشمند باشد.

تقدیر و تشکر

از تمامی مشارکت‌کنندگان در پژوهش کمال قدردانی را داریم.

References

- Calmels, C., Holmes, P., Lopez, E., & Naman, V. (2006). Chronometric comparison of actual and imaged complex movement patterns. *Journal of motor behavior*, 38(5), 339-348. <https://doi.org/10.3200/JMBR.38.5.339-348>
- Chen, H. H., Liu, Y. T., Mayer-Kress, G., & Newell, K. M. (2005). Learning the pedalo locomotion task. *Journal of motor behavior*, 37(3), 247-256. <https://doi.org/10.3200/JMBR.37.3.247-256>
- Coelho, C. J., Nusbaum, H. C., Rosenbaum, D. A., & Fenn, K. M. (2012). Imagined actions aren't just weak actions: Task variability promotes skill learning in physical practice but not in mental practice. *Journal of experimental psychology: learning, memory, and cognition*, 38(6), 1759. <https://doi.org/10.1037/a0028065>

- [Decety, J., & Jeannerod, M. \(1995\). Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitts's law hold in motor imagery?. Behavioural brain research, 72\(1-2\), 127-134. https://doi.org/10.1016/0166-4328\(96\)00141-6](https://doi.org/10.1016/0166-4328(96)00141-6)
- [Fazeli, D., & Moradi, N. \(2019\). The Effect of Different Methods of Practice a Pre-Performance Routine on Mental Representation and Performance Levels of Volleyball Overhand Float-Serve. *Sport Psychology Studies*, 8\(29\), 88-104. https://doi.org/10.22089/SPSYJ.2019.7153.1762 \(In Persian\)](https://doi.org/10.22089/SPSYJ.2019.7153.1762)
- [Fazeli, D., Taheri, H., Saberi Kakhki, A., & Shakeri Chenari, F. \(2023\). Effect of physical and mental practice on variability of movement coordination and smoothness. *Motor Behavior*. https://doi.org/10.22089/mbj.2023.13689.2059 \(In Persian\)](https://doi.org/10.22089/mbj.2023.13689.2059)
- [Fazeli, D., Taheri, H., & Kakhki, A. S. \(2021\). Utilizing the variability of practice in physical execution, action observation, and motor imagery: similar or dissimilar mechanisms?. *Motor Control*, 25\(2\), 198-210. https://doi.org/10.1123/mc.2020-0021](https://doi.org/10.1123/mc.2020-0021)
- [Frank, C., Kim, T., & Schack, T. \(2018\). Observational practice promotes action-related order formation in long-term memory: Investigating action observation and the development of cognitive representation in complex motor action. *Journal of Motor Learning and Development*, 6\(1\), 53-72. https://doi.org/10.1123/jmld.2017-0007](https://doi.org/10.1123/jmld.2017-0007)
- [Frank, C., Land, W. M., Popp, C., & Schack, T. \(2014\). Mental representation and mental practice: experimental investigation on the functional links between motor memory and motor imagery. *PloS one*, 9\(4\), e95175. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095175](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095175)
- [Gentili, R., Han, C. E., Schweighofer, N., & Papaxanthis, C. \(2010\). Motor learning without doing: trial-by-trial improvement in motor performance during mental training. *Journal of neurophysiology*, 104\(2\), 774-783. https://doi.org/10.1152/jn.00257.2010](https://doi.org/10.1152/jn.00257.2010)
- [Grosjean, M., Shiffrar, M., & Knoblich, G. \(2007\). Fitts's law holds for action perception. *Psychological Science*, 18\(2\), 95-99. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01854](https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01854)
- [Gruetzmacher, N., Panzer, S., Blandin, Y., & Shea, C. H. \(2011\). Observation and physical practice: Coding of simple motor sequences. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64\(6\), 1111-1123. https://doi.org/10.1080/17470218.2010.543286](https://doi.org/10.1080/17470218.2010.543286)
- [Grush, R. \(2004\). The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and brain sciences*, 27\(3\), 377-396. https://doi.org/10.1017/S0140525X04000093](https://doi.org/10.1017/S0140525X04000093)
- [Guillot, A., & Collet, C. \(2005\). Duration of mentally simulated movement: a review. *Journal of motor behavior*, 37\(1\), 10-20. https://doi.org/10.3200/JMBR.37.1.10-20](https://doi.org/10.3200/JMBR.37.1.10-20)
- [Holmes, P., & Calmels, C. \(2008\). A neuroscientific review of imagery and observation use in sport. *Journal of motor behavior*, 40\(5\), 433-445. https://doi.org/10.3200/JMBR.40.5.433-445](https://doi.org/10.3200/JMBR.40.5.433-445)

- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1), S103-S109. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Kelly, S. W., Burton, A. M., Riedel, B., & Lynch, E. (2003). Sequence learning by action and observation: Evidence for separate mechanisms. *British journal of psychology*, 94(3), 355-372. <https://doi.org/10.1348/000712603767876271>
- Kilteni, K., Andersson, B. J., Houborg, C., & Ehrsson, H. H. (2018). Motor imagery involves predicting the sensory consequences of the imagined movement. *Nature communications*, 9(1), 1617. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03989-0>
- Kim, T., Frank, C., & Schack, T. (2017). A systematic investigation of the effect of action observation training and motor imagery training on the development of mental representation structure and skill performance. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 499. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00499>
- Krigolson, O., Van Gyn, G., Tremblay, L., & Heath, M. (2006). Is there "feedback" during visual imagery? Evidence from a specificity of practice paradigm. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 60(1), 24. <https://doi.org/10.1037/cjep2006004>
- Larsen, B. C., Ong, N. T., & Hodges, N. J. (2012). Watch and learn: seeing is better than doing when acquiring consecutive motor tasks. *PloS one*, 7(6), e38938. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038938>
- Magill, R., & Anderson, D. I. (2017). *Motor learning and control*. New York: McGraw-Hill Publishing.
- Mohammed Suberi, N. A., Razman, R., & Callow, N. (2017). Does Imagery Facilitate a Reduction in Movement Variability in a Targeting Task?. In *3rd International Conference on Movement, Health and Exercise: Engineering Olympic Success: From Theory to Practice 3* (pp. 148-151). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3737-5_31
- Newell, K. M. (1991). Motor skill acquisition. *Annual review of psychology*, 42(1), 213-237. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.42.020191.001241>
- O'Dwyer, N., Rattanaprasert, U., & Smith, R. (2001). Quantification of coordination in human walking. *From Basic Motor Control to Functional Recovery II*. Sofia: Academic Publishing House, 107-119.
- Ong, N. T., & Hodges, N. J. (2010). Absence of after-effects for observers after watching a visuomotor adaptation. *Experimental Brain Research*, 205, 325-334. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2366-4>
- Ong, N. T., Larsen, B. C., & Hodges, N. J. (2012). In the absence of physical practice, observation and imagery do not result in updating of internal models for aiming. *Experimental brain research*, 218, 9-19. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2996-1>

- Owen, R., Wakefield, C. J., & Roberts, J. W. (2024). Online corrections can occur within movement imagery: An investigation of the motor-cognitive model. *Human Movement Science, 95*, 103222. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2024.103222>
- Proteau, L., Marteniuk, R. G., & Lévesque, L. (1992). A sensorimotor basis for motor learning: Evidence indicating specificity of practice. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 44*(3), 557-575. <https://doi.org/10.1080/14640749208401298>
- Roberts, J. W., Bennett, S. J., Elliott, D., & Hayes, S. J. (2014). Top-down and bottom-up processes during observation: Implications for motor learning. *European journal of sport science, 14*(sup1), S250-S256. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.686063>
- Ruffino, C., Truong, C., Dupont, W., Bouguila, F., Michel, C., Lebon, F., & Papaxanthis, C. (2021). Acquisition and consolidation processes following motor imagery practice. *Scientific Reports, 11*(1), 2295. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81994-y>
- Ryan, E. D., & Simons, J. (1983). What is learned in mental practice of motor skills: A test of the cognitive-motor hypothesis. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 5*(4), 419-426. <https://doi.org/10.1123/jsp.5.4.419>
- Shadmehr, R., Smith, M. A., & Krakauer, J. W. (2010). Error correction, sensory prediction, and adaptation in motor control. *Annual review of neuroscience, 33*(1), 89-108. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-153135>
- Sohrabi, M., Farsi, A. R., & Fuladian, J. (2010). Validation of the IRANIAN translation of the movement imagery questionnaire-revised. No. (5), 13-23. (In Persian)
- Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current biology : CB, 11*(18), R729-R732. [https://doi.org/10.1016/s0960-9822\(01\)00432-8](https://doi.org/10.1016/s0960-9822(01)00432-8)
- Wong, L., Manson, G. A., Tremblay, L., & Welsh, T. N. (2013). On the relationship between the execution, perception, and imagination of action. *Behavioural brain research, 257*, 242-252. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.09.045>