

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

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.jabbary@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	ABSTRACT
Article type: Research	Introduction: This study aimed to directly manipulate feedback during physical execution and action observation to determine whether feedback acts as a mediating variable in the different effects of physical practice, observational practice, and motor imagery.
Article history: Received: 14 July 2024 Received in revised form: 24 September 2024 Accepted: 5 October 2024 Published online : 22 June 2025	Methods: Sixty right-handed students participated in the study and were randomly assigned to six groups: physical practice, observational practice, mental (motor imagery) practice, physical practice without feedback, observational practice without feedback, and a control group. Participants practiced golf putting for one day (9 blocks of 18 trials each). Each training group performed the task according to their assigned condition—physically, observationally, or through motor imagery. In the physical without feedback and observational without feedback conditions, participants were prevented from observing the ball's stopping point. Performance was measured using two variables: shot accuracy and the number of dynamic degrees of freedom.
Keywords: <i>Feedback</i> <i>Mental representation,</i> <i>Observational learning.</i>	Results: In terms of movement accuracy, results showed that removing feedback in both physical and observational practice reduced performance to the level of mental imagery. However, regarding the number of dynamic degrees of freedom, motor imagery significantly differed from the no-feedback groups. Removing feedback in these two conditions did not bring their performance to the level of mental practice. Conclusion: These findings were interpreted based on underlying cognitive and perceptual mechanisms. It was argued that physical practice is perception-based, while motor imagery relies on memory representations and is therefore more cognitively driven. Observational practice, in contrast, appears to involve 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 Feedback Manipulation. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 17 (2), 43-59.

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](https://creativecommons.org/licenses/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). Key factors affecting skill acquisition include physical execution, observational learning, and motor imagery, which have received considerable attention due to their unique 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 important questions: Is sensory feedback the primary factor affecting the varying effectiveness of these practices? Furthermore, does the availability of feedback influence advanced kinematic features, such as movement coordination or degrees of freedom? To explore these questions, the current study directly manipulates visual feedback in both physical and observational learning contexts. It examines the impact of this feedback on performance and kinematics to gain a deeper understanding of motor learning processes.

Methods

This quasi-experimental study utilized a pretest-posttest design with six parallel groups. Sixty right-handed university students, aged 20 to 30 and 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 a Control group. The experimental task focused on golf putting, conducted in a single session consisting of 9 blocks, with 18 trials per block. In the feedback groups, participants could observe the final position of the ball, while those in the feedback-deprived groups were unable to see the ball's endpoint due to occlusion devices or video masking. Kinematic data were collected using 17 reflective markers placed on key anatomical landmarks. The primary outcomes measured included radial error (which indicates accuracy) and dynamic degrees of freedom (DoF),

analyzed through Principal Component Analysis (PCA) of joint movement data. To evaluate performance changes, a mixed-design ANOVA was performed, examining the six groups across two test phases.

Results

The results showed significant effects of the test phase, practice group, and their interaction on movement accuracy ($p < 0.001$). Participants in the physical and observational practice groups that received feedback achieved higher accuracy than those in the motor imagery and no-feedback groups. Meanwhile, the control group demonstrated the lowest performance, showing no significant improvement over time. For dynamic degrees of freedom (DoF), significant differences were also found among groups and test phases ($p < 0.05$). In the post-test, the motor imagery group exhibited higher DoFs compared to the no-feedback group, suggesting less efficient coordination. In contrast, the feedback-based physical and observational practice groups showed the lowest DoFs, indicating greater movement efficiency and coordination.

Conclusion

This study investigated how physical execution, motor imagery, and action observation differently impact movement accuracy and coordination, particularly emphasizing the role of feedback. The results revealed that eliminating feedback during physical practice and observational practice reduced performance accuracy to levels similar to those observed with mental imagery. However, this similarity did not extend to kinematic control; the mental imagery group demonstrated greater dynamic degrees of freedom, suggesting poorer coordination. Physical practice with feedback resulted in the highest accuracy, followed by observational practice, while mental imagery only outperformed the control group. Although reduced feedback limited the differences in accuracy, persistent kinematic disparities indicate that perceptual and cognitive mechanisms play distinct roles. As suggested in existing frameworks, physical practice engages perceptual systems, whereas motor imagery relies on cognitive processing (Frank et al., 2014; Ryan & 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 research should include the analysis of mental representations and neural activity, along with adjustments to feedback and model characteristics, to enhance the understanding of motor learning mechanisms.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: All participants had the option to withdraw from or leave the study at any time, without feeling obligated to continue. Written informed consent was obtained from all participants prior to their involvement in the study. All procedures involving human participants followed the standards established by the institutional research committee.

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

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

Conflict of interest: The authors confirm that they have no conflicts of interest pertaining to this study.

Acknowledgments: We sincerely thank all participants in this study for their contributions.



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 مسؤول، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: d.fazeli@shirazu.ac.ir

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

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

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

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	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 تأثیرات متفاوت تمرین جسمانی، مشاهده ای و تصویرسازی عمل می کند یا خیر؟
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴	روش پژوهش: در این پژوهش ۶۰ دانشجوی راست دست شرکت داشتند که به صورت تصادفی به شش گروه به صورت زیر تقسیم شدند: جسمانی، مشاهده ای، ذهنی، جسمانی بدون بازخورد، مشاهده ای بدون بازخورد و کنترل. افراد به مدت یک روز (۹ بلوک ۱۸ کوششی) به تمرین ضربه گلف پرداختند. گروه های تمرینی بر اساس گروه بندی ذکر شده به صورت جسمانی، مشاهده ای و یا تصویرسازی تکلیف را تمرین کردند. گروه های جسمانی بدون بازخورد و مشاهده ای 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.
کلیدواژه ها: بازخورد، بازنمایی ذهنی، یادگیری مشاهده ای.	یافته ها: در متغیر دقت حرکت نشان داده شد که حذف بازخورد در تمرین جسمانی و تمرین مشاهده ای سطح عملکرد را در حد تصویرسازی ذهنی کاهش می دهد. با این حال در تعداد درجات آزادی دینامیک نشان داده شد که تصویرسازی حرکتی با گروه های بدون بازخورد تفاوت معناداری دارد و حذف بازخورد در این دو حالت موجب مشابهت با تصویرسازی ذهنی نشد.
	نتیجه گیری: این نتایج بر اساس مکانیزم های 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 حافظه ای برای تولید حرکت تکیه دارد. در مقابل تمرین مشاهده ای یک فرایند دوسویه ادراکی-شناختی است.

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، (۲)، ۱۷، ۴۳-۵۹.

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

این نشریه علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کپیو کامنز [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) به نویسندگان واگذار کرده

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



مقدمه

ادامه حیات انسان به یادگیری او در طول زندگی وابسته است. در این میان یادگیری حرکتی به عنوان یک پدیده مهم ایفای نقش می کند. تغییر در عملکرد حرکتی که منعکس کننده یادگیری است، به طور معمول از طریق اطلاعات تسهیل می شود (نیوول^۱، ۱۹۹۱). یادگیری در شرایط پویای محیطی با کسب الگوهای حرکتی هماهنگ مشخص می شود که به برآورده کردن هدف عمل منجر می شوند. از اصول مهم کنترل حرکتی، تنظیم یکپارچگی حسی حرکتی است که به واسطه اطلاعات محیطی و مدل سازی رفتار در مواجهه با محیط پیرامون شکل می گیرد (شادمهر^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). یکی از مهم ترین عواملی که به تنظیم یکپارچگی حسی حرکتی منجر می شود، تمرین است. تمرین می تواند به روش های مختلفی صورت پذیرد که از جمله روش های مختلف تمرینی می توان به روش تمرین جسمانی، یادگیری مشاهده ای و تصویرسازی ذهنی اشاره کرد. از دیدگاه های نظری (ولپرت و فلانگان^۳، ۲۰۰۱)، یادگیری از طریق هر کدام از این روش ها توسط بازخورد حاصل از حرکت تسهیل می شود. بازخورد (منظور بازخورد ذاتی حرکت) به عنوان یک جزء بسیار مهم برای شناسایی خطا و همچنین اصلاح خطای حرکت استفاده می شود (مگیل و اندرسون^۴، ۲۰۱۷). اگرچه نشان داده شده است که این سه روش تمرینی به یادگیری مهارت های حرکتی منجر می شوند، اما یکی از چالش های اصلی پژوهشگران در این حوزه، درک سازوکارهای زیربنایی این روش های تمرینی است.

اعتقاد بر این است که سازوکارهای زیربنایی این سه روش تمرینی با هم مشابه است (جینرود^۵، ۲۰۰۱). از این دیدگاه، روش های پنهان عمل (مشاهده و تصویرسازی) بازنمایی ذهنی مشابهی با حالت اجرای واقعی دارند. با توجه به شواهد خوبی که برای بهینه سازی 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 سازوکارهای مشابهی برای رفتار حرکتی استفاده کنند (فاضلی^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). به لحاظ تجربی، شواهد رفتاری وجود دارند که بر مشابه بودن سازوکار زیربنایی این سه روش تمرینی تأکید می کنند. برای مثال نشان داده شده است که بین عمل اجرا شده و تصور شده تجانس زمانی وجود دارد (گایلو 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). محققان 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 می شود (اوون^{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 می کند. جالب توجه است که شیب خط رگرسیون نیز برای این سه حالت با هم تفاوت معناداری ندارد؛ بدان معنا که میزان افزایش اطلاعات پردازشی با بالا رفتن شاخص دشواری به صورت یکسان تغییر می کند (وانگ^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۳).

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
13. Wong

علی‌رغم شواهد پژوهشی در حمایت از سازوکار مشابه بین سه حالت تمرینی، شواهدی وجود دارد که مدعی تفاوت در سازوکار زیربنایی هر کدام هستند. برای 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^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). در همین زمینه کلی^۲ و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که یادگیری یک توالی حرکتی به‌وسیله مشاهده از طریق فرایندهای آشکار تعدیل می‌شود و در شرایطی که از یادگیری به‌وسیله اجرای جسمانی حمایت می‌کند (تکلیف دوگانه)، از بین می‌رود. بر همین اساس محققان استدلال کردند که یادگیری مشاهده‌ای از طریق فرایندهای هوشیار رخ می‌دهد، درحالی‌که اجرای واقعی از طریق فرایندهای پنهان رخ می‌دهد. شایان توجه است که گروتزماچر^۳ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که کدهای ایجادشده در تمرین جسمانی به‌صورت کدهایی مبنی بر مختصات حرکتی‌اند، اما یادگیری مشاهده‌ای سیستم را محدود می‌کند تا کدهایی را ایجاد کند که بر اساس مختصات بینایی-فضایی هستند. همچنین در همین زمینه نشان داده شده است که تمرین یک تکلیف به‌صورت تصویرسازی ذهنی بر خلاف تمرین جسمانی سبب به‌روزرسانی مدل‌های درونی نمی‌شود (اونگ و هاجز^۴، ۲۰۱۰؛ لارسن^۵ و همکاران، ۲۰۱۲؛ اونگ و همکاران، ۲۰۱۲).

شاید بتوان تفاوت‌های یافته‌شده در بین سه حالت اجرا را با توجه به نقش بازخورد در هر کدام از این سه حالت توجیه کرد. جنتیلی^۶ و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل درونی را برای شباهت بین حرکات تصورشده و اجراشده ارائه دادند. بر اساس این مدل یک کپی وابرانی از دستورهای حرکتی اجازه پیش‌بینی پیامدهای حرکتی را می‌دهد که می‌تواند از طریق یک سیگنال تمرینی برای پالایش دستورهای آتی شود. با این حال اعتقاد بر این است که همانندی سیگنال تمرینی برای تصویرسازی به‌دلیل کمبود بازخورد محیطی از حرکت کاهش یافته است. همراسا با این ایده گراش^۷ (۲۰۰۴) یکی از تفاوت‌های عمده بین اجرا، ادراک و تصویرسازی را تولید پیامدهای حسی تقلیدشده از عمل می‌داند. نکته شایان توجه، استدلال برخی محققان 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، درحالی‌که 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 به‌روزرسانی 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 بر خلاف این ادعا نشان داده‌اند که مدل‌های درونی در حالت تصویرسازی با حالت اجرای واقعی مشابه است و به پیش‌بینی حسی مشابهی منجر می‌شود (کیلتنی^۸ و همکاران، ۲۰۱۸).

اگرچه مدل ارائه‌شده منطقی به‌نظر می‌رسد، اما تاکنون شواهد تجربی زیادی به‌صورت مستقیم نقش بازخورد را در این سه حالت اجرا همزمان بررسی نکرده‌اند. در اندک شواهد تجربی موجود فاضلی و همکاران (۲۰۲۰)، در یک طرح به بررسی تأثیر تمرین متغیر و ثابت در سه حالت جسمانی، مشاهده‌ای و ذهنی پرداختند. استدلال آنها این بود که احتمالاً وجود بازخورد موجود در حالت اجرای جسمانی و مشاهده موجب دیده شدن تأثیر تغییرپذیری تمرین خواهد شد، درحالی‌که در حالت تصویرسازی احتمالاً به‌دلیل 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

1. Calmels

2. Kelly

3. Gruetzmacher

4. Ong & Hodges

5. Larssen

6. Gentili

7. Grush

8. Kilteni

می‌شدند. بر اساس استدلال آنها این گروه‌ها می‌بایست شبیه به حالت تصویرسازی ذهنی عمل می‌کردند. نتایج پژوهش فرضیات آنها را تأیید 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 یا خیر. اگرچه شواهد پژوهشی در زمینه بررسی تأثیر تصویرسازی ذهنی بر متغیرهای کینماتیک وجود دارد، اما نتایج این پژوهش‌ها نیز با هم متناقض است. برای مثال در برخی پژوهش‌ها تأثیر 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 تأثیر تمرین جسمانی نبود (رافینو^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). این نتایج در پژوهشی دیگر نیز تأیید شدند (فاضلی و همکاران، ۲۰۲۳). هرچند که این پژوهش‌ها در نوع خود ارزشمندند، اما محدودیت‌هایی دارند که نیاز به پژوهش جدید را توجیه می‌کند. برای مثال در برخی از این پژوهش‌ها منحصرأ از یک سنجش مجرد استفاده شده (سوبری و همکاران، ۲۰۱۷) یا تنها به سنجش کوتاه‌مدت متغیرها پرداخته شده است (رافینو و همکاران، ۲۰۲۱) و در هیچ کدام 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 به‌عنوان یک متغیر توجیه‌کننده برای تأثیرات متفاوت تمرین جسمانی، مشاهده‌ای و ذهنی عمل می‌کند یا خیر؟ همچنین آیا این متغیر در بین این سه حالت اجرا تأثیری بر متغیرهای کینماتیک دارد یا خیر؟

روش‌شناسی پژوهش

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

شرکت‌کنندگان

شرکت‌کنندگان در این پژوهش به‌صورت تصادفی در شش گروه به‌صورت زیر تقسیم 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، نداشتن سابقه شکستگی در اندام‌های فوقانی و تحتانی، داشتن دید نرمال و یا نرمال‌شده، نداشتن سابقه بازی گلف (حتی یک بار و بدون آموزش رسمی)، عدم ابتلا به بیماری‌هایی که قابلیت حرکت را دچار اختلال کنند. موارد خروج از پژوهش شامل عدم احراز موارد ورود به پژوهش و همچنین عدم مراجعه ۲۴ ساعت پس از تمرین به‌منظور 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 به‌صورت دایره‌ای شکل و با قطر چهار سانتی‌متر بود که از جنس کاغذ مقوا ساخته شده و روی چمن مصنوعی با چسب چسبانده شده بود. به‌منظور اجرای این تکلیف از توپ و چوب (پاتر^۳) استاندارد گلف استفاده شد.

پس از تقسیم تصادفی در هر گروه، افراد پرسشنامه اطلاعات فردی و همچنین برگه رضایت‌نامه آگاهانه را پر کردند. در ادامه تمامی افراد پرسشنامه تصویرسازی ذهنی را پر کردند (سهرابی^۴ و همکاران، ۲۰۱۰). سپس به‌منظور ثبت کینماتیک حرکت ۱۷ مارکر منعکس

^۱. Suberi
^۲. Ruffino

^۳. Putter
^۴. Sohrabi

کننده نور 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) زائده آخرومی شانه (شانه)، اپی کندیل کناری (آرنج)، زائده 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. پس از مارکرگذاری و انجام سه کوشش به عنوان گرم کردن، شرکت‌کنندگان ۱۲ کوشش را به سمت هدفی در فاصله ۲/۴۴ متری اجرا کردند. به شرکت‌کنندگان در خصوص نحوه زدن ضربه هیچ توضیحی داده نشد. این کار به این منظور انجام گرفت که دادن دستورالعمل می‌تواند تأثیرات تمرین جسمانی، مشاهده‌ای و تصویرسازی را افزایش دهد. چون در این پژوهش تأثیر خالص این نوع تمرینات مدنظر بود (به دلیل اینکه قصد مقایسه سازوکارهای زیربنایی این سه روش را داشتیم)، از هیچ دستورالعملی استفاده نشد. این روش، روشی متداول در این نوع پژوهش‌هاست که در پژوهش‌های پیشین نیز استفاده شده است (کوئلهو^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). پس از پیش‌آزمون، افراد بر اساس گروه‌بندی ذکر شده، به تمرین ضربه گلف پرداختند. گروه‌ها به صورت جزئی به شکل زیر تمرین کردند:

تمرین جسمانی: در این گروه شرکت‌کنندگان هر بار توپ را در نقطه شروع قرار می‌دادند و به سمت هدف موردنظر ضربه می‌زدند. عملکرد این گروه جهت نشان دادن به گروه‌های مشاهده با یک دوربین (Fuji HS 10) ضبط می‌شد. در خصوص نحوه اجرای حرکت به افراد توضیحی داده نمی‌شد و شرکت‌کنندگان 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 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. پس از اتمام هر کوشش فرد به صورت کلامی واژه «تمام» را بیان می‌کرد که نشان‌دهنده پایان تصویرسازی فرد بود.

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

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

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 پس 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 کردند. شکل ۱ طرح شماتیک مراحل مختلف این پژوهش را برای گروه‌ها نشان می‌دهد.

^۱. 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 (از طریق روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های 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 اجزای مستقل از یک رویکرد آنالیز خطی استفاده شد (چن و همکاران، ۲۰۰۵). تعداد مؤلفه‌هایی که می‌توانستند ۹۰ درصد از واریانس کل را تبیین کنند، به عنوان مؤلفه‌های اصلی در نظر گرفته شدند (چن^۱ و همکاران، ۲۰۰۵؛ آدوایر^۲، ۲۰۰۱). سپس تعداد مؤلفه‌های اصلی بین گروه‌های مختلف در پیش‌آزمون و پس‌آزمون مورد آزمون آماری قرار گرفتند. هرچه تعداد این مؤلفه‌های اصلی کمتر باشد، 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 اندازه‌های تکراری است. همه تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار اس پی اس اس^۳ و در سطح معناداری ۰/۰۵ اجرا شد.

یافته‌های پژوهش

جدول ۱ ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان در پژوهش را نشان می‌دهد.

^۱. Chen

^۲. O'Dwyer

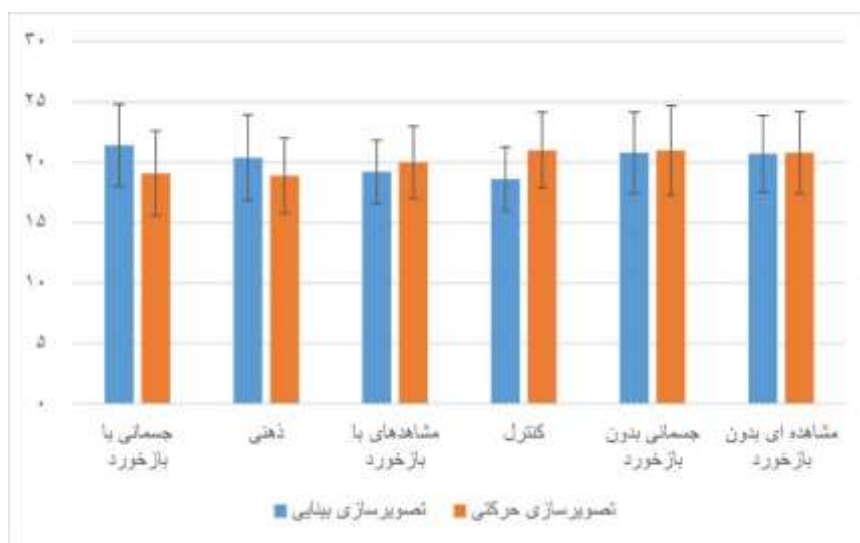
^۳. SPSS

جدول ۱. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی گروه‌ها

گروه	میانگین سن	انحراف استاندارد
جسمانی	۲۵/۱	۳/۵۴
ذهنی	۲۴/۸	۳/۲۵
مشاهده‌ای	۲۴/۱	۳/۴۳
جسمانی بدون بازخورد	۲۴/۸	۲/۶۱
مشاهده‌ای بدون بازخورد	۲۴/۹	۲/۹۹
ذهنی	۲۴/۱	۳/۱۴

تصویرسازی

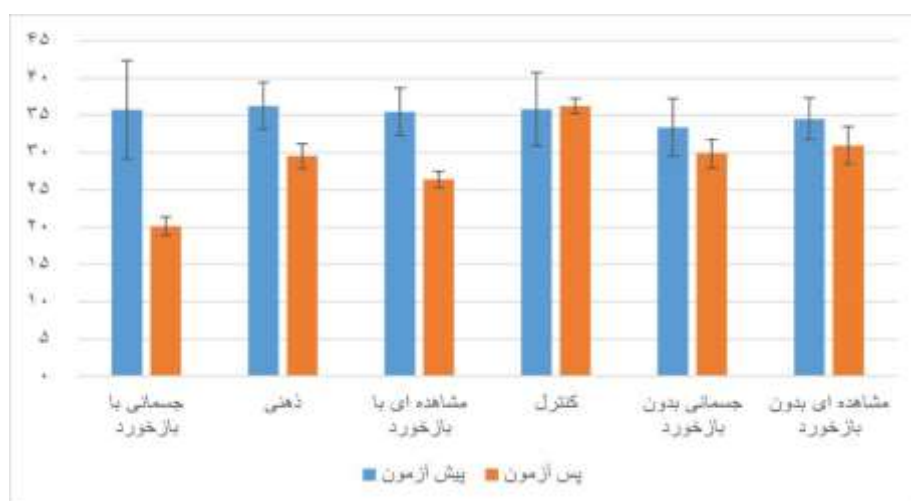
شکل ۲ نمودار مربوط به نمرات تصویرسازی بینایی و تصویرسازی حرکتی را نشان می‌دهد. نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد که بین گروه‌ها در توانایی تصویرسازی بینایی، ($F < 1$) و حرکتی ($F < 1$)، تفاوت معناداری وجود ندارد.



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

دقت

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

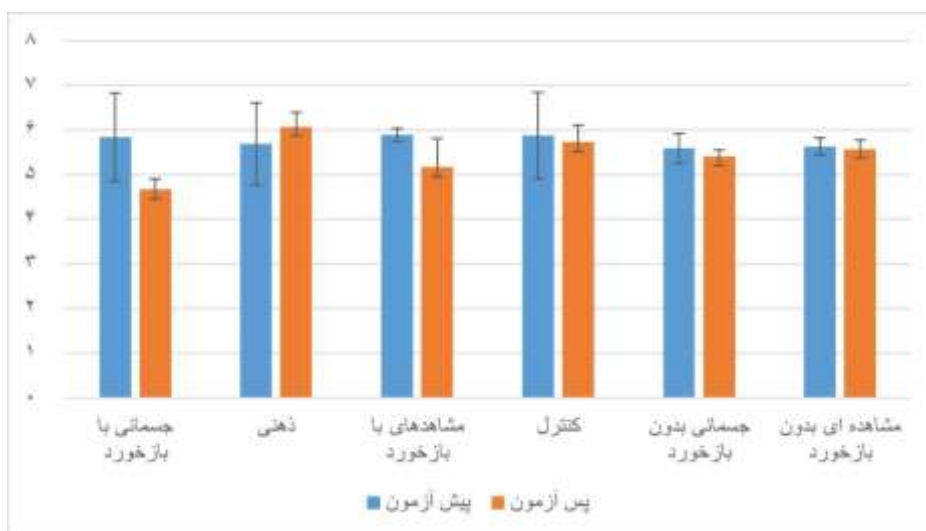


شکل ۳. نمودار عملکرد دقت گروه‌ها در مراحل مختلف. نوارهای خطا نشان‌دهنده انحراف استاندارد هستند.

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 ($F(5,54)=14/88, P<0/001, \eta^2_p=0/58$) و اثر تعاملی گروه در مراحل آزمون ($F(1,54)=110/95, P<0/001, \eta^2_p=0/67$) برای اثر تعاملی گروه در مراحل آزمون، آزمون تعقیبی اجرا شد که نتایج نشان داد که در پیش‌آزمون تفاوتی بین گروه‌ها وجود ندارد ($P=0/69$)، اما در پس‌آزمون تفاوت بین گروه جسمانی با سایر گروه‌ها، گروه مشاهده‌ای با سایر گروه‌ها و گروه کنترل با سایر گروه‌ها معنادار بود (همه $P<0/05$). اما تفاوت بین گروه ذهنی با گروه جسمانی بدون بازخورد ($P=0/63$) و گروه مشاهده‌ای بدون بازخورد ($P=0/06$)، معنادار نبود. تفاوت بین گروه جسمانی بدون بازخورد و گروه مشاهده‌ای بدون بازخورد نیز معنادار 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 معناداری نداشته است ($P=0/81$)، اما سایر گروه‌ها همگی تغییرات معناداری را 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 نشان‌دهنده تعداد درجات آزادی دینامیک هستند.

نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد که اثر اصلی گروه ($F(۵,۵۴)=۳/۰۴, P<۰/۰۵, \eta^2_p=۰/۲۲$)، اثر اصلی مراحل آزمون ($F(۱۵,۵۴)=۱۰/۲۳, P<۰/۰۵, \eta^2_p=۰/۱۵$) و تعامل گروه در مراحل آزمون ($F(۵,۵۴)=۵/۱۰, P<۰/۰۵, \eta^2_p=۰/۳۲$)، معنادار بود. برای اثر تعاملی آزمون تعقیبی اجرا شد که نتایج آن نشان داد که تفاوت بین گروه‌ها در پیش‌آزمون معنادار نیست ($P=۰/۸۸$)، اما در پس‌آزمون گروه جسمانی با سایر گروه‌ها و همچنین گروه ذهنی با سایر گروه‌ها تفاوت معنادار داشت (همه $P<۰/۰۵$). علاوه بر این، گروه مشاهده‌ای با بازخورد فقط با گروه جسمانی بدون بازخورد تفاوت معنادار نداشت ($P=۰/۱۲$) و با سایر گروه‌ها تفاوت معنادار داشت (همه $P<۰/۰۵$). گروه کنترل نیز با گروه‌های جسمانی بدون بازخورد ($P=۰/۰۶۸$) و مشاهده‌ای بدون بازخورد ($P=۰/۳۶$)، تفاوت معناداری نداشت. تفاوت بین گروه جسمانی بدون بازخورد با مشاهده‌ای بدون بازخورد نیز معنادار نبود ($P=۰/۳۵$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که گروه‌های جسمانی و مشاهده‌ای با بازخورد نسبت به سایر گروه‌ها درجات آزادی کمتری داشته‌اند (میانگین‌ها، جسمانی با بازخورد = $۴/۶۶$ ، ذهنی = $۶/۰۶$ ، مشاهده‌ای با بازخورد = $۵/۱۶$ ، جسمانی بدون بازخورد = $۵/۴۱$ ، مشاهده‌ای بدون بازخورد = $۵/۵۷$ ، کنترل = $۵/۷۲$). همچنین نتایج این آزمون نشان داد که گروه‌های ذهنی، کنترل، جسمانی بدون بازخورد و مشاهده‌ای بدون بازخورد از پیش‌آزمون به پس‌آزمون تغییر معناداری نداشته‌اند (همه $P>۰/۰۵$).

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی سازوکارهای زیربنایی اجرای جسمانی، تصویرسازی حرکتی و مشاهده عمل و همچنین نقش بازخورد در وجود تفاوت‌های مشاهده‌شده در بین این سه روش اجرا در سطح متغیر دقت و کینماتیک حرکت بود. استدلال بر این بود که اگر این سه روش از سازوکاری 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 به نتیجه‌ای مشابه با حالت تصویرسازی در سطح متغیر دقت حرکت و همچنین کینماتیک حرکت منجر خواهد شد. یافته‌های این پژوهش از هیچ‌کدام از این پیش‌بینی‌ها حمایت نکرد. نتایج مشابه با پژوهش‌های قبلی نشان داد که تمرین جسمانی نسبت

به تمرین مشاهده‌ای و همچنین تصویرسازی ذهنی به یادگیری مؤثرتری منجر می‌شود (هولمز و کالمز^۱، ۲۰۰۸؛ کوئلهو^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج دقت حرکت نشان داد که گروه جسمانی با بازخورد نسبت به سایر گروه‌ها دقت بیشتری داشت. همچنین نشان داده شد که گروه مشاهده‌ای با بازخورد نسبت به سایر گروه‌ها دقت بیشتری از خود نشان داده است و گروه ذهنی با گروه‌های بدون بازخورد (جسمانی و ذهنی) تفاوت معناداری 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 تأییدکننده نقش احتمالی بازخورد ناشی از حرکت در ایجاد تفاوت بین این سه حالت اجراست؛ اما وقتی به نتایج کینماتیک حرکت دقت می‌کنیم، این نتایج تأییدکننده این فرضیه نیستند. هرچند که ممکن است بازخورد دلیل برخی از تفاوت‌های مشاهده‌شده در بین این سه روش اجرا باشد و بر اساس مدل درونی ارائه‌شده (جنتیلی و همکاران، ۲۰۱۰) بازخورد ناشی از حرکت در حالت مشاهده و اجرای واقعی موجب به‌روزرسانی مدل‌های درونی می‌شود، اما این بازخورد در حالت تصویرسازی وجود ندارد و در نتیجه مدل‌های درونی در این حالت به‌روزرسانی نمی‌شوند. بر همین اساس، وقتی که بازخورد در حالت مشاهده و اجرای جسمانی حذف شد، عملکرد دقت این دو حالت اجرا مشابه با حالت تصویرسازی شد.

با این حال با دقت در نتایج کینماتیک حرکت (درجات آزادی کارکردی) 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 کرد. استدلال برخی پژوهشگران بر این است که اجرای جسمانی یک فرایند ادراک‌محور است که بیشتر تحت تأثیر متغیرهای بیرونی موجب تغییر در اجرا در سطوح ادراکی می‌شود (فرانک^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). اما از این دیدگاه تصویرسازی حرکتی یک فرایند شناخت‌محور است که بیشتر تحت تأثیر بازنمایی ذهنی شکل‌گرفته از تکلیف در حافظه فرد است و بیشتر متغیرهای شناختی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همراستا با این ایده نشان داده شده است که تصویرسازی حرکتی در تکالیف شناختی مؤثرتر 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، 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، ۲۰۱۴؛ کیم^۶ و همکاران، ۲۰۱۷؛ فرانک و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین نشان داده شده است که اگرچه مشاهده ممکن است به یادداری قوی‌تر نسبت به تصویرسازی منجر شود، اما تصویر ایجادشده 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 سازوکارهای زیربنایی متفاوت این سه نوع تمرین نسبت دادند. بر اساس این

1. Holmes & Calmels

2. Coelho

3. Frank

4. Ryan & Simons

5. Roberts

6. Kim

7. Fazeli & Moradi

استدلال احتمال دارد تمرین جسمانی اگرچه ممکن از بازخورد بینایی در حین اجرا محروم شده باشد، اما به دلیل درگیری بیشتر در فرایندهای ادراکی موجب تقویت هم‌کوشی‌های ایجادشده در سطح مفاصل شده و از این‌رو 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 بررسی شود تا صحت این ادعا تأیید شود.

به‌طور 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 به‌نظر می‌رسد تفاوت در این سه سطح اجرا از سازوکارهایی نشأت بگیرند که در تولید حرکت درگیرند. 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 کند. برای مثال در این پژوهش سازوکارهای عمیق درگیر در فرایند تولید حرکت به‌صورت مستقیم ارزیابی نشد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی با بررسی این مکانیزم‌ها به لحاظ شناختی (اندازه‌گیری ساختار بازنمایی ذهنی) و همچنین بررسی سیگنال‌های مغزی به بررسی شباهت 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 مذکور را در نظر بگیرد ممکن است به توسعه دانش در این زمینه کمک کند. همچنین در این پژوهش از الگوی همسن، همجنس و همسطح مهارت استفاده شده است. حال این سؤال 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)
- 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)
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>

- 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>
- Larssen, 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., Rattanapraser, 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., Larssen, 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>