University of Tehran
Faculty of
Sport Sciences and Health

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

Simultaneous Effect of the Transcranial Direct Current Stimulation and Observational Learning on Learning of Basketball Free Throw

Roya Mehdipoor[1], Mehdi Namazizadeh[2]✉, Rokhsareh Badami[3], Hamid Mir Hosseini[4]

1. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan) Branch, Esfahan, Iran. E-mail: roya66mahdipoor@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan) Branch , Esfahan, Iran. E-mail: drmnamazizadeh@yahoo.com
3. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan) Branch, Esfahan, Iran. E-mail: rokhsareh.badami@gmail.com
4. Faculty of Addiction and Behavioral Sciences, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran. E-mail: mirhoseini.h@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
23 June 2021
Received in revised form:
5 November 2022
Accepted:
7 December 2022
Published online:
7 December 2022

Keywords:
motor learning, observational learning, stimulation, transcranial direct current.

ABSTRACT

Introduction: The purpose of the current study was to examine the simultaneous effect of the transcranial direct current stimulation (tDSC) and observational learning on learning of basketball free throw.

Methods: In semi-experimental study with repeated measure design, 30 novice female students in free basketball throw accessibly selected and randomly located in 2 tDCS with model observation and artificial stimulation with model observation groups. In pre test phase, participants throw 15 trials basketball free throw. Intervention phase done in 5 consecutive days that each day electrical stimulation of the brain was performed from the motor cortex (C3 anode & Fp2 anode), and artificial stimulation with model observation, and then participants performed 15 free basketball throws. In last session post test phase executed. One week and 21 days after post test phase respectively executed short term and long term retention phase. Data analyzed with ANOVA with repeated measure statistical method.

Results: The result indicated that tDCS with model observation (F= 22.327, sig =0.0001, η2 =0,615) and artificial stimulation with model observation (F= 3.044, sig =0.023, η2 =0,179) significantly improved basketball free throw. Other results indicated that tDCS with model observation than artificial stimulation with model observation cause improvement basketball free throw in post test (p=0.002), short term test (p=0.002) and long term test (p=0.001).

Conclusion: Overall, the results of the current study indicated that tDCS with model observation can be effective as a new training method in addition to model observation to improve basketball free throw skills.

Cite this article: Mehdipoor, Roya., Namazizadeh, Mehdi., Badami, Rokhsareh., & Mir Hosseini, Hamid. (2022). The simultaneous effect of the transcranial direct current stimulation (tDSC) and observational learning on learning of basketball free throw. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 14 (3),55-67.
DOI: 10.22059/jsmdl.2022.326085.1587

© The Author(s). Publisher: University of Tehran, Faculty of Sport Sciences and Health.

University of Tehran
Faculty of
Sport Sciences and Health

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

Extended Abstract

Introduction

Learning new movement skills is very important for a person's successful interaction with the environment. Despite this, the neural mechanisms that are the basis of learning skills in the human brain are not well understood. In this regard, although many studies have shown that motor skills can be learned through observation, the specific neural mechanisms that are needed to transfer visual inputs to motor programs are not well understood. They have not In humans, the involvement of M1 during observation may be an important determinant of the success of visual motor learning. Therefore, if M1 has a similar functional role in observational learning as it does in physical learning, increased M1 excitability during observational learning should facilitate skill acquisition in a similar manner. which has been reported to facilitate motor learning by physical exercise. Therefore, the researcher aims to answer the question whether the use of anal tDCS through M1 facilitates the observation, acquisition and memorization of the basketball free throw task or not?

Methods

The current research was of semi-experimental type and pre-test-post-test research design with a follow-up period of seven and 21 days. Thirty female students were selected to participate in the present study and were placed in two experimental groups (real stimulation with model observation, fake stimulation with model observation). In the pre-test phase, the participants of each group performed the basketball free throw skill in a block of 15 attempts. The training phase was done in 5 consecutive days. Each day, participants in the real transcranial electrical stimulation group with model viewing received transcranial electrical stimulation of the motor cortex (C3 anode and Fp2 cathode) for 15 minutes while viewing the skilled model. And then they shoot 15 free throws in basketball. But in the fake electrical stimulation group (artificial) along with observing the model, the participants receive 15 minutes of artificial electrical stimulation while observing the skilled model and then make 15 basketball free throws. Immediately after the last training session in the post-test phase and 7 days after the last training session (short-term follow-up) and 21 days after the last training session (long-term follow-up), the participants performed 15 basketball free throws.

Results

The results of the analysis of variance with repeated measurements showed that the actual transcranial direct electrical stimulation along with the observation of the model ($\eta 2$=0.615, sig=0.0001, F=22.327) and artificial stimulation along with model observation ($\eta 2$=0.179, sig=0.023, F=3.044) on performance and short-term and long-term follow-up of basketball free throw skill have significant effect. The results of the independent t-test showed that there is a significant difference in real tDCS exercises with model observation and sham tDCS exercises with model observation in the performance of the basketball free throw during the post-test phase (P=0.006), short-term follow-up (P=0.002) and long-term follow-up (P=0.001). The results shows that the performance of basketball players in the group of real tDCS exercises with model observation compared to the participants of sham tDCS exercises with model observation during the post-test, short-term follow-up and long-term follow-up phases are statistically higher with an average difference of 2.800, 3.400 and 3.466 units respectively.

Conclusion

The purpose of this research was the simultaneous effect of observational learning and tDCS on learning basketball free throw skills. The results of this research indicated that the real tDCS stimulation along with observing the model has a significant effect on the performance and short-term and long-term follow-up of the basketball free throw. Other results of the present study showed that the artificial stimulation along with By observing the model, it has a significant effect on the performance and short-term follow-up and long-term follow-up of basketball free throws. The results of the study generally indicated that the simultaneous effect of tDCS stimulation and observational learning exercise caused higher acquisition and learning of basketball free throw skills. Therefore, trainers are suggested to use a combination of tDCS stimulation and model observation in their training, especially considering the time requirements. Overall, the current study provides a platform for future tDCS studies to use other methods to optimize motor learning. In fact, there are many ways that can be followed in future studies in order to investigate the relationship between the motor system and observational learning. For example, the effects of tDCS on observational learning may be dependent on the task, skill level and difficulty of the task.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: The present study was extracted from the doctoral dissertation approved by the research committee of the Physical Education Institute and with IR.SSRI.REC.1397.39 ethical code.

Funding: The present research did not use financial resources.

Authors' contribution: Study concept and design: Mehdi Namazizadeh, Rokhsareh Badami and Hamid mir Hossini; Critical revision of the manuscript: Mehdi Namazizadeh; data collection: Tahmineh Roya Mehdipoor.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Acknowledgments: Thanks to all the participants who helped us in this research.

رشد و یادگیری حرکتی و ورزشی
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۵۴۷
دانشگاه تهران
دانشکده علوم ورزشی و تندرستی

اثر همزمان تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای و یادگیری مشاهده‌ای بر یادگیری مهارت پرتاب آزاد بسکتبال

رویا مهدی‌پور[۱] ، مهدی نمازی‌زاده[۲]✉ ، رخساره بادامی[۳] ، حمید میرحسینی[۴]

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکدهٔ علوم ورزشی،دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) ، اصفهان، ایران. رایانامه: roya66mahdipoor@yahoo.com
۲. نویسندهٔ مسؤول: گروه رفتار حرکتی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) اصفهان، ایران: رایانامه: drmnamazizadeh@yahoo.com
۳. گروه رفتار حرکتی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. رایانامه: rokhsareh.badami@gmail.com
۴. مرکز تحقیقات اعتیاد و علوم رفتاری، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران. رایانامه: mirhoseini.h@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶
تاریخ انتشار: ۱۶/ ۱۴۰۱/۰۹

کلیدواژه‌ها:
تحریک الکتریکی مستقیم جمجمه‌ای،
یادگیری حرکتی،
یادگیری مشاهده‌ای.

چکیده

مقدمه: هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر همزمان یادگیری مشاهده‌ای و tDCS بر یادگیری مهارت پرتاب آزاد بسکتبال بود.

روش پژوهش: در این پژوهش نیمه‌تجربی که با طرح پیش‌آزمون- پس‌آزمون و دورهٔ پیگیری ۷ و ۲۱ روزه انجام گرفت، ۳۰ دانشجوی مبتدی دختر در مهارت پرتاب آزاد بسکتبال به‌صورت مشارکت داوطلبانه انتخاب شدند و در دو گروه برابر تمرینات تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای همراه با مشاهدهٔ مدل و تحریک ساختگی همراه با مشاهدهٔ مدل قرار گرفتند. در مرحلهٔ پیش‌آزمون، شرکت‌کنندگان اقدام به ۱۵ پرتاب آزاد بسکتبال کردند. مرحلهٔ تمرینی در ۵ روز پشت سرهم انجام گرفت که در هر روز ابتدا تحریک قشر حرکتی (آند C3 و کاتد Fp2) و تحریک ساختگی همراه با مشاهدهٔ مدل ماهر انجام می‌گرفت و سپس شرکت‌کنندگان اقدام به ۱۵ پرتاب آزاد بسکتبال می‌کردند. در آخرین جلسهٔ تمرینی، مرحلهٔ پس‌آزمون؛ و ۷ و ۲۱ روز پس از آخرین جلسهٔ تمرینی پیگیری کوتاه‌مدت و بلندمدت انجام گرفت. داده‌ها به روش تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری تحلیل شد.

یافته‌ها: نتایج حاکی از این بود که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای همراه با مشاهدهٔ مدل (η^2=۰/۶۱۵، sig=۰/۰۰۰۱، F=۲۲/۳۲۷) و تمرین ساختگی همراه با مشاهدهٔ مدل (η^2=۰/۱۷۹، sig=۰/۰۲۳، F=۳/۰۴۴) موجب بهبود پرتاب آزاد بسکتبال شد. دیگر نتایج نشان داد که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای همراه با مشاهدهٔ مدل در مقایسه با تمرین ساختگی همراه با تمرین مشاهده‌ای موجب بهبود بهتر پرتاب آزاد بسکتبال در مراحل پس‌آزمون (P= ۰/۰۰۶)، یادداری کوتاه‌مدت (P= ۰/۰۰۲) و یادداری بلندمدت (P= ۰/۰۰۱) شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر بر اهمیت تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای همراه با مشاهدهٔ مدل ماهر در بهبود بهتر مهارت پرتاب آزاد بسکتبال تأکید دارد.

استناد: مهدی‌پور، رویا؛ نمازی‌زاده، مهدی؛ بادامی، رخساره؛ میرحسینی، حمید. (۱۴۰۱). اثر همزمان تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای و یادگیری مشاهده‌ای بر یادگیری مهارت پرتاب آزاد بسکتبال. *نشریهٔ رشد و یادگیری حرکتی ورزشی*، (۳)۱۴، ۶۷-۵۵.

DOI:10.22059/jsmdl.2022.326085.1587

©نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تهران، دانشکدهٔ علوم ورزشی و تندرستی.

مقدمه

یکی از اهداف مهم تحقیقات در یادگیری و کنترل حرکتی انسان، شناسایی ویژگی‌های تمرینی است که یادگیری و کنترل مهارت‌های حرکتی را به حد بهینه می‌رساند. در این میان، پژوهشگران به بررسی این موضوع پرداختند که چگونه می‌توان یادگیری ویژگی‌های تغییرناپذیر و متغیر حرکات را به بهترین نحو ممکن افزایش داد (اشمیت[1] و همکاران، ۲۰۱۸). برای رسیدن به این هدف، محققان به بررسی متغیرهای اثرگذار در قبل و حین تمرین می‌پردازند تا به ایدهٔ کلی در مورد این شرایط برسند. در یکی از این موارد محققان به این نتیجه رسیدند که تمرین جسمانی حرکات برای یادگیری مهارت‌های جدید ضروری نیست، زیرا مهارت‌های حرکتی را می‌توان با مشاهدهٔ دیگران در انجام تکالیف نیز آموخت (وگت و توماسچک[2] ۲۰۰۷). بسیاری از مربیان تأکید زیادی بر نمایش حرکات به‌مثابهٔ روشی برای انتقال اطلاعات به یادگیرندگان دارند (کیرگولسون[3] و همکاران، ۲۰۲۱). به نظر بندورا مشاهدهٔ مدل سبب ایجاد بازنمایی از تکلیف می‌شود. پس از آن، هر زمان که نیازی به اجرای تکلیف باشد، از بازنمایی مذکور برای انتخاب، برنامه‌ریزی و پاسخ موردنظر استفاده می‌شود. بازنمایی همچنین به‌عنوان مرجع استانداردی برای شناسایی و تصحیح خطا عمل می‌کند. سازوکارهای فرضی که از طریق مشاهده کسب می‌شوند، متفاوت از آنهایی که طی تمرین بدنی توسعه می‌یابند و در یادگیری نقش دارند، نیستند (بندورا و والترز[4] ۱۹۹۷). بنابراین بیان شده است که ممکن است یادگیری مشاهده‌ای و یادگیری از طریق تمرین بدنی از طریق فرایندهای شناختی (برنامه‌ریزی پاسخ مناسب) مشابه کسب شوند (سورگنت[5] و همکاران، ۲۰۲۲). بندورا و والترز (۱۹۹۷) معتقدند پیش از آنکه چیزی از یک الگو یا سرمشق آموخته شود، آن الگو یا سرمشق باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین کانونی کردن توجه می‌تواند از کارکردهای یادگیری مشاهده‌ای باشد که تلاش برای کنترل آگاهانهٔ حرکت، به شکل راهبردهای توجه درونی، سیستم حرکتی را محدود می‌سازد و مانع فرایندهای خودکاری می‌شود که حرکت را کنترل می‌کنند. در مقابل، دور ساختن توجه از حرکت و معطوف کردن آن به سمت تأثیرات حرکت (راهبردهای توجه بیرونی) به سیستم اجازه می‌دهد تا به کمک درگیری بیشتر در فرایندهای پردازش خودکار، خودسازمانده شود و این خودسازمانی به بهبود عملکرد و اجرای حرکتی منجر می‌شود. نتایج تحقیقات مختلف تأکیدی بر مطلب مذکور است (مک‌نوین[6] و همکاران، ۲۰۰۳؛ ولف[7] و همکاران، ۲۰۰۱؛ انصاری[8] و همکاران، ۲۰۱۸؛ همیدا[9] و همکاران، ۲۰۱۹).

از دیگر مداخلات برای برنامه‌ریزی پاسخ حرکتی مناسب (که موفقیت در تکالیف دیداری- حرکتی مانند پرتاب آزاد بسکتبال به این عامل بستگی دارد)، استفاده از تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) است (هریس[10] و همکاران، ۲۰۱۹). اخیراً، علاقه به استفاده از tDCS به‌عنوان روشی برای افزایش این کارکردها به‌دلیل دسترسی آسان به تجهیزات و دامنهٔ وسیعی از یافته‌های امیدوارکننده افزایش یافته است (بانیسی و موگلتون[11] ۲۰۱۳). تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال (tDCS) جریان‌های کم (۱-۲ میلی‌آمپر) را از طریق الکترودهای روی پوست سر به مناطق خاصی از مغز اعمال می‌کند. تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال (tDCS) ایمن و آسان برای استفاده، نسبتاً ارزان، قابل حمل و بدون درد است (اوهن[12] و همکاران، ۲۰۰۸). تأثیرات تحریک به محل قرارگیری الکترودها بستگی دارد (سادوک[13] و همکاران، ۲۰۰۹). tDCS نشان داده که می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در تعدیل‌سازی و تغییر تحریک‌پذیری مناطق حرکتی درگیر در حرکت استفاده شود. تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که یادگیری مهارت حرکتی را می‌توان با استفاده از تحریک

1. Schmidt
2. Vogt & Thomaschke
3. Krigolson
4. Bandura & Walterz
5. Sorgente
6. McNevin
7. Wulf
8. Ansari
9. H'mida
10. Harris
11. Banissy & Muggleton
12. Ohn
13. Sadock

الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای آندال (tDCS) به قشر حرکتی اولیه (M1) طی تمرین جسمانی مهارت‌های جدید تسهیل کرد (باچ[1] و همکاران، ۲۰۱۷). نظریه‌ها و فرضیاتی برای تأثیر tDCS بر اجرا و یادگیری مهارت‌ها ورزشی گزارش شده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به شلیک همزمان عصبی، سازوکارهای غیرسیناپسی و سیناپسی اشاره کرد (لو[2] و همکاران، ۲۰۲۱). این نتایج نشان می‌دهد که M1 هنگام یادگیری مهارت‌های حرکتی از طریق تمرینات جسمانی، نقش عملکردی دارد. ازاین‌رو از tDCS به‌عنوان راهبردی برای بهبود عملکرد و یادگیری حرکتی استفاده شده است. نتایج پژوهش‌های اخیر حاکی از اثر مثبت تحریک الکتریکی مستقیم مغز بر یادگیری مهارت‌های حرکتی است (لو و همکاران، ۲۰۲۱؛ هالاکو[3] و همکاران، ۲۰۲۱؛ کوماری[4] ۲۰۲۰؛ سیدل-مرزی و راجرت[5] ۲۰۲۰؛ گوان و هورادکر[6] ۲۰۲۰). به‌طور مثال، لو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که tDCS دوطرفهٔ M1 می‌تواند به‌طور چشمگیری قدرت عضلانی و نیروی انفجاری اکستنسور و فلکسور زانو را بهبود بخشد، که ممکن است ناشی از افزایش به‌کارگیری واحدهای حرکتی باشد. همچنین هالاکو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که تحریک tDCS دوطرفه در یادگیری مهارت‌های ورزشی ورزشکاران مؤثر است.

یادگیری مهارت‌های حرکتی جدید برای تعامل موفقیت‌آمیز شخص با محیط بسیار مهم است. با وجود این، سازوکارهای عصبی که زیربنای یادگیری مهارت‌ها در مغز انسان است، به‌خوبی شناخته نشده‌اند. در این زمینه اگرچه بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که مهارت‌های حرکتی را می‌توان از طریق مشاهده فرا گرفت، سازوکارهای عصبی ویژه که برای انتقال دروندادهای دیداری به برنامه‌های حرکتی نیاز است، به‌خوبی درک نشده‌اند (اوستری و گریبل[7] ۲۰۱۶؛ مک‌گرگور[8] و همکاران، ۲۰۱۶). چندین نظریه حاکی از آن است که مشاهدهٔ عمل با ایجاد معرف‌های داخلی برنامه‌های حرکتی مورد نیاز برای انجام عمل، سیستم حرکتی ناظر را درگیر می‌کند (گنتچ[9] و همکاران، ۲۰۱۶). درگیری قشرهای پیش‌حرکتی و آهیانه‌ای به‌طور مداوم هم در اجرای عمل و هم در مشاهدهٔ عمل گزارش می‌شود و این دو ناحیهٔ مغز هستهٔ سیستم به اصطلاح آینهٔ انسان را تشکیل می‌دهند (ایاکوبونی[10] و همکاران، ۲۰۰۵؛ ریزولاتی و سینیگاگیلا[11] ۲۰۱۰). اگرچه M1 بخشی از سیستم آینه‌ای پیش‌حرکتی- آهیانه‌ای نیست، شواهد نشان می‌دهد که نقش مهمی در مشاهدهٔ عمل و همچنین یادگیری با مشاهده دارد. ثبت‌های الکتروفیزیولوژیکی در میمون‌ها نشان می‌دهد که سلول‌های M1 دارای ویژگی‌های آینه‌مانند هستند، به این معنا که هم به حرکات مشاهده‌شده و هم حرکات اجراشده پاسخ می‌دهند (وهنون[12] و همکاران، ۲۰۰۶؛ دوشانوا و دونوگهو[13] ۲۰۱۰؛ تاچ[14] و همکاران، ۲۰۱۰). در انسان، تحریک مغناطیسی از M1، که عملکرد را به‌طور موقت مختل می‌کند، به‌طور مؤثر با ایجاد یک ضایعهٔ مجازی کوتاه‌مدت، موجب کاهش مزیت یادگیری حرکتی با مشاهده می‌شود (براون[15] و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه‌بر این، درگیری M1 در طول مشاهده ممکن است تعیین‌کنندهٔ مهمی برای موفقیت یادگیری حرکتی از طریق مشاهده باشد (آریدان و موکامل[16] ۲۰۱۶). بنابراین اگر M1 نقش کارکردی مشابهی را همان‌طورکه در یادگیری جسمانی انجام می‌دهد، در یادگیری مشاهده‌ای داشته باشد، افزایش تحریک‌پذیری M1 هنگام یادگیری مشاهده‌ای باید کسب مهارت را به روشی مشابه که برای یادگیری حرکتی توسط تمرین بدنی گزارش

1. Buch
2. Lu
3. Halakoo
4. Kumari
5. Seidel-Marzi & Ragert
6. Gowan & Hordacre
7. Ostry & Gribble
8. McGregor
9. Gentsch
10. Iacoboni
11. Rizzolatti & Sinigaglia
12. Wahnoun
13. Dushanova & Donoghue
14. Tkach
15. Brown
16. Aridan & Mukamel

شده است، تسهیل کند. بنابراین محقق درصدد به پاسخگویی به این پرسش است که آیا استفاده از tDCS آندال از طریق M1 در طول عمل مشاهده، اکتساب و یادداری تکلیف پرتاب آزاد بسکتبال را تسهیل می‌کند یا خیر؟

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی و طرح تحقیق پیش‌آزمون- پس‌آزمون با دورۀ پیگیری ۷ و ۲۱ روزه بود.

شرکت‌کنندگان

جامعۀ آماری پژوهش حاضر تمامی دانشجویان دختر تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) بودند که از این بین ۳۰ نفر به‌صورت مشارکت داوطلبانه برای شرکت در تحقیق حاضر انتخاب شدند و در دو گروه تجربی (تحریک واقعی همراه با مشاهدۀ مدل، تحریک ساختگی همراه با مشاهدۀ مدل) قرار گرفتند. تمامی شرکت‌کنندگان از اهداف ویژۀ پژوهش بی‌اطلاع بودند. معیارهای ورود به تحقیق شامل سطح تبحر مبتدی (امتیاز کمتر از ۵۹ در آزمون سطح تبحر پرتاب آزاد بسکتبال (رابینز[1] و همکاران، ۲۰۰۷))، دید طبیعی، راست‌دست بودن و سلامت جسمانی، و معیارهای خروج شامل داشتن اضطراب رقابتی بالا و داشتن اختلال بینایی بود.

ابزار

برای تحریک الکتریکی مغز از دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای استفاده شد. در این پژوهش از دستگاهDose Active استفاده شد که از طریق الکترودهای متفاوت جریان الکتریکی را به مغز منتقل می‌کند. در این پژوهش، الکترودها درون پدهای اسفنجی ۳۵ سانتی‌متر مربع قرار می‌گیرند و سطح پدها با محلول کلرید سدیم ۹ درصد آغشته می‌شود تا ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی از افزایش حرارت پیشگیری شود. دستگاه از لحاظ شدت جریان، اندازۀ الکترود و مدت زمان تحریک قابل کنترل است. مداخلۀ تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بدین‌صورت است که در تحریک قشر حرکتی الکترودها در آند C3 و کاتد Fp2 قرار می‌گیرند. برای یافتن نقاط سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ به‌کار گرفته شد. در این تحقیق از تحریک الکتریکی با جریان ۱/۵ میلی‌آمپر و به مدت ۱۵ دقیقه با پدهای اسفنجی به ابعاد ۵*۷ استفاده شد (جئون و هان[2] ۲۰۱۲). مدهاوان[3] و همکاران (۲۰۱۶) روایی و پایایی این دستگاه را تأیید کردند و پایایی این دستگاه را با ضریب درون طبقه‌ای (ICC) ۰/۶ تا ۰/۹ گزارش کردند. تکلیف این پژوهش آزمون پرتاب بسکتبال بود که از سیستم ۴ امتیازی ایفرد برای امتیازبندی استفاده شد.

روند اجرای پژوهش

این پژوهش توسط کمیتۀ اخلاق پژوهشگاه تربیت بدنی به شمارۀ IR.SSRI.REC.1397.39 تأیید شد. در ابتدا برگۀ رضایت توسط شرکت‌کنندگان تکمیل شد و سپس نحوۀ اجرای مهارت با استفاده از نمایش الگوی ماهر و آموزش کلامی به هریک از شرکت‌کنندگان آموزش داده شد. در مرحلۀ پیش‌آزمون شرکت‌کنندگان هریک از گروه‌ها در یک بلوک ۱۵ کوششی به اجرای مهارت پرتاب آزاد بسکتبال مطابق با قوانین موجود پرداختند که امتیاز آنها توسط دستیار محقق یادداشت شد. مرحلۀ تمرینی در ۵ روز پشت سر هم انجام گرفت. تحقیقات قبلی نشان دادند روند این مدت تأثیرات امیدوارکننده‌ای را در پی دارد و از آن می‌توان به‌عنوان روندی مؤثر سود جست (ریس[4] و همکاران، ۲۰۰۹). در هر روز، شرکت‌کنندگان گروه تحریک واقعی الکتریکی فراجمجمه‌ای همراه با مشاهدۀ مدل، به مدت ۱۵ دقیقه تحریک الکتریکی مغز فراجمجمه‌ای قشر حرکتی (آند C3 و کاتد Fp2) را هنگام مشاهدۀ الگوی ماهر دریافت می‌کنند و سپس به ۱۵

1. Robins
2. Jeon & Han
3. Madhavan
4. Reis

پرتاب آزاد بسکتبال می‌پردازند. اما در گروه تحریک الکتریکی ساختگی (تصنعی) همراه با مشاهدهٔ مدل، شرکت‌کنندگان ۱۵ دقیقه تحریک الکتریکی ساختگی را هنگام مشاهدهٔ الگوی ماهر دریافت می‌کنند و سپس به ۱۵ پرتاب آزاد بسکتبال می‌پردازند. بلافاصله پس از آخرین جلسهٔ تمرینی در مرحلهٔ پس‌آزمون و ۷ روز پس از آخرین جلسهٔ تمرینی (پیگیری کوتاه‌مدت) و ۲۱ روز پس از آخرین جلسهٔ تمرینی (پیگیری بلندمدت) شرکت‌کنندگان ۱۵ پرتاب آزاد بسکتبال انجام دادند که امتیاز آنها توسط دستیار محقق یادداشت شد.

روش آماری

در پژوهش حاضر از میانگین و انحراف معیار به‌عنوان آمار توصیفی استفاده شد. همچنین از تحلیل واریانس مرکب (۲ گروه × ۴ زمان اندازه‌گیری) به‌عنوان آمار استنباطی برای تحلیل داده‌های پژوهش استفاده شد. شایان ذکر است که پیش‌فرض‌های این آزمون شامل آزمون باکس، آزمون موشلی و آزمون لون نیز در یافته‌های پژوهش به آن اشاره شد. برای تحلیل داده‌های پژوهش حاضر از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۴ استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر همزمان یادگیری مشاهده‌ای و tDCS بر یادگیری مهارت پرتاب آزاد بسکتبال بود. در این تحقیق ۱۵ نفر (سن ۳/۱۲± ۲۴/۴۷ سال؛ قد ۵/۸۰± ۱۷۳/۸۶ سانتی‌متر و وزن ۶/۸۹± ۷۱/۸۶ کیلوگرم) در گروه تحریک واقعی الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای همراه با مشاهدهٔ مدل و ۱۵ نفر (سن ۳/۸۵±۲۴/۲۷ سال؛ قد ۵/۶۳±۱۷۵/۹۳ سانتی‌متر و وزن ۶/۱۲±۷۸/۶۰ کیلوگرم) در گروه تحریک ساختگی (شم) همراه با مشاهدهٔ مدل قرار گرفتند. در جدول ۱ میانگین و انحراف معیار مربوط به متغیر پژوهش طی مراحل مختلف اندازه‌گیری در گروه‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار پرتاب آزاد بسکتبال در مراحل و در گروه‌های مختلف

مرحله	tDCS همراه با مشاهدهٔ مدل	تحریک ساختگی همراه با مشاهدهٔ مدل
	انحراف± میانگین	انحراف± میانگین
پیش‌آزمون	۱۷/۵±۲۰/۸۳	۱۶/۳±۹۳/۶۳
پس‌آزمون	۲۳/۲±۲۶/۳۱	۲۰/۲±۴۶/۸۲
یادداری کوتاه‌مدت	۲۲/۲±۴۰/۴۴	۱۹/۲±۰۰/۹۲
یادداری بلندمدت	۲۲/۲±۶۰/۲۶	۱۹/۲±۱۳/۹۹

در پژوهش حاضر از تحلیل واریانس مرکب (۲ گروه × ۴ مرحلهٔ اندازه‌گیری) برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. در این پژوهش پیش‌فرض‌های برابری ماتریس کوواریانس (آزمون باکس) (P= ۰/۲۹۳)، برابری اصل تقارن مرکب (آزمون موشلی) (P= ۰/۱۹۳) و برابری واریانس‌ها (آزمون لون) (P=۰/۱۳۵=پیش‌آزمون، P= ۰/۳۵۸=پس‌آزمون، P= ۰/۳۲۲=یادداری کوتاه‌مدت، P= ۰/۱۵۱=یادداری بلندمدت) برقرار بود.

جدول ۲. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	مقدار F	سطح معنی‌داری	مجذور اتا
زمان اندازه‌گیری	۳۹۸/۰۲۵	۳	۱۳۲/۶۷۵	۱۶/۸۳۳	۰/۰۰۰۱*	۰/۳۷۵
گروه	۱۸۵/۰۰۸	۱	۱۸۵/۰۰۸	۸/۸۲۷	۰/۰۰۶*	۰/۲۴۰
زمان * گروه	۵۱/۱۵۸	۳	۱۷/۰۵۳	۲/۱۶۴	۰/۰۴۷*	۰/۰۷۲

نتایج جدول ۲ حاکی از این است که تأثیرات اصلی (اثر زمان اندازه‌گیری و اثر گروه) و اثر تعاملی (گروه × مراحل اندازه‌گیری) معنادار است. به‌دلیل معنادار بودن اثر تعاملی (زمان اندازه‌گیری * گروه)، ابتدا مراحل درون‌گروهی هریک از گروه‌ها مقایسه و سپس بین‌گروهی در هریک از مراحل اندازه‌گیری بررسی می‌شود.

جدول ۳. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی با اندازه‌گیری تکراری در هریک از گروه‌های تمرینی

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	مقدار F	سطح معناداری	مجذور اتا
tDCS واقعی	۳۵۳/۴۰۰	۳	۱۱۷/۸۰۰	۲۲/۳۲۷	۰/۰۰۰۱*	۰/۶۱۵
tDCS ساختگی	۹۵/۷۸۳	۳	۳۱/۹۲۸	۳/۰۴۴	۰/۰۲۳*	۰/۱۷۹

* در سطح کوچک‌تر از ۰/۰۲۵ معنادار است.

همان‌طورکه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نتایج هم تحریک واقعی الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای همراه با مشاهدهٔ مدل (۰/۶۱۵= $\eta2$، sig=۰/۰۰۰۱، F=۲۲/۳۲۷) و هم تحریک ساختگی همراه با مشاهدهٔ مدل ($\eta2$=۰/۱۷۹، sig=۰/۰۲۳، F=۳/۰۴۴) بر عملکرد و پیگیری کوتاه‌مدت و بلندمدت مهارت پرتاب آزاد بسکتبال تأثیر معناداری دارد. نتایج آزمون پیگردی بونفرونی نشان داد که در اثر تحریک واقعی الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای همراه با مشاهدهٔ مدل مهارت پرتاب آزاد بسکتبال شرکت‌کنندگان در مراحل پس‌آزمون (۰/۰۰۱ =P)، یادداری کوتاه‌مدت (۰/۰۰۱ =P) و یادداری بلندمدت (۰/۰۰۲ =P) بهبود معناداری یافته است (در سطح کوچک‌تر از ۰/۰۲۵ معنادار است). همچنین نتایج آزمون پیگردی بونفرونی نشان داد که در اثر تحریک ساختگی الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای همراه با مشاهدهٔ مدل مهارت پرتاب آزاد بسکتبال شرکت‌کنندگان در مراحل پس‌آزمون (۰/۰۱ =P)، یادداری کوتاه‌مدت (۰/۰۲ =P)، و یادداری بلندمدت (۰/۰۲ =P) بهبود معناداری یافته است (در سطح کوچک‌تر از ۰/۰۲۵ معنادار است). پس از بررسی تفاوت‌های درون‌گروهی به بررسی تفاوت بین‌گروهی با استفاده در هریک از مراحل آزمون پرداخته شد.

جدول ۴. یافته‌های مربوط به آزمون تی مستقل در هریک از مراحل اندازه‌گیری

گروه	درجه آزادی	اختلاف میانگین	مقدار t	سطح معناداری
پیش‌آزمون	۲۸	۰/۲۶۶	۰/۱۵۰	۰/۹۲۷
پس‌آزمون	۲۸	۲/۸۰۰	۲/۹۷۰	۰/۰۰۶*
یادداری کوتاه‌مدت	۲۸	۳/۴۰۰	۳/۴۵۳	۰/۰۰۲*
یادداری بلندمدت	۲۸	۳/۴۶۶	۳/۵۷۶	۰/۰۰۱*

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در اجرای پرتاب آزاد بسکتبال در مرحلهٔ پس‌آزمون (۰/۰۰۶ =P)، یادداری کوتاه‌مدت (۰/۰۰۲ =P) و یادداری بلندمدت (۰/۰۰۱ =P) در اثر تمرینات واقعی tDCS همراه با مشاهدهٔ مدل و تمرینات ساختگی tDCS همراه با مشاهدهٔ مدل تفاوت معناداری وجود دارد. بررسی‌ها نشان‌دهندهٔ این است که اجرای بسکتبالیست‌های گروه تمرینات واقعی tDCS همراه با مشاهدهٔ مدل در مقایسه با شرکت‌کنندگان تمرینات ساختگی tDCS همراه با مشاهدهٔ مدل طی مراحل پس‌آزمون، یادداری کوتاه‌مدت و یادداری بلندمدت به‌ترتیب با اختلاف میانگین ۲/۸۰۰، ۳/۴۰۰ و ۳/۴۶۶ واحد از لحاظ آماری بالاتر است. نمودار ۱ برای مشاهدهٔ بهتر تغییرات بین گروه‌ها در مراحل مختلف تمرین ارائه شده است.

	پیش آزمون	پس آزمون	یادداری کوتاه مدت	یادداری بلند مدت
تحریک الکتریکی واقعی همراه یا مدل مشاهده	۱۷/۲	۲۳/۲۶	۲۲/۴	۲۲/۶
تحریک ساختگی همراه یا مشاهده	۱۶/۹۳	۲۰/۴۶	۱۹	۱۹/۱۳

نمودار ۱. تغییرات عملکرد پرتاب آزاد بسکتبال در هریک از گروه‌ها طی مراحل اندازه‌گیری مختلف

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر همزمان یادگیری مشاهده‌ای و tDCS بر یادگیری مهارت پرتاب آزاد بسکتبال بود. نتایج نشان داد که تحریک واقعی tDCS همراه با مشاهدهٔ مدل بر عملکرد و پیگیری کوتاه‌مدت و بلندمدت پرتاب آزاد بسکتبال تأثیر معناداری دارد. این یافته با نتایج تحقیقات لو و همکاران (۲۰۲۱)، هالاکو و همکاران (۲۰۲۱)، کوماری (۲۰۲۰) سیدل – مرزی و راجرت (۲۰۲۰) و گوان و همکاران (۲۰۲۰) همخوان است. در این مورد لو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که tDCS دوطرفه M1 می‌تواند به‌طور چشمگیری قدرت عضلانی و نیروی انفجاری اکستنسور و فلکسور زانو را بهبود بخشد، که ممکن است ناشی از افزایش به‌کارگیری واحدهای حرکتی باشد. همچنین این یافته با یافتهٔ هالاکو و همکاران (۲۰۲۱) همخوان است. هالاکو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که تحریک tDCS دوطرفه در یادگیری مهارت‌های ورزشی ورزشکاران مؤثر است. تعداد جلسات مشابه در تمرین تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای و محتوای مشابه مقدار زمانی و دستورالعمل‌ها در این تحقیقات می‌تواند از دلایل همخوانی باشد. سازوکارهای عمل زمینه‌ای برای مدولاسیون فعالیت عصبی ناشی از tDCS هنوز کاملاً درک نشده است. با این حال، تحقیقات نشان داده‌اند که جریان الکتریکی تولیدشده توسط tDCS در پتانسیل غشای استراحت سلول‌های عصبی دخالت می‌کند، که فعالیت مدارهای خودبه‌خود مغز را تعدیل می‌کند (فریرا[1] و همکاران، ۲۰۱۹). برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که tDCS می‌تواند در قدرت سیناپسیس عصبی تأثیر داشته باشد، فعالیت گیرنده‌های گابا را تغییر دهد و فرایند انعطاف‌پذیری مانند تقویت طولانی‌مدت را تحریک کند (رانیری[2] و همکاران، ۲۰۱۲؛ پولانیا[3] و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین تصور می‌شود تأثیرات طولانی‌مدت tDCS با تغییرات در سنتز پروتئین و بیان ژن همراه است (هاتوری[4] و همکاران، ۱۹۹۰؛ ایسلام[5] و همکاران، ۱۹۹۵). علاوه‌بر این، مطالعهٔ تصویربرداری عصبی نشان داد که تغییرات جریان خون در پی تحریک، که ممکن است مربوط به تأثیر مستقیم tDCS بر جریان خون باشد، با افزایش عرضهٔ اکسیژن در نواحی قشر مغز و افزایش بعدی تحریک‌پذیری عصبی

1. Ferreira
2. Ranieri
3. Polanía
4. Hattori
5. Islam

همراه باشد (ژنگ[1] و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به این سازوکارها، به‌نظر می‌رسد tDCS ابزاری باارزش برای تحریک فعالیت مغز و انعطاف‌پذیری به‌دنبال آسیب مغزی است.

دیگر نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تحریک ساختگی همراه با مشاهدهٔ مدل بر عملکرد و پیگیری کوتاه‌مدت و پیگیری بلندمدت پرتاب آزاد بسکتبال تأثیر معناداری دارد. اگر از دیدگاه نظری به پیشرفت یادگیری در گروه تحریک ساختگی همراه با تمرین یادگیری مشاهده‌ای نگاه کنیم، می‌توان به نظریهٔ بندورا و والترز (۱۹۹۷) رجوع کرد که با ارائهٔ نظریهٔ وساطت شناختی مطرح می‌کند که بیشتر رفتارهای انسان با مشاهده از طریق الگوبرداری یاد گرفته می‌شوند. الگودهی، از شیوه‌های رایج برای فراهم ساختن منابع و اطلاعات لازم حین اجرای مهارت حرکتی است. در اصل الگوسازی موجب توسعهٔ بازنمایی شناختی و ادراکی توسط فرد مشاهده‌گر می‌شود و به‌عنوان یک ملاک به مشاهده‌گر کمک می‌کند تا یک رفتار را پیش از اینکه کاملاً فعال شود، کسب کند. براساس نظریهٔ وساطت شناختی، یادگیری مشاهده‌ای اغلب فعالیتی برای پردازش اطلاعات است. در طول این یادگیری فرد مشاهده‌گر، بازنمایی شناختی از مهارت را کسب می‌کند و از این بازنمایی شناختی کمک می‌جوید تا حرکت را تنظیم کند و به‌عنوان ملاکی صحیح برای یافتن و اصلاح خطاهای موجود در انجام مهارت از آن کمک می‌جوید.

اما یافتهٔ اصلی تحقیق حاضر این بود که بین اثر تمرینات واقعی tDCS همراه با مشاهدهٔ مدل و تمرینات ساختگی tDCS همراه با مشاهدهٔ مدل طی مراحل پس‌آزمون، یادداری کوتاه‌مدت و یادداری بلندمدت در پرتاب آزاد بسکتبال تفاوت معناداری وجود دارد. بررسی‌های بیشتر نشان داد که امتیاز شرکت‌کنندگان در اثر تمرینات tDCS همراه با مشاهدهٔ مدل در مقایسه با امتیاز شرکت‌کنندگان در اثر تمرینات tDCS ساختگی همراه با مشاهدهٔ مدل طی مراحل پس‌آزمون، یادداری کوتاه‌مدت و یادداری بلندمدت به‌ترتیب با اختلاف میانگین ۲/۸۰۰، ۳/۴۰۰ و ۳/۴۶۶ واحد از لحاظ آماری بالاتر بود. این یافته از اثر همزمان تحریک tDCS و یادگیری مشاهده‌ای حمایت می‌کند. در تحقیق حاضر از tDCS آندال بر M1 برای تعیین مقداری که تحریک سیستم حرکتی ممکن است یادگیری را از طریق مشاهده تسهیل کند، استفاده شد. یادگیری حرکتی تحریک‌پذیری M1 را افزایش می‌دهد و اتصالات سیناپسی را در M1 از طریق سازوکارهای طولانی‌مدت تقویت می‌کند (سپامپیناتو و سلنیک[2] ۲۰۱۷). به‌طور مشابه، استفاده از جریان آندی در M1 از طریق tDCS موجب افزایش تحریک‌پذیری سلول‌های عصبی قشر زیر سطح الکترود می‌شود (نیچه[3] و همکاران، ۲۰۰۸) و پس از اثر تحریک، اعتقاد بر این است که عوامل تحریک‌شده با تغییرات سازوکارهای طولانی‌مدت در انعطاف‌پذیری سیناپسی مرتبط‌اند (استاگ[4] و نیچه، ۲۰۱۱). علاوه‌بر این، ترکیبی از tDCS آندال از طریق M1 در یک تکلیف حرکتی (که تحریک آنلاین نامیده می‌شود) موجب تسهیل یادگیری حرکتی شده است (باچ و همکاران، ۲۰۱۷)، که این نتایج نشان می‌دهد ممکن است تأثیرات اضافی در ترکیب تکنیک‌های تحریک با الگوهای یادگیری همانند یادگیری مشاهده‌ای وجود داشته باشد، زیرا شواهد نشان می‌دهد M1 نقش مهمی در مشاهدهٔ عمل و همچنین یادگیری با مشاهده دارد، بنابراین دور از انتظار نیست که این پاسخ همزمان در تحریک و مشاهدهٔ عمل موجب عملکرد بهتر شود که یافتهٔ پژوهش حاضر نیز همراستا با این مطلب است.

نتایج پژوهش به‌طور کلی حاکی از این بود که اثر همزمان تحریک tDCS و تمرین یادگیری مشاهده‌ای موجب اکتساب و یادگیری بالاتر مهارت پرتاب آزاد بسکتبال شد. بنابراین به مربیان پیشنهاد می‌شود که در تمرینات خود به‌خصوص با توجه به مقتضیات زمانی از ترکیبی از تحریک tDCS و مشاهدهٔ مدل بهره جویند. در مجموع تحقیق حاضر بستری را برای تحقیقات بعدی tDCS فراهم می‌کند تا از روش‌های دیگر نیز برای بهینه‌سازی یادگیری حرکتی استفاده شود. در واقع، راه‌های بسیاری وجود دارد که در پژوهش‌های آینده می‌توان به‌منظور بررسی رابطهٔ بین سیستم حرکتی و یادگیری مشاهده‌ای دنبال کرد. برای مثال تأثیرات tDCS در یادگیری مشاهده‌ای ممکن است به تکلیف، سطح مهارت و دشواری تکلیف وابسته باشد. با وجود نتایج ذکرشده، تحقیق حاضر با محدودیت‌های زیر مواجه بود:

1. Zheng
2. Spampinato & Celnik
3. Nitsche
4. Stagg

اول اینکه به‌دلیل انجام تحقیق حاضر در دوران اپیدمی کرونا، شرکت‌کنندگان مجبور به استفاده از ماسک در حین اجرای تمرینات و آزمون‌ها بودند؛ دوم، عدم کنترل محقق روی تمرینات احتمالی ذهنی یا بدنی از تکلیف موردنظر در خارج از جلسات تمرینی علی‌رغم دادن تذکرات لازم در این مورد به آنها.

تقدیر و تشکر

از تمامی شرکت‌کنندگان در پژوهش سپاسگزاریم.

References

Ansari, O., Zarezade, M., & Kakhaki, A. S. (2018). Effect of distance increase of external focus of attention on tracking task learning under secondary task condition. *International journal of Sport Studies for Health*, 1(2). (In Persian)

Aridan, N., & Mukamel, R. (2016). Activity in primary motor cortex during action observation covaries with subsequent behavioral changes in execution. *Brain and Behavior*, 6(11), e00550.

Bandura, A., & Walters, R. H. (1977). Social learning theory (Vol. 1). Prentice Hall: Englewood cliffs.

Banissy, M. J., & Muggleton, N. G. (2013). Transcranial direct current stimulation in sports training: potential approaches. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 129.

Brown, L. E., Wilson, E. T., & Gribble, P. L. (2009). Repetitive transcranial magnetic stimulation to the primary motor cortex interferes with motor learning by observing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(5), 1013-1022.

Buch, E. R., Santarnecchi, E., Antal, A., Born, J., Celnik, P. A., Classen, J., ... & Cohen, L. G. (2017). Effects of tDCS on motor learning and memory formation: a consensus and critical position paper. *Clinical Neurophysiology*, 128(4), 589-603.

Dushanova, J., & Donoghue, J. (2010). Neurons in primary motor cortex engaged during action observation. *European Journal of Neuroscience*, 31(2), 386-398.

Ferreira, I., Teixeira Costa, B., Lima Ramos, C., Lucena, P., Thibaut, A., & Fregni, F. (2019). Searching for the optimal tDCS target for motor rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 16(1), 1-12.

Gentsch, A., Weber, A., Synofzik, M., Vosgerau, G., & Schütz-Bosbach, S. (2016). Towards a common framework of grounded action cognition: Relating motor control, perception and cognition. *Cognition*, 146, 81-89.

Gowan, S., & Hordacre, B. (2020). Transcranial direct current stimulation to facilitate lower limb recovery following stroke: current evidence and future directions. *Brain Sciences*, 10(5), 310.

Halakoo, S., Ehsani, F., Hosnian, M., Zoghi, M., & Jaberzadeh, S. (2020). The comparative effects of unilateral and bilateral transcranial direct current stimulation on motor learning and motor performance: A systematic review of literature and meta-analysis. *Journal of Clinical Neuroscience*, 72, 8-14.

Harris, D. J., Wilson, M. R., Buckingham, G., & Vine, S. J. (2019). No effect of transcranial direct current stimulation of frontal, motor or visual cortex on performance of a self-paced visuomotor skill. *Psychology of Sport and Exercise*, 43, 368-373.

Hattori, Y., Moriwaki, A., & Hori, Y. (1990). Biphasic effects of polarizing current on adenosine-sensitive generation of cyclic AMP in rat cerebral cortex. *Neuroscience letters*, 116(3), 320-324.

H'mida, C., H'mida, S., & Chtourou, H. (2019). Evolution of Attention During A Teaching Lesson of "Anatomy" in Physical Education Degree'Students: The Time of Day Effect. International *Journal of Sport Studies for Health*, 2(2).

Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS biology*, 3(3), e79.

Islam, N., Aftabuddin, M., Moriwaki, A., Hattori, Y., & Hori, Y. (1995). Increase in the calcium level following anodal polarization in the rat brain. *Brain research*, 684(2), 206-208.

Jeon, S. Y., & Han, S. J. (2012). Improvement of the working memory and naming by transcranial direct current stimulation. *Annals of rehabilitation medicine*, 36(5), 585-595.

Krigolson, O. E., Ferguson, T. D., Colino, F. L., & Binsted, G. (2021). Distribution of practice combined with observational learning has time dependent effects on motor skill acquisition. *Perceptual and Motor Skills*, 128(2), 885-899.

Kumari, N. (2020). *Cerebellar transcranial direct current stimulation to influence motor learning* (Doctoral dissertation, Auckland University of Technology).

Lu, P., Hanson, N. J., Wen, L., Guo, F., & Tian, X. (2021). Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Muscle Strength of Non-dominant Knee in Healthy Young Males. *Frontiers in Physiology*, *12*.

Madhavan, S., Sriraman, A., & Freels, S. (2016). Reliability and variability of tDCS induced changes in the lower limb motor cortex. *Brain sciences*, *6*(3), 26.

McGregor, H. R., Cashaback, J. G., & Gribble, P. L. (2016). Functional plasticity in somatosensory cortex supports motor learning by observing. *Current Biology*, *26*(7), 921-927.

McNevin, N. H., Shea, C. H., & Wulf, G. (2003). Increasing the distance of an external focus of attention enhances learning. *Psychological research*, *67*(1), 22-29.

Nitsche, M. A., Cohen, L. G., Wassermann, E. M., Priori, A., Lang, N., Antal, A., ... & Pascual-Leone, A. (2008). Transcranial direct current stimulation: state of the art 2008. *Brain stimulation*, *1*(3), 206-223.

Ohn, S. H., Park, C. I., Yoo, W. K., Ko, M. H., Choi, K. P., Kim, G. M., ... & Kim, Y. H. (2008). Time-dependent effect of transcranial direct current stimulation on the enhancement of working memory. *Neuroreport*, *19*(1), 43-47.

Ostry, D. J., & Gribble, P. L. (2016). Sensory plasticity in human motor learning. *Trends in neurosciences*, *39*(2), 114-123.

Polanía, R., Paulus, W., Antal, A., & Nitsche, M. A. (2011). Introducing graph theory to track for neuroplastic alterations in the resting human brain: a transcranial direct current stimulation study. *Neuroimage*, *54*(3), 2287-2296.

Ranieri, F., Podda, M. V., Riccardi, E., Frisullo, G., Dileone, M., Profice, P., . & Grassi, C. (2012). Modulation of LTP at rat hippocampal CA3-CA1 synapses by direct current stimulation. *Journal of neurophysiology*, *107*(7), 1868-1880.

Reis, J., Schambra, H. M., Cohen, L. G., Buch, E. R., Fritsch, B., Zarahn, E., ... & Krakauer, J. W. (2009). Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(5), 1590-1595.

Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nature reviews neuroscience*, *11*(4), 264-274.

Robins, M., Davids, K., Bartlett, R., & Wheat, J. S. (2007, December). Effects of attentional strategies, task expertise and anxiety on coordination of a discrete multi-articular action. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.

Sadock, B. J., Sadock, V. A., & Kaplan, H. I. (2009). *Kaplan and Sadock's concise textbook of child and adolescent psychiatry*. Lippincott Williams & Wilkins.

Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Human kinetics.

Seidel-Marzi, O., & Ragert, P. (2020). Neurodiagnostics in sports: investigating the athlete's brain to augment performance and sport-specific skills. *Frontiers in Human Neuroscience*, *14*, 133.

Sorgente, V., Cohen, E. J., Bravi, R., & Minciacchi, D. (2022). The Best of Two Different Visual Instructions in Improving Precision Ball-Throwing and Standing Long Jump Performances in Primary School Children. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, *7*(1), 8.

Spampinato, D., & Celnik, P. (2017). Temporal dynamics of cerebellar and motor cortex physiological processes during motor skill learning. *Scientific reports*, *7*(1), 1-12.

Stagg, C. J., & Nitsche, M. A. (2011). Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *The Neuroscientist*, 17(1), 37-53.

Tkach, D., Reimer, J., & Hatsopoulos, N. G. (2007). Congruent activity during action and action observation in motor cortex. *Journal of Neuroscience*, 27(48), 13241-13250.

Vogt, S., & Thomaschke, R. (2007). From visuo-motor interactions to imitation learning: behavioural and brain imaging studies. *Journal of sports sciences*, 25(5), 497-517.

Wahnoun, R., He, J., & Tillery, S. I. H. (2006). Selection and parameterization of cortical neurons for neuroprosthetic control. *Journal of neural engineering*, 3(2), 162.

Wulf, G., McNevin, N., & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 54(4), 1143-1154.

Zheng, X., Alsop, D. C., & Schlaug, G. (2011). Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on human regional cerebral blood flow. *Neuroimage*, 58(1), 26-33.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی