Journal of
Sports and Motor Development and Learning
University of Tehran Press
Online ISSN: 2676-4547

Comparing the Effect of Transcranial Direct Current Stimulation of Cerebellum and Dorsolateral Prefrontal Cortex on Static Balance of Elderly Men

Mosna Kazem Alkarie[1], Farzaneh Davari[2]✉, Mazen Hadi Kazar[3], Zohreh Meshkati[4]

1. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. E-mail: mnkm1992@gmail.com
2. Corresponding Author. Department of Physical Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran. E-mail: farzanehdavari@cfu.ac.ir
3. Babylon University College of Physical Education and Sports Sciences, Babol, Iraq. E-mail: phy.mazin.h@uobabylon.edu.iq
4. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. E-mail: zmeshkati@gmail.com

Article Info

Article type: Research

Article history:
Received:
15 August 2024
Received in revised form:
25 November 2024
Accepted:
28 December 2024
Published online:
22 June 2025

Keywords:
Displacement of the center of Pressure,
Elderly,
Noninvasive Brain Stimulation.

ABSTRACT

Introduction: Transcranial direct current stimulation (tDCS) has gained attention as a safe, non-invasive neuromodulation technique for enhancing motor and cognitive functions in older adults. Among various brain regions, cerebellar stimulation appears particularly effective in improving postural control and static balance. This study aimed to compare the effects of tDCS applied over the cerebellum and the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) on the static balance of elderly men.

Methods: In this semi-experimental study with a pretest-posttest design, 60 healthy elderly men aged 60 to 80 years from Ahvaz voluntarily participated and were randomly assigned to four groups: cerebellar tDCS, left DLPFC tDCS, sham cerebellar tDCS, and sham DLPFC tDCS (15 participants each). Static balance was evaluated using a force plate device, during which participants completed three 30-second trials of quiet standing in both the pretest and posttest stages. The intervention consisted of 10 sessions over two weeks (five sessions per week), with each tDCS session lasting 20 minutes. Data were analyzed using one-way analysis of covariance (ANCOVA).

Results: The findings indicated that both cerebellar and DLPFC tDCS significantly improved static balance by reducing center of pressure displacement in anterior-posterior and medial-lateral directions ($p<0.05$). However, no statistically significant difference was observed between the effects of cerebellar and DLPFC stimulation ($p>0.05$).

Conclusion: Based on these results, both cerebellar and DLPFC tDCS protocols can be considered effective interventions for enhancing static balance in elderly men. Health professionals and specialists are encouraged to include these approaches in balance rehabilitation programs for older adults.

Cite this article: alkarie, M. K., Davari, F., Kazar, M. H. & Meshkati, Z. (2025). Comparing the Effect of Transcranial Direct Current Stimulation of Cerebellum and Dorsolateral Prefrontal Cortex on Static Balance of Elderly Men. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 17 (2),123- 136.
DOI https://doi.org/10.22059/jsmdl.2024.380894.1794

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

© The Author(s). Publisher: University of Press.

Journal of
Sports and Motor Development and Learning
University of Tehran Press
Online ISSN: 2676-4547

Extended Abstract

Introduction

The aging process naturally brings about changes in the musculoskeletal, vestibular, somatosensory, and visual systems (Liao et al., 2021). As individuals age, their physical and mental abilities decline, which increases the risk of balance disorders and falls. One promising approach to improve brain network function—and thus enhance supraspinal balance control in older adults—is transcranial direct current stimulation (tDCS). The cerebellum is one target for tDCS stimulation. Another important area that influences balance and gait control is the left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) (Zhou et al., 2021). While previous studies have explored the effects of tDCS applied to the cerebellum and the left DLPFC on improving balance and postural control in the elderly, a key challenge remains: identifying which stimulation site is more effective in enhancing balance among older adults. Current evidence suggests that cerebellar tDCS may be more effective for improving balance in older adults compared to stimulation of the primary motor cortex (Bernard & Seidler, 2014). However, no research has yet compared the effects of cerebellar tDCS and DLPFC tDCS on static balance specifically in elderly men. Therefore, the present study aims to investigate and compare the effects of cerebellar and DLPFC tDCS on static balance in elderly men.

Methods

The present study was designed as a quasi-experimental research project with a pre-test-post-test design that included a control group. The statistical population consisted of healthy men aged 60 to 75 years living in nursing homes in Ahvaz city. Based on inquiries from the Ahvaz City Nursing Center, the initial sample size was 1,781 individuals. From this population, 60 healthy elderly participants were invited to join the study and were randomly assigned to one of four groups, each consisting of 15 individuals: cerebellar tDCS, left DLPFC tDCS, sham cerebellar tDCS, and sham DLPFC tDCS. During the pre-test and post-test phases, participants performed three attempts lasting 30 seconds each to stand on a force plate. The intervention phase took place over two weeks, with five consecutive sessions each week, and each session lasted 20 minutes. In the cerebellar cortex stimulation group, participants received transcranial electrical brain stimulation with the anode placed 2 cm below the inion and the cathode at Cz for 20 minutes daily. In the DLPFC stimulation group, participants received stimulation with the anode at F3 and the cathode at F4 for the same duration. Both sham stimulation groups (cerebellar and DLPFC) received a similar setup as their experimental counterparts but without active stimulation for 20 minutes each day. Data analysis was conducted using analysis of covariance and the Bonferroni post hoc test.

Results

The results demonstrated a significant difference between the groups, with an effect size of 0.26 for anterior-posterior displacement and an effect size of 0.18 for central-lateral displacement. Specifically, the cerebellar tDCS group showed significantly better anterior-posterior displacement compared to both the sham cerebellar tDCS group and the sham DLPFC tDCS group, with mean differences of 0.35 and 0.34 units, respectively ($P<0.05$). Furthermore, the DLPFC tDCS group also exhibited significantly better anterior-posterior displacement compared to the sham cerebellar tDCS and sham DLPFC tDCS groups, with mean differences of 0.42 and 0.41 units, respectively ($P<0.05$). However, no significant difference was found between the anterior-posterior displacements of the cerebellar tDCS and DLPFC tDCS groups ($P<0.05$). Regarding central-lateral displacement, the cerebellar tDCS group had significantly better outcomes compared to the sham cerebellar tDCS and sham DLPFC tDCS groups, with mean differences of 0.22 and 0.33 units, respectively ($P<0.05$). Similarly, the DLPFC tDCS group showed significantly better central-lateral displacement compared to the sham cerebellar tDCS and sham DLPFC tDCS groups, with mean differences of 0.20 and 0.23 units, respectively ($P<0.05$).

Conclusion

The results of the current study show that tDCS of the cerebellum improves balance in elderly men. Anodal cerebellar tDCS can enhance the activity of Purkinje cells and support the function of the vermis and associated white matter (Selanik, 2015). Furthermore, cerebellar tDCS may influence connectivity between the cerebellum and other brain regions, thereby improving vestibular-motor functions that are essential for balance. Therefore, anodal tDCS of the cerebellum is recommended for enhancing dynamic balance in older adults. Additionally, the study found that stimulation of the DLPFC improved static balance, as measured by anterior-posterior and medio-lateral center-of-pressure sway, in elderly men. Increased excitability of the DLPFC may enhance visuospatial processing, which can improve balance and functional mobility. Overall, both cerebellar and DLPFC tDCS significantly improved static balance in elderly men, with no significant difference in effectiveness between the two methods. Consequently, geriatric specialists and occupational therapists are encouraged to utilize the benefits of cerebellar and DLPFC tDCS to enhance static balance in elderly men.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: The study received approval from the Ethics Committee of the Faculty of Sports and Health Sciences at Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan).
Funding: The current research did not utilize any financial resources.
Authors' contribution: All authors contributed equally to the writing of the article.
Conflict of interest: There is no conflict of interest.
Acknowledgments: We would like to express our gratitude to all the participants who contributed to this research.

رشد و یادگیری حرکتی ورزشی
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۵۴۷
انتشارات دانشگاه تهران

مقایسهٔ اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مخچه و قشر پری‌فورنتال خلفی جانبی بر تعادل ایستای سالمندان مرد

مثنی کاظم الکریعی[۱]، فرزانه داوری[۲]✉، مازن هادی کزار[۳]، زهره مشکاتی[۴]

۱. گروه رفتارحرکتی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. رایانامه: mnkm1992@gmail.com
۲. نویسندهٔ مسؤول: گروه آموزش تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵ تهران، ایران. رایانامه: farzanehdavari@cfu.ac.ir
۳. دانشکدهٔ تربیت بدنی و ورزش دانشگاه بابل، بابل، عراق. رایانامه: phy.mazin.h@uobabylon.edu.iq
۴. گروه رفتارحرکتی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. رایانامه: zmeshkati@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
تحریک غیرتهاجمی مغز، جابه‌جایی مرکز فشار، سالمند.

چکیده

مقدمه: به‌نظر می‌رسد که تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) مخچه در مقایسه با سایر نواحی مغز، ناحیهٔ مؤثری در بهبود تعادل افراد مسن است؛ بنابراین تحقیق حاضر با هدف مقایسهٔ اثر tDCS مخچه و DLPFC بر تعادل ایستای سالمندان مرد انجام گرفت.

روش پژوهش: در این تحقیق نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون، از بین سالمندان مرد با دامنهٔ سنی ۶۰ تا ۸۰ سال، ۶۰ سالمند سالم به‌صورت داوطلبانه برای شرکت در پژوهش انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی در چهار گروه ۱۵ نفری مداخله tDCS مخچه، tDCS قشر جلوی مغزی جانبی پشتی چپ (DLPFC)، tDCS ساختگی مخچه و tDCS ساختگی DLPFC قرار گرفتند. شرکت‌کنندگان در مرحلهٔ پیش‌آزمون و پس‌آزمون در ۳ کوشش ۳۰ ثانیه ی اقدام به ایستادن روی صفحهٔ نیرو کردند. در مرحلهٔ مداخله، که به مدت دو هفته و هر هفته ۵ جلسهٔ متوالی و هر جلسه ۲۰ دقیقه به طول انجام یافت، تحریک مربوط به هر گروه انجام گرفت. داده‌ها به روش تحلیل کوواریانس تک متغیری تحلیل شد.

یافته‌ها: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تحریک tDCS مخچه و DLPFC بر تعادل ایستای (جابه‌جایی قدامی-خلفی و مرکزی- جانبی مرکز فشار) مردان سالمند تأثیر معناداری دارد (P<۰/۰۵). اما بین tDCS مخچه و DLPFC در تعادل ایستای سالمندان مرد تفاوت معناداری وجود ندارد (P>۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج پژوهش حاضر به مربیان و متخصصان سالمندی پیشنهاد می‌شود که از مزیت‌های tDCS مخچه و DLPFC در بهبود تعادل ایستای سالمندان مرد بهره گیرند.

استناد: الکریعی، مثنی کاظم؛ داوری، فرزانه؛ کزار، مازن هادی و مشکاتی، زهره (۱۴۰۴). مقایسهٔ اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مخچه و قشر پری‌فورنتال خلفی جانبی بر تعادل ایستای سالمندان مرد. *نشریهٔ رشد و یادگیری حرکتی ورزشی*، (۲) ۱۷، ۱۲۳-۱۳۶.

DOI https://doi.org/10.22059/jsmdl.2024.380894.1794

این نشریهٔ علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کریتیو کامنز CC BY-NC 4.0 به نویسندگان واگذار کرده است. تارنما: https://jsmdl.ut.ac.ir | رایانامه: jsmdl@ut.ac.ir

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

مقدمه

روند پیری به‌طور طبیعی با تغییراتی در سیستم‌های اسکلتی عضلانی، دهلیزی، حسی پیکری و بینایی همراه است (لیائو[1] و همکاران، ۲۰۲۱). افزایش سن همچنین توانایی‌های جسمی و ذهنی را کاهش و در نتیجه خطر اختلال تعادل و سقوط را افزایش می‌دهد (ال‌کوک[2] و همکاران، ۲۰۲۳). مشکلات تعادل به کاهش کیفیت زندگی و اختلال در عملکرد روزانه افراد مسن منجر می‌شود (بهارلویی[3] و همکاران، ۲۰۲۳). توانایی تعادل مناسب نیاز به همکاری پیچیده و ادغام اطلاعات حسی در مورد محیط اطراف و همچنین عملکرد مناسب مغز برای ارائهٔ عملکرد حرکتی مطلوب برای کنترل بدن دارد. کاهش تعادل و پیامدهای آن می‌تواند بار اجتماعی و اقتصادی زیادی را بر جامعه تحمیل کند. حدود یک‌سوم جمعیت بالای ۶۵ سال حداقل سابقهٔ سقوط یا اختلال در تعادل را در سال تجربه کرده‌اند (پاکوئت[4] و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش سن و بیماری‌های مرتبط با افزایش سن با تغییرات تشریحی و بیوفیزیولوژیکی مرتبط‌اند که با افزایش سن در تعامل هستند و عملکرد شبکهٔ مغز و کنترل تعادل را تغییر می‌دهند (ارتولاتهی[5] و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین، راهبردهایی که این عناصر فوق‌نخاعی کنترل تعادل را هدف قرار می‌دهند، نویدبخش بهبود تعادل، ایمنی و استقلال در جمعیت‌های مسن‌تر آسیب‌پذیرند (گئو[6] و همکاران، ۲۰۲۰).

یکی از راهبردهای امیدوارکننده برای تعدیل عملکرد شبکهٔ مغز و در انجام این کار، کنترل تعادل فوق‌نخاعی در افراد مسن، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) است (بهارلویی و همکاران، ۲۰۲۳). tDCS به‌طور ایمن و انتخابی تحریک‌پذیری شبکه‌های مغزی (به‌ویژه احتمال شلیک عصبی) را با ارسال جریان‌های الکتریکی سطح پایین بین الکترودهایی که روی پوست سر قرار می‌گیرند، تعدیل می کند (نیچه و پائولوس[7]، ۲۰۰۰). این فرایند یک میدان الکتریکی تولید کرده وناحیهٔ موردنظر را قطبی می‌کند و پتانسیل‌های غشای در حال استراحت را تعدیل می‌کند (گئو و همکاران، ۲۰۲۰). میدان الکتریکی تولیدشده توسط tDCS و تأثیر آن بر تحریک‌پذیری قشر مغز به عوامل متعددی از جمله مکان تحریک بستگی دارد (احسانی[8] و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به اینکه مخچه نقش تعیین‌کننده‌ای در حفظ وضعیت و تعادل دارد (پرنتیس و درو[9]، ۲۰۰۱) و همچنین با در نظر گرفتن تأثیرات چشمگیر افزایش سن بر اندازه، مورفولوژی و عملکرد مخچه در افراد مسن (کاوالاری[10] و همکاران، ۲۰۱۳)، مخچه یکی از مکان‌های تحریک tDCS است (احسانی و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج تحقیقات مختلف حاکی از اثر مثبت tDCS مخچه بر تعادل سالمندان است (احسانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ زندویلت[11] و همکاران، ۲۰۱۸؛ پارسایی[12] و همکاران، ۲۰۲۳؛ بنی‌اسدی[13] و همکاران، ۲۰۲۲). برای مثال پارسایی و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که تحریک tDCS مخچه بر تعادل ایستا و پویا سالمندان غیرفعال تأثیر معناداری دارد. اما در این خصوص تحقیقات متناقضی نیز وجود دارد (رائوشر[14] و همکاران، ۲۰۲۰؛ استینر[15] و همکاران، ۲۰۱۶). در این خصوص، رائوشر و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند tDCS مخچه بر یادگیری یک تکلیف پیچیدهٔ تعادل پویا کل بدن در بزرگسالان میانسال (۵۰ تا ۶۵ سال) تأثیر معناداری ندارد.

ناحیهٔ دیگری که در تعادل و کنترل راه رفتن تأثیر دارد قشر جلوی مغز جانبی پشتی چپ (DLPFC) است (ژو[16] و همکاران، ۲۰۲۱). مزایای عملکردی tDCS بر تعادل با هدف قرار دادن DLPFC چپ در بزرگسالان جوان سالم (ژو و همکاران، ۲۰۱۴)، افراد مسن نسبتاً سالم (مانور[17] و همکاران، ۲۰۱۶؛ ژو و همکاران، ۲۰۲۱)، افراد مسن با اختلالات خفیف در راه رفتن و عملکرد اجرایی (مانور و همکاران، ۲۰۱۸)، و در افراد مبتلا به بیماری‌های عصبی از جمله بیماری پارکینسون و سکتهٔ مغزی (بهارلوئی و همکاران، ۲۰۲۰؛ دونگ[18] و همکاران،

---

1. Liao
2. Alcock
3. Baharlouei
4. Paquette
5. Aartolahti
6. Guo
7. Nitsche & Paulus
8. Ehsani
9. Prentice & Drew
10. Cavallari
11. Zandvliet
12. Parsaee
13. BaniAsadi
14. Rauscher
15. Steiner
16. Zhou
17. Manor
18. Dong

۲۰۲۱) گزارش شده است. در این مورد، مانور و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که در افراد مسن سالم، tDCS طراحی‌شده برای هدف قرار دادن قشر جلوی مغز جانبی پشتی چپ (DLPFC) عملکرد ایستادن و راه رفتن را بهبود بخشید (برای مثال کاهش سرعت نوسان وضعیتی ایستاده و افزایش سرعت راه رفتن) به‌ویژه زمانی‌که شرکت‌کنندگان ایستاده بودند و یک تکلیف شناختی همزمان (تکلیف دوگانه) را انجام می‌دادند.

اگرچه پژوهش‌هایی در زمینهٔ tDCS مخچه و tDCS قشر جلوی مغز جانبی پشتی چپ (DLPFC) بر بهبود تعادل و کنترل وضعیتی سالمندان انجام شده است، اما چالش اصلی این است که تحریک کدام ناحیه سبب تعادل بهتر سالمندان می‌شود. اگرچه به‌نظر می‌رسد که tDCS مخچه در مقایسه با قشر حرکتی اولیه ناحیهٔ مؤثری در بهبود تعادل افراد مسن است (برنارد و سیدلر[1]، ۲۰۱۴)؛ اما تاکنون اثر تحریک tDCS مخچه و DLPFC بر تعادل ایستای سالمندان مرد مقایسه نشده است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف مقایسهٔ اثر tDCS مخچه و DLPFC بر تعادل ایستای سالمندان مرد انجام گرفت.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ روش نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون–پس‌آزمون با گروه کنترل بود.

شرکت‌کنندگان

جامعهٔ آماری پژوهش حاضر مردان سالم ساکن سراهای سالمندان شهر اهواز با دامنه سنی ۶۰ تا ۷۵ سال بودند (تعداد نمونه بر اساس استعلام از مرکز سالمندی شهر اهواز، ۱۷۸۱ نفر هستند) که از این بین ۶۰ سالمند سالم به‌صورت فراخوانی برای شرکت در پژوهش انتخاب و به‌صورت تصادفی (قرعه‌کشی) در چهار گروه ۱۵ نفری مداخله tDCS مخچه، tDCS قشر جلوی مغزی جانبی پشتی چپ (DLPFC)، tDCS ساختگی مخچه و tDCS ساختگی DLPFC قرار گرفتند. ملاک‌های ورود به پژوهش عبارت بود از: ۱. توانایی راه رفتن ۱۰ متر به‌طور مستقل، ۲. ایستادن مستقل به مدت ۱۰ ثانیه، ۳. دارای دید طبیعی، ۴. توانایی دنبال کردن دستورهای ساده و ۵. عدم مبتلا بودن به دمانس حافظه (کسب نمرهٔ حداقل ۲۲ از ۳۰ از آزمون کوتاه وضعیت ذهنی). ملاک‌های خروج از پژوهش عبارت‌اند از: ۱. غیبت در روز انجام آزمون (پیش‌آزمون و پس‌آزمون)، ۲. آسیب‌دیدگی در مراحل مختلف تحقیق، ۳. نداشتن انگیزه برای ادامهٔ همکاری، ۴. عدم مشارکت منظم در جلسات تمرینی (دو جلسه غیبت متوالی یا سه جلسه غیبت غیرمتوالی) و ۵. پدیدار شدن هرگونه نقص یا بیماری که بر تعادل تأثیرگذار باشد

ابزار

در پژوهش حاضر از برگهٔ رضایت آگاهانه‌ای که توسط محققان طراحی شده بود برای کسب رضایت شرکت‌کنندگان برای شرکت در تحقیق استفاده شد.

آزمون کوتاه وضعیت ذهنی[2]: این آزمون توسط مارشال فولیستین (۱۹۷۵) به‌منظور غربالگری زوال عقلی در سالمندان طراحی شد. پرسشنامهٔ کوتاه وضعیت ذهنی دارای ۲۰ سؤال و کل امتیاز حاصل از آن ۳۰ امتیاز است که بر اساس کتاب‌های مرجع نمرهٔ کمتر از ۲۲ به احتمال وجود اختلال شناختی اشاره دارد. این پرسشنامه دارای پنج خرده‌مقیاس ۱. جهت‌یابی، ۲. ثبت، ۳. توجه و محاسبه، ۴. حافظهٔ اخیر

[1]. Bernard & Seidler

[2]. Mini Mental State Examination

و ۵. عملکردهای مختلف زبانی است. فولیستین و همکاران (۱۹۷۵) پایایی این پرسشنامه را ۰/۸۷ با استفاده از روش آلفای کرونباخ گزارش کرده و روایی این پرسشنامه را با استفاده از روایی افتراقی و تفاوت بین گروه‌های با دمانس و سالم تأیید کردند. در ایران روان‌سنجی این پرسشنامه توسط سیدیان و همکاران (۱۳۹۷) انجام گرفت و روایی این آزمون با استفاده از روایی افتراقی و پایایی با استفاده از آلفای کرونباخ ۰/۸۱ گزارش شد. همسانی درونی پرسشنامه با روش آلفای کرونباخ در پژوهش حاضر ۰/۷۵ به‌دست آمد.

دستگاه صفحهٔ نیرو (فورس پلت فورم)[1]: از دستگاه صفحهٔ نیرو شرکت کیسلر کشور سوئیس با اندازهٔ ۴۰ در ۶۰ سانتی‌متر برای اندازه‌گیری تعادل ایستای شرکت‌کنندگان استفاده شد. برای محاسبهٔ شاخص‌های تعادل ایستا (جابه‌جایی قدامی–خلفی مرکز فشار و جابه‌جایی مرکزی–جانبی مرکز فشار) از نرم‌افزار Matlab استفاده شد.

از دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) جهت تحریک الکتریکی مغز استفاده شد. دستگاه tDCS (ActivaDose II) ساخت شرکت ActivaTeKTM تایوان از طریق اتصال الکترودهایی با قطبیت متفاوت (آند و کاتد) روی پوست سر نصب می‌شوند و جریان ثابت الکتریکی را از روی جمجمه به مغز منتقل می‌کنند. در این پژوهش الکترودها با اسفنج‌های سطحی آغشته به نمک برای تحویل ۱/۵ میلی‌آمپر tDCS به مدت ۲۰ دقیقه روی مخچه و DLPFC استفاده شد (احسانی و همکاران، ۲۰۱۷).

روند اجرای پژوهش

در پژوهش حاضر در ابتدا شرکت‌کنندگان اقدام به تکمیل برگهٔ رضایت آگاهانه برای شرکت در تحقیق نمودند. سپس شرکت‌کنندگان با اجرای تکلیف موردنظر آشنا شدند. پس از مرحلهٔ آشناسازی، مرحلهٔ پیش‌آزمون شروع شد که طی آن شرکت‌کنندگان طی سه کوشش (هر کوشش ۳۰ ثانیه) با دو دقیقه استراحت بین هر کوشش به ایستادن روی صفحهٔ نیروسنج با پای برهنه کردند. هنگام ایستادن از شرکت‌کنندگان خواسته شد که دست‌ها در کنار بدن آویزان و به نقطهٔ آبی‌رنگی که در فاصلهٔ ۳ متری روبه‌روی آزمودنی‌ها روی دیوار نصب شده بود، نگاه کنند. تمامی اندازه‌گیری‌ها توسط امپراتور دستگاه انجام شد. مرحله مداخله در دو هفته و هر هفته ۵ جلسهٔ متوالی و به‌طور کلی در ۱۰ جلسه انجام گرفت. در گروه تحریک الکتریکی مستقیم قشر مخچه شرکت‌کنندگان در هر روز به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی مغز فراجمجمه‌ای قشر مخچه (آند دو سانتی‌متر پایین‌تر از inion و کاتد Cz) را دریافت می‌کنند (بدین‌صورت که در تحریک الکتریکی آندی جریان مستقیم ۱/۵ میلی‌آمپر در تمام طول مدت تحریک به فرد وارد می‌شود). در گروه تحریک الکتریکی مستقیم DLPFC شرکت‌کنندگان در هر روز به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی مغز فراجمجمه‌ای DLPFC (آند F3 و کاتد F4) را دریافت می‌کنند (بدین صورت که در تحریک الکتریکی آندی جریان مستقیم ۱/۵ میلی‌آمپر در تمام طول مدت تحریک به فرد وارد می‌شود). در گروه تحریک الکتریکی ساختگی مخچه (آند دو سانتی‌متر پایین‌تر از inion و کاتد Cz) شرکت‌کنندگان در هر روز به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی ساختگی را دریافت می‌کنند (تحریک الکتریکی شم بعد از اتصال الکترودها جریان الکتریکی ۱/۵ میلی‌آمپر به فرد وارد می‌شود، اما پس از گذشت ۳۰ ثانیه بدون اینکه به فرد اطلاعی داده شود، جریان الکتریکی قطع می‌شود). در گروه تحریک الکتریکی ساختگی DLPFC (آند F3 و کاتد F4) شرکت‌کنندگان در هر روز به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی ساختگی را دریافت می‌کنند (تحریک الکتریکی شم بعد از اتصال الکترودها جریان الکتریکی ۱/۵ میلی‌آمپر به فرد وارد می‌شود، اما پس از گذشت ۳۰ ثانیه بدون اینکه به فرد اطلاعی داده شود،

[1]. force platform

جریان الکتریکی قطع می‌شود). ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، مرحله پس‌آزمون اجرا شد که در این مرحله شرکت‌کنندگان همانند پیش‌آزمون به اجرای سه کوشش ایستادن روی صفحهٔ نیروسنج پرداختند.

روش آماری

در این پژوهش از آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف استاندارد برای توصیف ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان و توصیف متغیرهای تحقیق در مراحل مختلف اندازه‌گیری استفاده شد. همچنین از تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی بنفرونی برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. تحلیل‌ها در سطح معناداری ۰/۰۵ و با استفاده از نرم‌افزار اس. پی. اس. اس. نسخهٔ ۲۶ انجام شد.

یافته‌های پژوهش

در جدول ۱ میانگین و انحراف معیار مربوط به متغیرهای آنتروپومتریکی شرکت‌کنندگان در گروه‌های مختلف ارائه شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود تفاوت معناداری بین گروه‌ها در سن (P=۰/۶۲)، قد (P=۰/۶۲) و وزن (P=۰/۵۱) وجود ندارد.

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار متغیرهای آنتروپومتریکی در گروه‌های مختلف

متغیر	tDCS واقعی مخچه	tDCS ساختگی مخچه	tDCS واقعی DLPFC	tDCS ساختگی DLPFC	تحلیل واریانس
سن (سال)	۶۹/۲۶±۴/۸۹	۶۸/۱۳±۴/۵۰	۶۷/۲۰±۳/۶۶	۶۷/۶۶±۴/۷۳	(F=۰/۵۸ ،P=۰/۶۲)
قد (سانتی‌متر)	۱۶۷/۲۰±۴/۲۷	۱۶۸/۵۳±۴/۵۹	۱۶۷/۶۶±۵/۷۵	۱۶۹/۴۰±۴/۸۳	(F=۰/۵۹ ،P=۰/۶۲)
وزن (کیلوگرم)	۷۰/۲۶±۵/۱۴	۷۲/۰۰±۴/۷۸	۶۸/۹۳±۷/۱۷	۷۱/۸۰±۷/۶۴	(F=۰/۷۷ ،P=۰/۵۱)

در جدول ۲ یافته‌های توصیفی مربوط به متغیرهای پژوهشی مراحل مختلف اندازه‌گیری در گروه‌های مختلف و همچنین پیش‌فرض‌های آزمون کوواریانس نیز ارائه شده است.

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار متغیرهای تحقیق و پیش‌فرض‌های تحلیل کوواریانس

متغیر	گروه	مرحله	شاخص			
			انحراف± میانگین	آزمون شاپیرو	آزمون لون	شیب خط رگرسیون
جابه‌جایی قدامی-خلفی مرکز فشار	tDCS واقعی مخچه	پیش‌آزمون	۳/۰±۰۴/۳۲	۰/۳۴۰	۰/۸۵۸	۰/۲۱۹
		پس‌آزمون	۲/۰±۷۰/۳۱	۰/۱۰۷		
	tDCS واقعی DLPFC	پیش‌آزمون	۳/۰±۱۰/۳۷	۰/۱۳۰		
		پس‌آزمون	۲/۰±۶۲/۳۲	۰/۱۰۵		
	tDCS ساختگی مخچه	پیش‌آزمون	۲/۰±۹۳/۳۲	۰/۲۹۷		
		پس‌آزمون	۳/۰±۰۷/۳۱	۰/۲۴۶		
	tDCS ساختگی DLPFC	پیش‌آزمون	۲/۰±۹۴/۳۵	۰/۰۵۱		
		پس‌آزمون	۳/۰±۰۶/۳۶	۰/۰۵۸		
جابه‌جایی مرکزی-جانبی مرکز فشار	tDCS واقعی مخچه	پیش‌آزمون	۲/۰±۰۵/۲۸	۰/۴۵۲	۰/۹۵۳	۰/۰۹۱
		پس‌آزمون	۱/۰±۶۳/۲۷	۰/۲۱۷		
	tDCS واقعی DLPFC	پیش‌آزمون	۲/۰±۱۴/۲۷	۰/۳۳۵		
		پس‌آزمون	۱/۰±۷۱/۲۹	۰/۲۶۹		

tDCS ساختگی مخچه	پیش‌آزمون	۱/۰±۹۱/۳۳	۰/۰۹۶
	پس‌آزمون	۱/۰±۸۸/۲۶	۰/۳۴۴
tDCS ساختگی DLPFC	پیش‌آزمون	۱/۰±۸۸/۳۲	۰/۲۱۵
	پس‌آزمون	۲/۰±۰۰/۲۶	۰/۱۸۱

نتایج جدول ۲ حاکی از این است که پیش‌فرض‌های تحلیل کوواریانس برقرار است. در ادامه در جدول ۳ نتایج آزمون کوواریانس برای تحلیل داده‌ها ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس تک‌متغیری

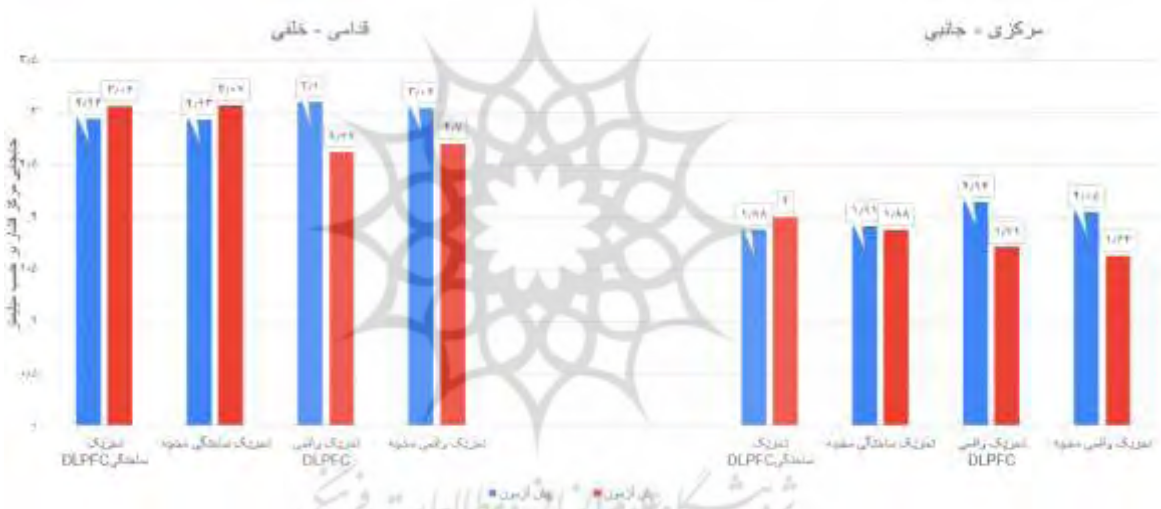
متغیر	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	مقدار F	سطح معناداری	مجذور اتا
جابه‌جایی قدامی-خلفی مرکز فشار	پیش آزمون	۰/۲۰	۱	۰/۲۰	۱/۹۱	۰/۱۷۲	۰/۰۳۴
	گروه	۲/۱۴	۳	۰/۷۱	۶/۵۵	۰/۰۰۱*	۰/۲۶۳
	خطا	۶/۰۰	۵۵	۰/۱۰			
جابه‌جایی مرکزی-جانبی مرکز فشار	پیش آزمون	۰/۲۹	۱	۰/۲۹	۴/۰۸	۰/۰۴۸	۰/۰۶۹
	گروه	۰/۸۷	۳	۰/۲۹	۴/۰۴	۰/۰۱۱*	۰/۱۸۱
	خطا	۳/۹۸	۵۵	۰/۰۷			

نتایج جدول ۳ نشان داد بین گروه‌ها با اندازهٔ اثر ۰/۲۶ در جابه‌جایی قدامی- خلفی مرکز فشار و با اندازهٔ اثر ۰/۱۸ در جابه‌جایی مرکزی-جانبی مرکز فشار تفاوت معناداری وجود دارد. برای مقایسهٔ دو به دو گروه‌ها از آزمون تعقیبی بنفرونی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. یافته‌های مربوط به آزمون تعقیبی بنفرونی برای مقایسهٔ گروه‌ها

متغیر	گروه	گروه	اختلاف میانگین	خطای استاندارد	سطح معناداری
جابه‌جایی قدامی خلفی مرکز فشار	**واقعی مخچه**	واقعی DLPFC	۰/۰۶	۰/۱۲	۱/۰۰۰
		ساختگی مخچه	-۰/۳۵	۰/۱۲	۰/۰۳۰*
		ساختگی DLPFC	-۰/۳۴	۰/۱۲	۰/۰۴۰*
	واقعی DLPFC	ساختگی مخچه	-۰/۴۲	۰/۱۲	۰/۰۰۶*
		ساختگی DLPFC	-۰/۴۱	۰/۱۲	۰/۰۰۸*
	ساختگی مخچه	ساختگی DLPFC	۰/۰۱	۰/۱۲	۱/۰۰۰
جابه‌جایی مرکزی جانبی مرکز فشار	**واقعی مخچه**	واقعی DLPFC	-۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۵۴۱
		ساختگی مخچه	-۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۰۴۱*
		ساختگی DLPFC	-۰/۳۳	۰/۱۰	۰/۰۰۹*
	واقعی DLPFC	ساختگی مخچه	-۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۴۵*
		ساختگی DLPFC	-۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۰۳۹*
	ساختگی مخچه	ساختگی DLPFC	-۰/۱۱	۰/۰۹	۱/۰۰۰

نتایج جدول ۴ حاکی از این است که گروه tDCS مخچه در مقایسه با گروه‌های tDCS ساختگی مخچه و tDCS ساختگی DLPFC به‌ترتیب با اختلاف میانگین ۰/۳۵ و ۰/۳۴ واحد به‌طور معناداری جابه‌جایی قدامی خلفی مرکز فشار بهتری داشتند (P<۰/۰۵). دیگر نتایج حاکی از این بود که گروه DLPFC tDCS در مقایسه با گروه‌های tDCS ساختگی مخچه و tDCS ساختگی DLPFC به‌ترتیب با اختلاف میانگین ۰/۴۲ و ۰/۴۱ واحد به‌طور معناداری جابه‌جایی قدامی خلفی مرکز فشار بهتری داشتند (P<۰/۰۵). اما بین جابه‌جایی قدامی خلفی مرکز فشار tDCS مخچه و DLPFC تفاوت معناداری یافت نشد (P>۰/۰۵). در متغیر جابه‌جایی مرکزی–جانبی مرکز فشار نتایج نشان داد که گروه tDCS مخچه در مقایسه با گروه‌های tDCS ساختگی مخچه و tDCS ساختگی DLPFC به‌ترتیب با اختلاف میانگین ۰/۲۲ و ۰/۳۳ واحد به‌طور معناداری جابه‌جایی مرکزی–جانبی مرکز فشار بهتری داشتند (P<۰/۰۵). دیگر نتایج حاکی از این بود که گروه DLPFC tDCS در مقایسه با گروه‌های tDCS ساختگی مخچه و tDCS ساختگی DLPFC به‌ترتیب با اختلاف میانگین ۰/۲۰ و ۰/۲۳ واحد به‌طور معناداری جابه‌جایی مرکزی–جانبی مرکز فشار بهتری داشتند (P<۰/۰۵). اما بین جابه‌جایی مرکزی–جانبی مرکز فشار tDCS مخچه و DLPFC تفاوت معناداری یافت نشد (P>۰/۰۵). در نمودار ۱ تغییرات جابه‌جایی قدامی–خلفی و جابه‌جایی مرکزی–جانبی مرکز فشار ارائه شده است.



نمودار ۱. تغییرات مرکز فشار در گروه‌ها در مراحل مختلف اندازه‌گیری

بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه به‌نظر می‌رسد که تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) مخچه در مقایسه با سایر نواحی مغز، ناحیه مؤثری در بهبود تعادل افراد مسن است؛ اما تاکنون اثر tDCS مخچه و قشر پری‌فورنتال خلفی جانبی (DLPFC) بر تعادل ایستای سالمندان مرد مقایسه نشده است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف مقایسهٔ اثر tDCS مخچه و DLPFC بر تعادل ایستای سالمندان مرد انجام گرفت. نتایج نشان داد که tDCS مخچه سبب بهبود تعادل سالمندان مرد شد. نتایج حاکی از این بود که با تحریک tDCS مخچه جابه‌جایی مرکز فشار قدامی–خلفی و مرکزی–جانبی سالمندان مرد بهبود یافت. این یافته با یافته مطالعات احسانی و همکاران (۲۰۱۷)، زندویلت و همکاران (۲۰۱۸)، پارسایی و همکاران (۲۰۲۳) و بنی‌اسدی و همکاران (۲۰۲۲) همخوان است. در این مورد، پارسایی و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که تحریک tDCS مخچه بر تعادل ایستا و پویا سالمندان غیرفعال تأثیر معناداری دارد. اما در این مورد تحقیقات متناقضی نیز وجود دارد

(رائوشر و همکاران، ۲۰۲۰؛ استینر و همکاران، ۲۰۱۶). در این مورد، رائوشر و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند tDCS مخچه بر یادگیری یک تکلیف پیچیدهٔ تعادل پویا کل بدن در بزرگسالان میانسال (۵۰ تا ۶۵ سال) تأثیر معناداری ندارد. چندین دلیل برای ناسازگاری تأثیرات tDCS مخچه باید در نظر گرفته شود. پارامترهای تحریک مانند شدت جریان، محل قرارگیری الکترود و اندازهٔ الکترود ممکن است با توجه به هدف تحریک و/یا تکلیف کمتر از حد مطلوب بوده باشند. در تحقیق حاضر تحریک در ده جلسه انجام گرفت، درحالی‌که در تحقیق رائوشر و همکاران (۲۰۲۰) تحریک در یک جلسه انجام گرفت. همچنین ممکن است استدلال شود که مونتاژ tDCS به اندازهٔ کافی نواحی مخچه درگیر در کار را تحریک نکرده است. بنابراین این احتمال وجود دارد که تأثیرات tDCS ممکن است پس از تحریک مکرر، با استفاده از سایر شاخص‌های محرک، در جمعیت بیماران یا در سایر وظایف یادگیری حرکتی برجسته‌تر باشد. مخچه نقش مهمی در هماهنگی وضعیتی دارد، زیرا اطلاعات حسی–حرکتی از جمله حس عمقی، بینایی و دهلیزی در این ناحیه یکپارچه شده و دوباره وزن داده می‌شود (مانتو[1] و همکاران، ۲۰۱۲). علاوه بر این، اتصال عملکردی بین مخچه و قشر حرکتی نقش مهمی در وظایف شناختی و حرکتی دارد (لیم و شین[2]، ۲۰۱۱). ورمیس[3] همچنین با تنظیم فعالیت عضلات محوری به کنترل ثبات وضعیتی کمک می‌کند. شایان ذکر است که فرایند پیری ساختار مخچه را تغییر می‌دهد، از جمله کاهش یکپارچگی ساختاری مادهٔ سفید و حجم ورمیس، که ممکن است به مشکلات تعادل و راه رفتن منجر شود (تروینی[4] و همکاران، ۲۰۱۱). tDCS آنودال ممکن است اتصال بین قشر حرکتی و مخچه را تسهیل کند، که می تواند به بهبود پردازش اطلاعات و کنترل وضعیتی منجر شود. tDCS آنودال مخچه می‌تواند فعالیت سلول‌های پورکنژ را افزایش دهد و عملکرد ورمیس و ماده سفید مرتبط را تسهیل کند (سلنیک[5]، ۲۰۱۵). علاوه بر این، tDCS مخچه ممکن است بر اتصال مخچه با بقیهٔ مغز تأثیر بگذارد و عملکردهای حرکتی دهلیزی و مرتبط با تعادل را بهبود بخشد (پریوری[6] و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین، a- tDCS مخچه می‌تواند برای افزایش تعادل پویا در افراد مسن پیشنهاد شود.

دیگر نتایج تحقیق حاضر حاکی از بهبود تعادل ایستا (جابه‌جایی قدامی– خلفی و جابه‌جایی مرکزی– جانبی مرکز فشار) مردان سالمند در اثر تحریک DLPFC بود. همراستا با این یافته، مانور و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که در افراد مسن سالم، tDCS طراحی‌شده برای هدف قرار دادن قشر جلوی مغز جانبی پشتی چپ (DLPFC) عملکرد ایستادن و راه رفتن را بهبود بخشید (برای مثال کاهش سرعت نوسان وضعیتی ایستاده و افزایش سرعت راه رفتن) به‌ویژه زمانی‌که شرکت‌کنندگان ایستاده بودند و یک تکلیف شناختی همزمان (تکلیف دوگانه) را انجام می‌دادند. همچنین ژو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که تأثیراتتحریک‌پذیری قشر جلوی مغزی جانبی پشتی چپ (L-DLPFC) هزینه‌های انجام تکالیف دوگانه برای ایستادن و راه رفتن سالمندان را کاهش داد. کارآزمایی‌ها با استفاده از تصویربرداری عصبی نشان می‌دهند که قشر جلوی پیشانی جانبی پشتی چپ (DLPFC)، که در کارکرد اجرایی مداخله می‌کند، یکی از مناطق کلیدی مغز است که در انجام وظایف ترکیبی شناختی و حرکتی تحت شرایط دوگانه نقش دارد (مائو[7] و همکاران، ۲۰۱۴). به همین دلیل، مداخلات tDCS طراحی‌شده برای تسهیل فعال‌سازی عملکردی DLPFC و شبکه‌های عصبی آن می‌تواند عملکرد شناختی و عملکرد حرکتی را در سالمندان بهبود بخشد. دو مسیر ممکن وجود دارد که می‌تواند این فرضیه را پشتیبانی کند؛ اول، گزارش‌هایی مبنی بر حمایت از نقش قشر جلوی مغز در جهت‌گیری فضایی وجود دارد (مائو و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین بر اساس نتایج برخی پژوهش‌ها قشر جلوی مغز هنگام کنترل حرکت در شرایط راه رفتن چالش‌برانگیز فعال می‌شود (هاماچر[8] و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین، افزایش تحریک‌پذیری در قشر جلوی پیشانی پشتی جانبی ممکن است پردازش بینایی–فضایی را افزایش داده و به بهبود تعادل و تحرک عملکردی اجازه دهد. دوم، نواحی پیش‌حرکتی جانبی

1. Manto
2. Lim & Shin
3. Vermis
4. Truini
5. Celnik
6. Priori
7. Mao
8. Hamacher

ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم توسط tDCS مورد هدف قرار گرفته باشند: به‌طور مستقیم، زیرا قرار دادن آند در محل F3 ممکن است این مناطق را نیز هدف قرار دهد که از نظر آناتومیک دقیقاً در کنار قشر جلوی پیشانی جانبی پشتی قرار دارند و به‌طور غیرمستقیم زیر قشر پیش‌حرکتی پشتی جانبی به‌هم متصل‌اند (پیکارد و استریک[1]، ۲۰۰۱). این مسئله بسیار مهم است، زیرا نواحی پیش‌حرکتی جانبی نواحی اصلی مغز هستند که نقص فعالیت قشر حرکتی را جبران می‌کنند (فرگنی[2] و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین بر اساس برخی شواهد قشر پیش‌حرکتی جانبی پشتی نقش روشنی در توجه دیداری–فضایی و پیش‌بینی حرکت ایفا می‌کند (لام[3] و همکاران، ۲۰۰۷)؛ توانایی‌هایی که برای تعادل کارامد و تحرک عملکردی حیاتی‌اند.

دیگر نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بین تحریک tDCS مخچه و DLPFC در تعادل سالمندان مرد تفاوت معناداری وجود ندارد. تاکنون پژوهشی به بررسی تفاوت این دو ناحیه در تعادل سالمندان نپرداخته است. اگرچه در تحقیق حاضر نتایج بر اهمیت یکسان دو ناحیه در تعادل سالمندان تأکید دارند، ولی به‌نظر می‌رسد تفاوت بین این دو ناحیه در نمونه‌های سالمند پیرتر و دارای تجربهٔ افتادن ملموس‌تر باشد. همچنان‌که برنارد و سیدلر (۲۰۱۴) معتقد بودند tDCS مخچه در مقایسه با سایر نواحی، مکان مؤثری در بهبود تعادل افراد مسن است. شاید به‌دلیل اینکه نمونه‌های تحقیق حاضر سالمندان بدون سابقهٔ افتادن بوده‌اند، تحریک این دو ناحیه تفاوتی در تعادل آنها نشان نداده است.

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تحریک tDCS مخچه و DLPFC بر بهبود تعادل ایستای سالمندان مرد تأثیر معناداری دارد. اما بین تحریک tDCS مخچه و DLPFC در تعادل سالمندان مرد تفاوتی یافت نشد. بنابراین با توجه به نتایج به متخصصان سالمندی و کاردرمانان پیشنهاد می‌شود که از مزیت‌هایtDCS مخچه و DLPFC در بهبود تعادل ایستای سالمندان مرد بهره گیرند. با این حال این تحقیق محدودیت‌های نیز داشت؛ اول، قابلیت تعمیم نتایج این پژوهش محدود است، زیرا همهٔ داده‌ها از سالمندان مرد سرای سالمندی اهواز جمع‌آوری شده است. پژوهش‌های آینده باید این یافته‌ها را گسترش دهد و مطالعه را در جمعیت‌های مختلف و سالمندان با جنسیت متفاوت تکرار کند؛ دوم، تعداد کم شرکت‌کنندگان ممکن است قدرت آماری آزمون‌ها را کاهش دهد و خطای نوع دوم افزایش یابد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، یافته‌های پژوهش حاضر با نمونه‌های بیشتری تکرار شود. همچنین با توجه به عدم امکان پیگیری نتایج برای بررسی دوام تأثیرات مشاهده‌شده، پیشنهاد می‌شود در آینده، پیگیری مداخلات نیز انجام گیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی شرکت‌کنندگان در پژوهش کمال تشکر و قدردانی را برای همکاری در این کار پژوهشی دارند.

References

Aartolahti, E., Tolppanen, A. M., Lönnroos, E., Hartikainen, S., & Häkkinen, A. (2015). Health condition and physical function as predictors of adherence in long-term strength and balance training among community-dwelling older adults. *Archives of gerontology and geriatrics*, *61*(3), 452-457. https://doi.org/10.1016/j.archger.2015.06.016

[1]. Picard & Strick
[2]. Fregni
[3]. Lamm

Alcock, L., Vitório, R., Stuart, S., Rochester, L., & Pantall, A. (2023). Faster walking speeds require greater activity from the primary motor cortex in older adults compared to younger adults. *Sensors*, *23*(15), 6921. https://doi.org/10.3390/s23156921

Baharlouei, H., Saba, M. A., Yazdi, M. J. S., & Jaberzadeh, S. (2020). The effect of transcranial direct current stimulation on balance in healthy young and older adults: A systematic review of the literature. *Neurophysiologie Clinique*, *50*(2), 119-131. https://doi.org/10.1016/j.neucli.2020.01.006

Baharlouei, H., Salehinejad, M. A., Talimkhani, A., & Nitsche, M. A. (2023). The effect of non-invasive brain stimulation on gait in healthy young and older adults: A systematic review of the literature. *Neuroscience*, *516*, 125-140. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2023.01.026

BaniAsadi, T., Sheikh, M., & Salehian, M. H. (2022). The Effect of Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation (ctDCS) on Postural Control Strategies in Elderly Population. *Journal of Humanistic approach to sport and exercise studies*, *2*(2), 212-219. https://doi.org.10.52547/hases.2.2.4

Bernard, J. A., & Seidler, R. D. (2014). Moving forward: age effects on the cerebellum underlie cognitive and motor declines. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *42*, 193-207. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.02.011

Cavallari, M., Moscufo, N., Skudlarski, P., Meier, D., Panzer, V. P., Pearlson, G. D., ... & Guttmann, C. R. (2013). Mobility impairment is associated with reduced microstructural integrity of the inferior and superior cerebellar peduncles in elderly with no clinical signs of cerebellar dysfunction. *NeuroImage: Clinical*, *2*, 332-340. https://doi.org/10.1016/j.nicl.2013.02.003

Celnik, P. (2015). Understanding and modulating motor learning with cerebellar stimulation. *The Cerebellum*, *14*, 171-174. https://doi.org/10.1007/s12311-014-0607-y

Dong, K., Meng, S., Guo, Z., Zhang, R., Xu, P., Yuan, E., & Lian, T. (2021). The effects of transcranial direct current stimulation on balance and gait in stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in neurology*, *12*, 650925. https://doi.org/10.3389/fneur.2021.650925

Ehsani, F., Samaei, A., Zoghi, M., Hedayati, R., & Jaberzadeh, S. (2017). The effects of cerebellar transcranial direct current stimulation on static and dynamic postural stability in older individuals: a randomized double-blind sham-controlled study. *European Journal of Neuroscience*, *46*(12), 2875-2884. https://doi.org/10.1111/ejn.13731

Fregni, F., Boggio, P. S., Bermpohl, F., Maia, F., Rigonatti, S. P., Barbosa, E. R., & Pascual-Leone, A. (2006). Immediate placebo effect in Parkinson's disease–is the subjective relief accompanied by objective improvement?. *European neurology*, *56*(4), 222-229. https://doi.org/10.1159/000096490

Guo, Z., Bao, D., Manor, B., & Zhou, J. (2020). The effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on balance control in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *12*, 275. https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.00275

Hamacher, D., Herold, F., Wiegel, P., Hamacher, D., & Schega, L. (2015). Brain activity during walking: a systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *57*, 310-327. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.08.002

Kinker Mishra, R., & Thrasher, A. T. (2021). Transcranial direct current stimulation of dorsolateral prefrontal cortex improves dual-task gait performance in patients with Parkinson's disease: a double blind, sham-controlled study. *Gait & Posture*, *84*, 11-16. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.11.012

Lamm, C., Windischberger, C., Moser, E., & Bauer, H. (2007). The functional role of dorso-lateral premotor cortex during mental rotation: an event-related fMRI study separating cognitive processing steps using a novel task paradigm. *NeuroImage*, *36*(4), 1374-1386. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.04.012

Liao, Y. Y., Liu, M. N., Wang, H. C., Walsh, V., & Lau, C. I. (2021). Combining transcranial direct current stimulation with tai chi to improve dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *13*, 766649. https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.766649

Lim, C. Y., & Shin, H. I. (2011). Noninvasive DC stimulation on neck changes MEP. *Neuroreport*, *22*(16), 819-823.https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32834b939d

Manor, B., Zhou, J., Harrison, R., Lo, O. Y., Travison, T. G., Hausdorff, J. M., ... & Lipsitz, L. (2018). Transcranial direct current stimulation may improve cognitive-motor function in functionally limited older adults. *Neurorehabilitation and neural repair*, *32*(9), 788-798. https://doi.org/10.1177/1545968318792616

Manor, B., Zhou, J., Jor'dan, A., Zhang, J., Fang, J., & Pascual-Leone, A. (2016). Reduction of dual-task costs by noninvasive modulation of prefrontal activity in healthy elders. *Journal of cognitive neuroscience*, *28*(2), 275-281. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00897

Manto, M., Bower, J. M., Conforto, A. B., Delgado-García, J. M., Da Guarda, S. N. F., Gerwig, M., ... & Timmann, D. (2012). Consensus paper: roles of the cerebellum in motor control—the diversity of ideas on cerebellar involvement in movement. *The Cerebellum*, *11*, 457-487. https://doi.org/10.1007/s12311-011-0331-9

Mao, Y., Chen, P., Li, L., & Huang, D. (2014). Virtual reality training improves balance function. *Neural regeneration research*, *9*(17), 1628-1634. https://doi.org/10.4103/1673-5374.141795

Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of physiology*, *527*(Pt 3), 633. https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x

Paquette, M. R., Li, Y., Hoekstra, J., & Bravo, J. (2015). An 8-week reactive balance training program in older healthy adults: A preliminary investigation. *Journal of Sport and Health Science*, *4*(3), 263-269. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.06.004

Parsaee, S., Shohani, M., & Jalilian, M. (2023). The effect of cerebellar TDCS on static and dynamic balance of inactive elderly men. *Gerontology and Geriatric Medicine*, *9*, 23337214231159760. https://doi.org/10.1177/23337214231159760

Picard, N., & Strick, P. L. (2001). Imaging the premotor areas. *Current opinion in neurobiology*, *11*(6), 663-672. https://doi.org/10.1016/S0959-4388(01)00266-5

Prentice, S. D., & Drew, T. (2001). Contributions of the reticulospinal system to the postural adjustments occurring during voluntary gait modifications. *Journal of neurophysiology*, *85*(2), 679-698. https://doi.org/10.1152/jn.2001.85.2.679

Priori, A., Ciocca, M., Parazzini, M., Vergari, M., & Ferrucci, R. (2014). Transcranial cerebellar direct current stimulation and transcutaneous spinal cord direct current stimulation as innovative tools for neuroscientists. *The Journal of physiology*, *592*(16), 3345-3369. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.270280

Rauscher, M., Yavari, F., Batsikadze, G., Ludolph, N., Ilg, W., Nitsche, M. A., ... & Steiner, K. M. (2020). Lack of cerebellar tDCS effects on learning of a complex whole body dynamic balance task in middle-aged (50–65 years) adults. *Neurological Research and Practice*, *2*, 1-8. https://doi.org/10.1186/s42466-020-00085-x

Steiner, K. M., Enders, A., Thier, W., Batsikadze, G., Ludolph, N., Ilg, W., & Timmann, D. (2016). Cerebellar tDCS does not improve learning in a complex whole body dynamic balance task in young healthy subjects. *PloS one*, *11*(9), e0163598. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163598

Truini, A., Vergari, M., Biasiotta, A., La Cesa, S., Gabriele, M., Di Stefano, G., ... & Priori, A. (2011). Transcutaneous spinal direct current stimulation inhibits nociceptive spinal pathway conduction and increases pain tolerance in humans. *European Journal of Pain*, *15*(10), 1023-1027. https://doi.org/10.1016/j.ejpain.2011.04.009

Zandvliet, S. B., Meskers, C. G., Kwakkel, G., & van Wegen, E. E. (2018). Short-term effects of cerebellar tDCS on standing balance performance in patients with chronic stroke and healthy age-matched elderly. *The Cerebellum*, *17*, 575-589. https://doi.org/10.1007/s12311-018-0939-0

Zhou, J., Hao, Y., Wang, Y., Jor'dan, A., Pascual-Leone, A., Zhang, J., ... & Manor, B. (2014). Transcranial direct current stimulation reduces the cost of performing a cognitive task on gait and postural control. *European Journal of Neuroscience*, *39*(8), 1343-1348. https://doi.org/10.1111/ejn.12492

Zhou, J., Manor, B., Yu, W., Lo, O. Y., Gouskova, N., Salvador, R., ... & Hausdorff, J. M. (2021). Targeted tDCS mitigates dual-task costs to gait and balance in older adults. *Annals of neurology*, *90*(3), 428-439. https://doi.org/10.1002/ana.26156

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی