Mot. Behav, 2025, 17 (60): 105-118

Motor Behavior

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

Research Article

The Effect of Direct Transcranial Electrical Stimulation of the Cerebellum on the Time to Stabilization in the Elderly

Mosna Kazem alkarie[1], Farzaneh Davari[*2], Mazin Hadi Kazr Altaie[3], Zohreh Meshkati[4]

1. Department of motor behavior, faculty of sport sciences, Isfahan (khorasgan) branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
2. Department of Physical Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran
3. Department of Physical Education, College of Physical Education, University of Babylon, Hillah, Iraq
4. Department of motor behavior, faculty of sport sciences, Isfahan (khorasgan) branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Received: 01/07/2024, Accepted: 11/07/2024, Online Published: 02/08/2025

* Corresponding Author: Farzaneh Davari, E-mail: farzanehdavari@cfu.ac.ir

How to Cite: Kazem alkarie, M.; Davari, F.; Kazar, M. H.; Meshkati, Z. The Effect of Direct Transcranial Electrical Stimulation of the Cerebellum on the Time to Stabilization in the Elderly. *Motor Behavior*, 17(60), 105-118. In Persian. Doi: 10.22089/mbj.2025.16853.2164

Extended Abstract

Background and Purpose

Maintaining balance requires the coordinated interaction of multiple systems, including sensory, musculoskeletal, and neuromuscular components (1). Age-related declines in postural control are attributed to deterioration across these systems, manifesting as reduced muscle strength, musculoskeletal deformities, cognitive impairments, and slower motor responses (2). Stair use, increasingly common due to apartment living, constitutes a daily activity notably associated with falls among older adults (3). Injuries resulting from descending stairs occur approximately three times more frequently than during ascent. An essential strategy to mitigate such injuries is the ability to rapidly regain stability after perturbations (4).

Time to stabilization (TTS) quantitatively measures the body's capacity to minimize postural sway transitioning from dynamic to static phases. In recent years, non-invasive brain stimulation (NIBS) techniques have emerged as promising adjunctive therapies for balance rehabilitation in older populations (5). Specifically, cerebellar stimulation has shown efficacy in improving balance, yet challenges remain in translating these effects to real-world activities of daily living.

In response, this study utilized a stair descent task performed on a force plate to realistically assess dynamic balance through TTS measurements. The primary objective was to investigate the effect of cerebellar transcranial direct current stimulation (tDCS) on TTS in elderly individuals, providing ecologically valid insights into potential therapeutic interventions targeting fall risk among this population.

Methods

This semi-experimental applied study employed a pretest-posttest design with a sham-controlled

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

group. Thirty healthy elderly men aged between 60 and 75 years from Ahvaz city voluntarily participated and were randomly assigned via lottery into two groups of 15 each: cerebellar tDCS intervention and sham tDCS.

Inclusion criteria required participants to:

1. Independently walk 10 meters,
2. Stand unassisted for at least 10 seconds,
3. Possess normal vision, and
4. Follow simple verbal instructions.

Exclusion criteria encompassed:

1. Limiting musculoskeletal disorders,
2. Neurological conditions (e.g., stroke, Parkinson's disease, paralysis),
3. Cardiovascular disorders,
4. Uncontrolled hypertension,
5. Dementia (defined as scoring below 22 on the Brief Mental Status Examination), and
6. Conditions or medication use impacting balance and movement.

The study comprised three phases: pretest, intervention, and posttest. At pretest, participants completed three stair descent trials on a force plate, with two-minute rests between trials. The intervention phase spanned two weeks, entailing five consecutive daily sessions each week (totaling ten sessions).

The cerebellar tDCS group underwent 20-minute daily anodal stimulation over the cerebellar cortex (anode placed 2 cm below the inion; cathode at Cz), with a constant current of 1.5 mA. The sham group received placebo stimulation following an identical protocol.

Forty-eight hours after the final intervention session, participants performed three posttest stair descent trials, with TTS recorded via force plate data. Given between-group baseline differences, data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA) with pretest scores as covariates, thereby effectively isolating cerebellar tDCS effects on dynamic balance compared to sham.

Results

Demographic variables did not differ significantly between groups: age ($P = 0.86$), height ($P = 0.97$), and weight ($P = 0.11$). ANCOVA revealed a significant group effect on anteroposterior TTS, with effect size $\eta^2 = 0.44$. The cerebellar tDCS group exhibited significantly faster stabilization than the sham group, with a mean difference of 0.78 seconds ($P < 0.05$).

Similarly, significant differences were observed for mediolateral TTS, with $\eta^2 = 0.49$. The intervention group showed quicker mediolateral stabilization relative to sham by 0.55 seconds on average ($P < 0.05$).

These findings demonstrate that cerebellar tDCS effectively improves both anteroposterior and mediolateral stabilization times compared to sham stimulation in older adults.

Conclusion

This study evaluated the impact of cerebellar tDCS on dynamic balance, specifically time to stabilization, during stair descent among elderly men. The results indicate that ten sessions of cerebellar tDCS significantly enhance postural stabilization in both the anteroposterior and mediolateral directions.

These outcomes align with prior research such as Parsaei et al. (6), which reported improvements in static and dynamic balance following cerebellar tDCS in older males, and Ehsani et al. (5), confirming cerebellar tDCS efficacy in elderly balance enhancement. Conversely, findings diverge from Steiner et al. (7), who observed no balance improvements in young adults after cerebellar tDCS, possibly reflecting age-dependent variations in neuroplastic responses.

Cerebellar tDCS likely facilitates more precise central nervous system modulation over balance fluctuations, thereby reducing fall risk and improving overall postural control in the elderly.

Importantly, our study corroborated previous evidence that sham tDCS does not influence postural or gait performance, affirming that observed improvements derive from anodal cerebellar stimulation rather than placebo effects.

In summary, cerebellar tDCS emerges as a promising non-invasive intervention to accelerate recovery of postural stability during ecologically valid tasks such as stair descent in older adults. These findings advocate for wider adoption and further research into cerebellar tDCS to prevent falls and promote mobility in aging populations.

Keywords: Noninvasive Brain Stimulation, Postural Control, Elderly

Article Message

This research demonstrates that cerebellar tDCS administered over ten sessions significantly improves both anteroposterior and mediolateral time to stabilization during stair descent among elderly men. These balance enhancements were absent in sham controls, underscoring the specific efficacy of cerebellar tDCS. The intervention presents a promising non-invasive therapy to improve dynamic balance and reduce fall risks in older adults performing everyday activities such as stair negotiation.

Ethical Considerations

All research protocols complied with ethical standards, including informed participant consent, confidentiality of data, and adherence to scientific integrity.

Authors' Contributions

This article is extracted from a doctoral dissertation in Physical Education and Sport Sciences focused on motor behavior by Mosna Kazem Alkari, supervised primarily by Dr. Farzaneh Davari (responsible author), with secondary supervision by Dr. Mazin Hadi Kazr Altaie and advisory support from Dr. Zohreh Meshkati.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgment

We sincerely thank all participants for their invaluable cooperation in this research.

رفتار حرکتی، تابستان ۱۴۰۳، دوره ۱۷، شماره ۶۰، صص. ۱۱۸-۱۰۵.

Motor Behavior

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

نوع مقاله: پژوهشی

اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای مخچه بر زمان رسیدن به پایداری سالمندان

مثنی کاظم الکریعی[۱]، فرزانه داوری *[۲]، مازن هادی کظر الطائی[۳]، زهره مشکاتی[۴]

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲. گروه آموزش تربیت‌بدنی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران
۳. گروه تربیت‌بدنی، دانشکده تربیت‌بدنی، دانشگاه بابل، حله، عراق
۴. گروه رفتار حرکتی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰، تاریخ انتشار آنلاین:۱۴۰۴/۰۵/۱۱

*نویسنده مسئول: فرزانه داوری، E-mail: farzanehdavari@cfu.ac.ir

How to Cite: Kazem alkarie, M.; Davari, F.; Kazar, M. H.; Meshkati, Z. The Effect of Direct Transcranial Electrical Stimulation of the Cerebellum on the Time to Stabilization in the Elderly. *Motor Behavior*, 17(60), 105-118. In Persian. Doi: 10.22089/mbj.2025.16853.2164

چکیده

یکی از استراتژی‌های مهم درباره پایین آمدن از پله در سالمندان برای کاهش آسیب‌ها، توانایی رسیدن سریع به پایداری است. مطالعه حاضر با هدف اثر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) مخچه بر زمان رسیدن به پایداری سالمندان انجام گرفت. در این مطالعه نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با گروه کنترل، از بین سالمندان مرد شهر اهواز با دامنه سنی ۶۰ تا ۸۰ سال، ۳۰ سالمند سالم به صورت مشارکت داوطلبانه برای شرکت در پژوهش انتخاب شدند و به صورت تصادفی در دو گروه ۱۵ نفری مداخله tDCS مخچه و tDCS ساختگی (شم) قرار گرفتند. شرکت‌کنندگان در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون در سه کوشش اقدام به انجام تکلیف پایین آمدن از پله روی صفحه نیروسنج کردند. در مرحله تمرینی که به مدت دو هفته و هر هفته پنج جلسه متوالی و هر جلسه ۲۰ دقیقه طول کشید، گروه‌ها تحریک مربوط را دریافت کردند. داده‌ها به روش تحلیل کوواریانس تک‌متغیری تحلیل شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تحریک tDCS مخچه بر بهبود زمان رسیدن به پایداری (قدامی-خلفی و مرکزی-جانبی) مردان سالمند تأثیر معناداری داشت (P<۰/۰۱)، اما تحریک tDCS ساختگی بر زمان رسیدن به پایداری (قدامی-خلفی و مرکزی-جانبی) مردان سالمند تأثیر معناداری نداشت (P>۰/۰۵). با توجه به نتایج پژوهش حاضر، به مربیان و متخصصان سالمندی پیشنهاد می‌شود از سودمندهای تحریک مخچه در بهبود زمان رسیدن به پایداری سالمندان مرد بهره گیرند.

واژگان کلیدی: تحریک غیرتهاجمی مغز، کنترل قامت، سالمند.

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

مقدمه

حفظ تعادل مستلزم تعامل و هماهنگی چندین سیستم مانند سیستم‌های حسی، اسکلتی عضلانی و عصبی‌عضلانی است (۱). تغییرات پیری در کنترل وضعیتی را می‌توان با زوال در این سیستم‌ها توضیح داد. این تغییرات شامل کاهش قدرت عضلانی، بدشکلی‌های بدن، اختلال در عملکرد شناختی و کاهش پاسخ‌های حرکتی است (۲). علاوه بر این، زوال سیستم بینایی و دهلیزی باعث کاهش حس جهت‌گیری و آگاهی بدن می‌شود که زمان واکنش حرکتی را افزایش می‌دهد و بر هماهنگی حرکتی تأثیر می‌گذارد (۳). تمامی مشکلات مذکور تعادل بدن افراد مسن را مختل می‌کند (۲). علاوه بر این، افراد مسن دچار ضعف در راه رفتن می‌شوند؛ مانند تغییر در ریتم راه رفتن، کوتاه شدن طول گام و کاهش سرعت راه رفتن (۴). این عوامل همراه با سطوح پایین فعالیت مرتبط با افزایش سن، منجر به بی‌ثباتی وضعیتی و افزایش خطر افتادن می‌شود. این زمین خوردن‌ها ممکن است در حین فعالیت‌های روزانه رخ دهد (۵) که مشکلی بزرگ است؛ زیرا عواقب آن ممکن است باعث از دست دادن تحرک، کاهش استقلال و کیفیت زندگی یا حتی افزایش مرگ‌ومیر در میان جمعیت مسن شود (۱).

یکی از فعالیت‌های روزانه که به دلیل زندگی‌های آپارتمان‌نشینی فزونی یافته است، استفاده از پله است (۶). وقوع افتادن در افراد مسن به طور مداوم با استفاده از پله مرتبط است (۷). در بریتانیا، تقریباً ۲۹۰۰۰۰ نفر به طور جدی مجروح می‌شوند و بیش از ۵۰۰ نفر هرساله در نتیجه سقوط از پله جان خود را از دست می‌دهند (۶). آسیب‌هایی که با پایین آمدن از پله‌ها همراه است، تقریباً سه برابر بیشتر از آسیب‌های ناشی از بالا رفتن (صعود) از پله است (۸). یکی از استراتژی‌های مهم در این مورد برای کاهش صدمات و آسیب‌ها، توانایی رسیدن سریع به پایداری است (۹). زمان رسیدن به پایداری، توانایی بدن در به حداقل رساندن نوسان قامت هنگام انتقال از وضعیتی پویا به وضعیتی ایستا تعریف می‌شود (۱۰). همچنین هماهنگی پیچیده بین دستگاه حسی (گیرنده‌های عمقی و حس حرکت) و مکانیکی بدن، زنجیره انقباضات عضلانی در پایین پا و ثابت‌کننده‌های کمکی در اندام تحتانی (پاسخ‌های رفلکسی و اختیاری عضلات) را شامل می‌شود (۱۱).

محققان در سال‌های اخیر به روش‌های غیرتهاجمی در توان‌بخشی سالمندان روی آورده‌اند. تحریک غیرتهاجمی مغز به‌عنوان درمان کمکی و ضروری برای توان‌بخشی تعادل مرتبط با سالمندان ظاهر شده است (۱۲). تحریک غیرتهاجمی مغز به دلیل نوروپلاستیسیتی که دارد، فرایندهای عصبی را به صورت غیرتهاجمی و راحت تعدیل می‌کند (۱۳). تحریک غیرتهاجمی مغز برای چندین دهه برای تقویت مکانیسم‌های ذاتی مغز استفاده شده است (۱۴). تحریک غیرتهاجمی مغز می‌تواند شبکه‌های عصبی و تحریک‌پذیری قشر مغز را تغییر دهد و باعث ایجاد رویدادهای عصبی طولانی‌مدت شود؛ درنتیجه نقایص حرکتی را بهبود بخشد (۱۵). یک تکنیک بسیار رایج تحریک غیرتهاجمی مغز، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای[1] (tDCS) با یک دستگاه tDCS حمل‌شدنی و کاربرپسند است که می‌تواند تحریک‌پذیری قشر مغز را تغییر دهد. tDCS، یک تعدیل‌کننده عصبی، فعالیت قشر مغز را با دپلاریزاسیون یا هیپرپلاریزاسیون تغییر می‌دهد (۱۶). در tDCS تحریک آنودال فعالیت عصبی را افزایش می‌دهد؛ در حالی که تحریک کاتدی کاهش می‌یابد (۱۷). tDCS به‌عنوان کمک بالقوه در بهبود تعادل در سالمندان در سال‌های گذشته استفاده شده است، اما به نظر می‌رسد تحریک نواحی مختلف نتایج متفاوتی خواهد داشت (۱۸). با توجه به اینکه مخچه در مقایسه با قشر حرکتی نقش تعیین‌کننده‌تری در حفظ وضعیت و تعادل دارد (۱۲) و همچنین با در نظر گرفتن اثرات درخورتوجه افزایش سن بر اندازه، ریخت‌شناسی و عملکرد مخچه در افراد مسن (۱۹)، به نظر می‌رسد تحریک مخچه به‌عنوان محل تحریک می‌تواند نتایج امیدوارکننده‌ای

1. transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)

در بهبود تعادل سالمندان داشته باشد. نتایج برخی از مطالعات حاکی از بهبود تعادل سالمندان در اثر tDCS مخچه است (۲۰-۲۱، ۱۸، ۱۲). در این باره، پارسایی و همکاران نشان دادند که tDCS مخچه بر تعادل ایستا و تعادل پویای مردان سالمند تأثیر معناداری دارد (۱۸). احسانی و همکاران نشان دادند که tDCS مخچه بر تعادل سالمندان تأثیر معناداری دارد (۱۲). مظفری‌پور و همکاران نیز نشان دادند که tDCS مخچه می‌تواند منجر به بهبود تعادل در زنان میانسال با خطر سقوط بالا شود (۲۱)؛ اما تحقیقات متناقضی نیز وجود دارد (۲۳، ۲۲). رائوشر[1] و همکاران نشان دادند که tDCS مخچه بر یادگیری تکلیف پیچیده تعادل پویای کل بدن در بزرگسالان میانسال (۵۰ تا ۶۵ سال) تأثیر معناداری ندارد (۲۲). همچنین استینر[2] و همکاران نشان دادند که tDCS مخچه بر تعادل در بین جوانان تأثیر ندارد (۲۳).

اگرچه مطالعات بر نقش تحریک مخچه بر بهبود تعادل تأکید دارند، چالش اصلی در این مورد، تعمیم یافته‌های مطالعات به زندگی روزمره و واقعی سالمندان است. مطالعات انجام‌شده در این زمینه بیشتر به صورت تکالیف آزمایشگاهی و غیرواقعی است؛ بنابراین تعمیم نتایج آن‌ها باید با احتیاط صورت گیرد. یکی از چالش‌های دوره سالمندی، خطر ترس از افتادن است. با توجه به اینکه بیشتر اوقات افتادن‌ها در هنگام پایین آمدن از پله اتفاق می‌افتد (۷)، بررسی این وضعیت به صورت واقعی ضروری است؛ بنابراین در این مطالعه محقق درصدد است تا با استفاده از تکلیف پایین آمدن از سکو (پله) روی صفحه نیرو، میزان تعادل پویا را به صورت واقعی و با استفاده از زمان رسیدن به پایداری مشخص کند تا در تعمیم نتایج به دنیای واقعی و به‌خصوص پایین آمدن از پله برای سالمندان مفید باشد؛ ازاین‌رو هدف تحقیق حاضر، بررسی اثربخشی tDCS مخچه بر زمان رسیدن به پایداری سالمندان بود.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی و از نظر روش، نیمه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بود. از بین سالمندان مرد شهر اهواز با دامنه سنی ۶۰ تا ۷۵ سال، ۳۰ سالمند سالم به صورت مشارکت داوطلبانه برای شرکت در پژوهش انتخاب شدند و به صورت تصادفی (با استفاده از قرعه‌کشی) در دو گروه ۱۵ نفری مداخله tDCS مخچه و tDCS ساختگی(شم) قرار گرفتند. ملاک‌های ورود آزمودنی‌ها به پژوهش عبارت بود از: توانایی راه رفتن ۱۰ متر به طور مستقل؛ ایستادن مستقل به مدت ۱۰ ثانیه؛ دارای دید طبیعی؛ توانایی دنبال کردن دستورات ساده. ملاک‌های خروج آزمودنی‌ها از پژوهش عبارت بود از: ابتلا به اختلالات عضلانی‌اسکلتی محدودکننده؛ ابتلا به اختلالات نورولوژیک (سکته مغزی، بیماری پارکینسون و فلجی)؛ ابتلا به اختلالات قلبی‌عروقی؛ ابتلا به فشارخون بالا و کنترل‌نشده؛ مبتلا بودن به دمانس حافظه (کسب نمره حداقل ۲۲ از ۳۰ از آزمون کوتاه وضعیت ذهنی)؛ داشتن بیماری یا مصرف داروهای اثرگذار بر تعادل و حرکت. در پژوهش حاضر از فرم رضایت آگاهانه طراحی‌شده توسط محققان برای کسب رضایت شرکت‌کنندگان برای شرکت در مطالعه استفاده شد.

آزمون کوتاه وضعیت ذهنی[3]: این آزمون توسط مارشال فولیستین[4] در سال ۱۹۷۵ به منظور غرالگری زوال عقلی در سالمندان طراحی شد (۲۴). پرسشنامه کوتاه وضعیت ذهنی دارای ۲۰ سؤال و کل امتیاز حاصل از آن ۳۰ امتیاز است که براساس کسب مرجع نمره کمتر از ۲۲ به احتمال وجود اختلال شناختی اشاره دارد. این پرسشنامه دارای پنج خرده مقیاس (۱) جهت‌یابی، (۲) ثبت، (۳) توجه و محاسبه، (۴) حافظه اخیر و (۵) عملکردهای مختلف زبانی است. فولیستین

1. Rauscher
2. Steiner
3. Mini Mental State Examination
4. Marshal Folstein

و همکاران در سال ۱۹۷۵ پایایی پرسشنامه را با استفاده از روش آلفای کرونباخ برابر با ۰/۸۷ گزارش کردند و روایی آن را با استفاده از روایی افتراقی و تفاوت بین گروه‌های با دمانس و سالم تأیید کردند (۲۴). در ایران روان‌سنجی این پرسشنامه توسط سیدیان و همکاران در سال ۲۰۰۸ انجام گرفت و روایی آن با استفاده از روایی افتراقی و پایایی با استفاده از آلفای کرونباخ ۰/۸۱ گزارش شد (۲۵). پایایی پرسشنامه در پژوهش حاضر ۰/۷۵ به دست آمد.

دستگاه صفحه نیرو (فورس پلیت)[1]: از دستگاه صفحه نیرو شرکت کیسلر کشور سوئیس با اندازه ۴۰ در ۶۰ سانتی‌متر برای اندازه‌گیری زمان رسیدن به پایداری شرکت‌کنندگان استفاده شد. برای محاسبه زمان رسیدن به پایداری، نرم‌افزار Matlab به کار رفت. زمان رسیدن به پایداری قدامی-خلفی و داخلی-خارجی با استفاده از روش دامنه تغییرات توضیح‌داده‌شده توسط روس[2] و همکاران (۲۰۰۴) محاسبه شد (۲۶). از نیروهای محور Z برای مشخص کردن اولین لحظه تماس با صفحه نیرو استفاده شد. زمان رسیدن به پایداری با استفاده از روش میانگین‌گیری متوالی در دو راستای قدامی-خلفی و داخلی-خارجی محاسبه شد (۲۴). برای یکسان سازی محاسبات نتایج آزمون، زمان ۱۰ ثانیه به‌عنوان مدت‌زمان حفظ تعادل آزمون‌شوندگان پس از اولین تماس با صفحه نیرو در نظر گرفته شد؛ زیرا در این ثانیه تمام آزمودنی‌ها به حالت پایداری و سیگنال‌های صفحه نیرو به حالت ثابت رسیده بودند. در این روش، ابتدا میانگین کلی داده‌های نیروی عکس‌العمل زمین به دست آمد و انحراف معیار آن محاسبه شد. سپس با استفاده از روش میانگین‌گیری متوالی، برای هر لحظه مطابق فرمول‌های شماره ۱، ۲ و ۳ زمان رسیدن به پایداری به‌عنوان لحظه‌ای محاسبه شد که میانگین متوالی داده‌ها کوچک‌تر از یک‌چهارم یک انحراف معیار بیشتر از میانگین باشد. مدت‌زمان حفظ تعادل ۱۰ ثانیه و فرکانس نمونه‌برداری صفحه نیرو ۱۰۰۰ هرتز بود و فرایند میانگین‌گیری برای ۱۰۰۰ لحظه انجام شد (۲۴).

1. $$SeqAvgx(n) = \frac{\sum_1^n fx}{n}$$

2. $$SeqAvgy(n) = \frac{\sum_1^n fy}{n}$$

3. $$SeqAvgz(n) = \frac{\sum_1^n fz}{n}$$

از دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) برای 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 می‌شود و جریان ثابت الکتریکی را از روی جمجمه به مغز منتقل می‌کند. در این پژوهش، الکترودها درون پدهای اسفنجی ۳۵ میلی‌متر مربع قرار گرفتند و سطح پدها با محلول کلرید سدیم ۹ درصد آغشته شد تا ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی از افزایش حرارت پیشگیری شود؛ درنتیجه الکترودها با اسفنج‌های سطحی آغشته به نمک برای تحویل ۱/۵ میلی‌آمپر a-tDCS به مدت ۲۰ دقیقه روی مخچه استفاده شد (۱۲).

آزمون تعادل پویا: این آزمون خود دو بخش داشت: در بخش نخست، ابتدا برای اندازه‌گیری نیروی عکس‌العمل زمین از فرد خواسته شد از روی صفحه نیرو طوری عبور کند که پای غالب او روی صفحه نیرو قرار بگیرد و از آن رد شود. در این آزمون، اندازه نیروی عکس‌العمل زمین در ۳ صفحه x ،y و z محاسبه شد، بر وزن فرد نرمالیزه و ثبت شد. بخش دوم به ارزیابی تعادل پویا از طریق بررسی اندازه‌گیری نرخ بارگذاری و نیز محاسبه زمان رسیدن به پایداری مربوط بود.

1. Force Plate
2. Ross

از فرد خواسته شد که با پای برتر خود از یک سکو به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر که در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از صفحه نیرو قرار داشت، به صورت تک‌پا فرود آید و در ادامه تعادل خود را حفظ کند. ارتفاع سکو همانند پله‌های موجود در منطقه محلی بود. این آزمون سه بار تکرار شد و با استفاده از میانگین این سه تکرار، نرخ بارگذاری و زمان رسیدن به پایداری محاسبه و ثبت شد. برای حذف نوسانات ناشی از حرکت دست‌ها از فرد خواسته شد تا دست‌های خود را روی استخوان لگن قرار دهد. نحوه تشخیص پای برتر آزمودنی‌ها، استفاده از روش هل دادن از پشت و فرود آمدن روی یکی از پاها بود. در طول زمان آزمون در صورتی که فرد تعادل خود را از دست می‌داد یا پای مقابل او با صفحه نیرو برخورد می‌کرد، آزمون قطع و مجدد تکرار می‌شد. اطلاعات فرود از پله توسط صفحه نیرو با فرکانس نمونه‌برداری ۲۰۰ هرتز جمع‌آوری شد. نقطه اوج حداکثر نیروی عکس‌العمل در حرکت فرود از پله، نقطه کلیدی برای محاسبه زمان رسیدن به پایداری بود که اطلاعات مربوط به آن پس از جمع‌آوری تجزیه و تحلیل شد.

در پژوهش حاضر ابتدا شرکت‌کنندگان فرم رضایت آگاهانه برای شرکت در تحقیق را تکمیل کردند. سپس با اجرای تکلیف مدنظر آشنا شدند. بعد از مرحله آشناسازی، مرحله پیش‌آزمون شروع شد که طی آن شرکت‌کنندگان طی سه کوشش با دو دقیقه استراحت بین هر کوشش، آزمون پایین آمدن از پله روی صفحه نیرو را اجرا کردند که توسط اوپراتور دستگاه اندازه‌گیری تعادل شرکت‌کنندگان ثبت شد. مرحله مداخله در دو هفته و هر هفته پنج جلسه متوالی و به طور کلی در ۱۰ جلسه انجام گرفت.

در گروه تحریک الکتریکی مستقیم قشر مخچه، شرکت‌کنندگان هر روز به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی مغز فراجمجمه‌ای قشر مخچه (آند دو سانتی‌متر پایین‌تر از inion و کاتد Cz) را دریافت کردند؛ بدین صورت که در تحریک الکتریکی آندی جریان مستقیم ۱/۵ میلی‌آمپر در تمام طول مدت تحریک به فرد وارد شد (۱۲). در گروه تحریک الکتریکی ساختگی (شم)، شرکت‌کنندگان هر روز به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی ساختگی را دریافت کردند. شایان ذکر است، تحریک الکتریکی شم بعد از اتصال الکترودها جریان الکتریکی ۱/۵ میلی‌آمپر به فرد وارد می‌شود، اما بعد از گذشت ۳۰ ثانیه بدون اینکه به فرد اطلاعی داده شود، جریان الکتریکی قطع می‌شود.

چهل‌وهشت ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، مرحله پس‌آزمون اجرا شد که در این مرحله شرکت‌کنندگان همانند پیش‌آزمون به اجرای سه کوشش آزمون تعادل پویا پرداختند که مقدار زمان پایداری توسط صفحه نیرو ثبت شد.

در این پژوهش از آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف استاندارد برای توصیف ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت-کنندگان و توصیف متغیرهای تحقیق در مراحل مختلف اندازه‌گیری استفاده شد. همچنین به دلیل وجود تفاوت معنادار بین گروه‌ها در پیش‌آزمون از آزمون کوواریانس استفاده شد و عامل پیش‌آزمون به‌عنوان آزمون کوواریانس برای تحلیل داده‌های زمان رسیدن به پایداری شرکت‌کنندگان استفاده شد.

نتایج

در جدول (۱) میانگین و انحراف معیار مربوط به متغیرهای آنتروپومتریکی شرکت‌کنندگان در گروه‌های مختلف ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، گروه‌ها در شاخص‌های سن (P=۰/۸۶)، قد (P=۰/۹۷) و وزن (P=۰/۱۱) همگن بودند.

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار متغیرهای جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان

Table 1- Mean and standard deviation of participants' demographic variables

تی مستقل Independent t test	tDCS ساختگی Sham tDCS	tDCS واقعی Real tDCS	متغیر Variable
(t=0.66 ،P=0.51)	68.13±4.50	69.26± 4.89	سن (سال) Age (years)
(t=-0/82 ،P=0.41)	168.53±4.59	167.20 ± 4.27	قد (سانتی‌متر) Heigh (cm)
(t=-0.95 ،P=0.34)	72.00±4.78	70.26 ± 5.14	وزن (کیلوگرم) Weight (kg)

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

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار مهارت دریبل در گروه‌های مختلف و طی مراحل مختلف اندازه‌گیری و پیش‌فرض‌های آزمون کوواریانس

Table 2- Mean and standard deviation of dribbling skill in different groups and during different stages of measurement and assumptions of covariance test

شاخص						
شیب خط رگرسیون Slope of regression line	آزمون لون Leven Test	آزمون شاپیرو-ویلک Shapiro-Wilk Test	انحراف± میانگین Mean±SD	مرحله Phase	گروه Group	متغیر Variable
0.135	0.601	0.142	2.92±0.41	پیش‌آزمون Pre- test	tDCS واقعی	زمان رسیدن به پایداری قدامی-خلفی Time to reach anterior-posterior stability
		0.259	2.20±0.32	پس‌آزمون Post-test	Real tDCS	
		0.304	2.90±0.47	پیش‌آزمون Pre-test	tDCS ساختگی	
		0.091	2.98±0.54	پس‌آزمون Post-test	Sham tDCS	
0.244	0.143	0.256	1.88±0.34	پیش‌آزمون Pre-test	tDCS واقعی Real tDCS	زمان رسیدن به پایداری مرکزی-جانبی Time to reach Centro-lateral stability
		0.441	1.38±0.21	پس‌آزمون Post-test		
		0.168	2.00±0.27	پیش‌آزمون Pre-test	tDCS ساختگی	
		0.142	1.92±0.34	پس‌آزمون Post-test	Sham tDCS	

نتایج جدول (۲) حاکی از این است که پیش‌فرض‌های آزمون کوواریانس برقرار بود. در جدول (۳) نتایج آزمون کوواریانس ارائه شده است.

جدول ۳- یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل کوواریانس تک‌متغیری

Table 3- Findings related to the univariate analysis of covariance test

متغیر Variable	منبع تغییرات Source of Variation	مجموع مجذورات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مجذورات Mean of Square	مقدار F F-Value	سطح معناداری Significance Level	اندازه اثر Effect size
زمان رسیدن به پایداری قدامی-خلفی Time to reach anterior-posterior stability	پیش‌آزمون Pre- test	0.02	1	0.02	2.11	0.043*	0.084
	گروه group	4.56	1	4.56	21.67	0.001*	0.445
	خطا error	5.68	27	0.21			
زمان رسیدن به پایداری مرکزی-جانبی Time to reach centro-lateral stability	پیش‌آزمون Pre- test	0.03	1	0.03	2.36	0.039*	0.101
	گروه group	2.20	1	2.20	26.11	0.001*	0.492
	خطا error	2.27	27	0.08			

نتایج جدول (۳) نشان داد، بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۴۴ در زمان رسیدن به پایداری قدامی-خلفی شرکت‌کنندگان تفاوت معناداری وجود داشت. نتایج حاکی از این بود که زمان رسیدن به پایداری قدامی-خلفی شرکت‌کنندگان گروه tDCS مخچه در مقایسه با tDCS ساختگی با اختلاف میانگین ۰/۷۸ واحد به طور معناداری بهتر (پایین‌تر) بود (P<۰/۰۵). دیگر نتایج حاکی از این بود که بین گروه‌ها با اندازه اثر ۰/۴۹ در زمان رسیدن به پایداری مرکزی- جانبی شرکت‌کنندگان تفاوت معناداری وجود داشت. نتایج حاکی از این بود که زمان رسیدن به پایداری مرکزی-جانبی شرکت‌کنندگان گرون tDCS مخچه در مقایسه با tDCS ساختگی با اختلاف میانگین ۰/۵۵ واحد به طور معناداری بهتر (پایین‌تر) بود (P<۰/۰۵).

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف اثر tDCS مخچه بر زمان رسیدن به پایداری سالمندان انجام گرفت. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ده جلسه تحریک tDCS مخچه بر زمان رسیدن به پایداری سالمندان تأثیر معناداری داشت و باعث بهبود زمان رسیدن به پایداری قدامی-خلفی و مرکزی-جانبی سالمندان شد. هم‌راستا با این یافته، پارسایی و همکاران نشان دادند که تحریک tDCS مخچه بر تعادل ایستا و تعادل پویای مردان سالمند تأثیر معناداری دارد (۱۸). همچنین احسانی و همکاران نشان دادند که tDCS مخچه بر تعادل سالمندان تأثیر معناداری دارد (۱۲). از سوی دیگر، نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های پژوهش استینر و همکاران همخوانی ندارد. آن‌ها بیان کردند که tDCS مخچه بر تعادل در بین جوانان تأثیر ندارد (۲۳)، اما مطالعه حاضر نشان داد که tDCS مخچه تأثیر مثبت بر تعادل دارد. تفاوت عمده بین مطالعه حاضر و مطالعه استینر و همکاران (۲۳) با موضوعات مرتبط، در تفاوت‌های مرتبط با سن است. ممکن است استدلال شود که فرایندهای حفظ تعادل در افراد جوان در مقایسه با افراد مسن آسان‌تر است؛ زیرا در افراد مسن عملکرد تعادل در طول زمان (سن) کاهش می‌یابد؛ بنابراین فرایندهایی که تعادل را در افراد بهبود می‌بخشند، می‌توانند در مقایسه با جوانان تأثیر بیشتری بر سالمندان داشته باشند. در تحقیق ناهمخوان دیگر، رائوشر و همکاران نشان دادند که tDCS مخچه بر یادگیری تکلیف پیچیده تعادل پویا کل بدن در بزرگسالان میانسال (۵۰ تا ۶۵ سال) تأثیر معناداری ندارد (۲۲). چندین دلیل برای ناسازگاری اثرات tDCS مخچه باید در نظر گرفته شود. پارامترهای تحریک مانند شدت جریان، محل قرارگیری الکترود و اندازه 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؛ در حالی که در تحقیق رائوشور و همکاران تحریک در یک جلسه انجام گرفت (۲۲). همچنین ممکن است استدلال شود که مونتاژ tDCS به اندازه کافی نواحی مخچه درگیر در کار را تحریک نکرده است؛ بنابراین این احتمال وجود دارد که اثرات tDCS ممکن است پس از تحریک مکرر، با استفاده از سایر پارامترهای محرک، در جمعیت بیماران یا در سایر تکالیف یادگیری حرکتی برجسته‌تر باشد.

می‌توان گفت که tDCS مخچه ممکن است منجر به کنترل دقیق‌تر سیستم عصبی مرکزی بیمار نسبت به نوسانات ناشی از نبود پایداری شود و خطر سقوط را کاهش دهد و درنهایت موجب کنترل بهتر تعادل و حفظ پایداری شود. نشانه‌هایی از تغییرات مرتبط با افزایش سن در تعادل و وضعیت بدن وجود دارد که خطر سقوط را افزایش می‌دهد. براساس شواهد، مخچه دارای ارتباطات غنی با سایر مناطق مهم مغز است که نقش مهمی در کنترل وظایف شناختی و حرکتی، تعادل و کنترل وضعیتی پایدار در انسان دارد (۲۷). ازآنجاکه عملکرد و ساختار مخچه می‌تواند در طول فرایند پیری تغییر کند (۲۷)، به طور بالقوه کنترل و تعادل پوسچر ایستا یا پویا می‌تواند در افراد مسن بدتر شود که به نوبه خود خطر افتادن این جمعیت را افزایش می‌دهد. مجاری ماده سفید مخچه اتصال‌دهنده اولیه مخچه به سایر نواحی مغز است و ورمیس یکی از مناطق کلیدی برای تعادل و کنترل وضعیتی است (۲۸). a-tDCS مخچه ممکن است عملکرد ناحیه ورمیس یا مجاری ماده سفید را با افزایش فعال سازی سلول‌های پورکینژ بهبود بخشد (۲۹). فعال‌سازی سلول پورکنژ نورون‌های هسته مخچه عمیق را مهار می‌کند تا خروجی حرکتی مناسبی تولید کرده و فعالیت‌های ناخواسته را سرکوب کند (۲۹). درواقع به نظر می‌رسد، a-tDCS مخچه اتصال مخچه را با سایر نواحی مغز تسهیل می‌کند و عملکردهای کنترل‌کننده مخچه را در قشر حرکتی، سیستم دهلیزی، مغز میانی و سایر نواحی مغز افزایش می‌دهد (۱۲)؛ بر این اساس، این مداخله ممکن است عملکردهای مخچه را بهبود بخشد، عملکرد شناختی، حرکتی و تعادلی را تعدیل کند و تغییرات ساختاری مربوط به سن در ناحیه مخچه را در افراد مسن جبران کند. ازآنجاکه هدف تحقیق بهبود تعادل بود، نقطه O براساس سیستم الکتروانسفالوگرافی ۱۰ تا ۲۰ تحریک شد. این ناحیه در نزدیکی لوب خلفی، عقده‌های قاعده‌ای، جسم سیاه و مخچه قرار دارد که همگی نقش مهمی در تعادل دارند. تحریک این ناحیه ممکن است تأثیر مستقیم بر تعادل فرد و نیز تأثیر مؤثری بر قشر مغز و نواحی زیر قشر مغز داشته باشد.

دیگر نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شاخص‌های زمان رسیدن به پایداری به دنبال کاربرد sham a-tDCS تغییر نمی‌کنند. مطابق با یافته‌های مطالعه حاضر، مطالعاتی که به بررسی اثر tDCS ساختگی بر وضعیت بدنی، تعادل و راه رفتن افراد مبتلا به اختلال وضعیتی پرداختند، هیچ تأثیری بر تعادل، کنترل وضعیتی و عملکرد راه رفتن مشاهده نکردند (۲۱، ۱۸، ۱۲). این یافته نشان می‌دهد که a-tDCS مخچه مسئول تغییرات مشاهده‌شده است و اثر دارونما هیچ نقشی در این زمینه ندارد.

به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که tDCS مخچه قادر به بهبود زمان رسیدن به پایداری مردان سالمند است. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که این اثرات به دلیل اثرات دارونما a-tDCS مخچه نیست؛ بنابراین استفاده از این روش برای بهبود زمان رسیدن به پایداری مردان سالمند توصیه می‌شود.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به تعداد نسبتاً کم آزمودنی‌ها و استفاده از جنسیت مرد اشاره کرد که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی رعایت شود. همچنین با توجه به اینکه اثرات بلندمدت tDCS بر تعادل در این تحقیق بررسی نشده است، پیشنهاد می‌شود این موضوع در تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرد. شرکت‌کنندگان در مطالعه حاضر سالمندان مرد بودند؛ بنابراین نمی‌توان نتایج را به بزرگسالان جوان یا میانسال تعمیم داد. مطالعات بیشتر برای بررسی اثر a-tDCS مخچه بر زمان رسیدن به پایداری در بزرگسالان جوان و میانسال ضروری است. همچنین این مطالعه می‌تواند در افراد مسن با خطر سقوط بالا تکرار شود.

پیام مقاله

تحریک مکرر tDCS ناحیه مخچه می‌تواند با بهبود زمان رسیدن به پایداری، نقش مؤثری در ارتقای تعادل و کاهش خطر سقوط در سالمندان ایفا کند. این مداخله به‌ویژه برای جمعیت سالمند، به دلیل افت عملکرد تعادلی مرتبط با سن، کاربرد بالینی درخورتوجهی دارد.

ملاحظات اخلاقی

تمام مراحل این پژوهش با رعایت اصول اخلاقی تحقیق ازجمله دریافت رضایت آگاهانه شرکت‌کنندگان، محرمانه بودن اطلاعات و پایبندی به صداقت علمی انجام شد.

مشارکت نویسندگان

این مقاله برگرفته از رساله دکتری مثنی کاظم الکریعی در رشته تربیت‌بدنی و علوم ورزشی گروه رفتار حرکتی است که دکتر فرزانه داوری به‌عنوان استاد راهنمای اول و نویسنده مسئول، دکتر مازن هادی کظر الطائی به‌عنوان استاد راهنمای دوم و دکتر زهره مشکاتی به‌عنوان استاد مشاور، هدایت آن را بر عهده داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله حامی مالی و تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان پژوهش حاضر بر خود لازم می‌دانند از همه افرادی که در پژوهش شرکت نمودند، کمال تشکر و سپاس خود را ابراز کنند.

منابع

1. Krougly N, Tsikrikis K, MacRae F, Pouliopoulou DV, Peters S. Linking brain activation to standing balance performance: a systematic review and meta-analysis of functional near-infrared spectroscopy literature. Gait & Posture. 2025:120:124-135. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2025.04.009
2. Carter S, Saghafi A. An exploration of the effects of gait speed and joint movements on minimum toe clearance across the lifespan: a cross-sectional study. J Appl Biomech. 2025:1-10. https://doi.org/10.1123/jab.2024-0288
3. Xie H, Wang Z, Wang C, Chien JH. Ageing changes the proprioceptive contribution to balance control under different types of mastoid vibration: a cross-sectional study. Experimental Physiology. https://doi.org/10.1113/EP092548
4. Greenfield J, Delcroix V, Ettaki W, Derollepot R, Paire-Ficout L, Ranchet M. Left and right cortical activity arising from preferred walking speed in older adults. Sensors. 2023:23(8):3986. https://doi.org/10.3390/s23083986
5. Montecino LM, Salazar OS, Trespalacios CM, Rico CA. Relationship between morphofunctionality and postural control of physically active older women. Migration Letters. 2023:20(S8):56181. https://doi.org/10.59670/ml.v20iS8.4631
6. Elliott DB, Foster RJ, Whitaker D, Scally AJ, Buckley JG. Analysis of lower limb movement to determine the effect of manipulating the appearance of stairs to improve safety: a linked series of laboratory-based, repeated measures studies. Southampton (UK): NIHR Journals Library. 2015. https://doi.org/10.3310/phr03080

7. Bjelica M, Levine IC, Novak AC. Increasing the contrast of tread edge highlighters improves stair descent safety in older adults with simulated visual impairment. Applied Ergonomics. 2021; 97:103525. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103525
8. Bjelica M. Four shades of gray: understanding the effect of visual contrast on step edges to improve safety. Toronto: University of Toronto (Canada); 2019.
9. Fransz DP, Huurnink A, de Boode VA, Kingma I, van Dieën JH. Time to stabilization in single leg drop jump landings: an examination of calculation methods and assessment of differences in sample rate, filter settings and trial length on outcome values. Gait & Posture. 2015:41(1):63-9. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.08.018
10. DuPrey KM, Liu K, Cronholm PF, Reisman AS, Collina SJ, Webner D, Kaminski TW. Baseline time to stabilization identifies anterior cruciate ligament rupture risk in collegiate athletes. The American Journal of Sports Medicine. 2016:44(6):1487-91. https://doi.org/10.1177/0363546516629635
11. Wright CJ, Arnold BL, Ross SE. Altered kinematics and time to stabilization during drop-jump landings in individuals with or without functional ankle instability. Journal of Athletic Training. 2016:51(1):5-15. https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.2.10
12. Ehsani F, Samaei A, Zoghi M, Hedayati R, Jaberzadeh S. 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. 2017:46(12):2875-2884. https://doi.org/10.1111/ejn.13731
13. Ehsani F, Jayedi A, Motaharinezhad F, Jaberzadeh S. The effects of transcranial direct current stimulation montages on motor learning across various brain regions: a systematic review and network meta-analysis. Neuroscience. 2025:17; 569:32-42. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2025.01.058
14. Parikh V, Medley A, Chung YC, Goh HT. Optimal timing and neural loci: a scoping review on the effect of non-invasive brain stimulation on post-stroke gait and balance recovery. Topics in Stroke Rehabilitation. 2023:30(1):84-100. https://doi.org/10.1080/10749357.2021.1990467
15. Baharlouei H, Salehinejad MA, Talimkhani A, Nitsche MA. The effect of non-invasive brain stimulation on gait in healthy young and older adults: a systematic review of the literature. Neuroscience. 2023;15125-40. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2023.01.026
16. Veldema J, Steingräber T, von Grönheim L, Wienecke J, Regel R, Schack T, Schütz C. Direct current stimulation over the primary motor cortex, cerebellum, and spinal cord to modulate balance performance: a randomized placebo-controlled trial. Bioengineering. 2024;11(4):353. https://doi.org/10.3390/bioengineering11040353
17. Pruski A, Cantarero G. Transcranial direct current stimulation for motor recovery following brain injury. Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports. 2020; 8:268-79. https://doi.org/10.1007/s40141-020-00262-8
18. Parsaee S, Shohani M, Jalilian M. The effect of cerebellar TDCS on static and dynamic balance of inactive elderly men. Gerontology and Geriatric Medicine. 2023;15: 9:23337214231159760. https://doi.org/10.1177/23337214231159760
19. Cavallari M, Moscufo N, Skudlarski P, Meier D, Panzer VP, Pearlson GD, White WB, Wolfson L, Guttmann CR. 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. 2013;2:332-40. https://doi.org/10.1016/j.nicl.2013.02.003
20. Bueno GA, do Bomfim AD, Campos LF, Martins AC, Elmescany RB, Stival MM, Funghetto SS, de Menezes RL. Non-invasive neuromodulation in reducing the risk of falls and fear of falling in community-dwelling older adults: systematic review. Frontiers in Aging Neuroscience. 2024; 15:1301790. https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1301790

21. Mozafaripour E, Sadati SK, Najafi L, Zoghi M. The effect of motor imaginary combined with transcranial direct current stimulation (tDCS) on balance in middle-aged women with high fall risk: a double-blind randomized controlled trial. Neural Plasticity. 2023:31;209680371. https://doi.org/10.1155/2023/9680371
22. Rauscher M, Yavari F, Batsikadze G, Ludolph N, Ilg W, Nitsche MA, Timmann D, Steiner KM. 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. 2020; 22:2:38. https://doi.org/10.1186/s42466-020-00085-x
23. Steiner KM, Enders A, Thier W, Batsikadze G, Ludolph N, Ilg W, Timmann D. Cerebellar tDCS does not improve learning in a complex whole body dynamic balance task in young healthy subjects. PloS One. 2016:26;11(9):e0163598. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163598
24. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. Mini-mental state: a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. Journal of psychiatric research. 1975:12(3):189-98. https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6
25. Seyedian M, Falah M, Nourouzian M, Nejat S, Delavar A, Ghasemzadeh H.A. Validity of the Farsi version of Mini-Mental State Examination. Journal of Medical Council of I.R.I. 2008;25(4):408-414.
26. Ross SE, Guskiewicz KM. Examination of static and dynamic postural stability in individuals with functionally stable and unstable ankles. Clinical Journal of Sport Medicine. 2004:14(6):332-8. https://doi.org/10.1097/00042752-200411000-00002
27. Ghiyamihoor F, Paymani P, Perron J, Asemi-Rad A, Marzban M, Mohite A, Ardila K, Aljada B, Marzban A, Toback M, Eltonsy S. Volumetric changes in cerebellar transverse zones: age and sex effects in health and neurological disorders. Human Brain Mapping. 202515;46(6): e70214. https://doi.org/10.1002/hbm.70214
28. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice. Lippincott Williams & Wilkins; 2007. https://doi.org/10.1007/s00198-007-0358-4
29. Khanmohammadi S, Ehsani F, Bagheri R, Jaberzadeh S. Compared motor learning effects of motor cortical and cerebellar repetitive transcranial magnetic stimulation during a serial reaction time task in older adults. Scientific Reports. 2025:11;15(1):12447. https://doi.org/10.1038/s41598-025-95859-1