Volume 2, Number 3, Winter 2024
19-34

OPEN ACCESS

DOI: 10.22034/MMBJ.2024.56301.1036

The Comparison of Effective of one Period of Selected Bimanual Training and Transcranial Direct Current Stimulation on Fine Motor Control and Working Memory in Older Adults

*Hamidreza Taheri Torbati [1], Noughabi Ehsan Vafaee [2], Alireza Saberi Kakhki[3]

Received Date: 2023 May 3 **Review Date**: 2023 December 28 **Accepted Date**: 2024 May 14 **Published Date**: 2024 May 25

Abstract

In old age, motor and cognitive functions decrease. Fine motor control and working memory are functions that play a significant role in the independent life of the elderly and decrease in old age. The present study was conducted with the aim of comparing the effective of a selected bimanual exercise course and direct current transcranial stimulation and their combination on fine motor control and working memory of the elderly. This research was semi-experimental with a pre-test-post-test design with a control group. The statistical population of this research was elderly people aged 60 to 72 living in Mashhad. 40 participants were selected by available sampling method and were randomly placed in four control groups, selected bimanual exercise, tDCS application and combined, and data were extracted. Shapiro-Wilk test was used to check the normality of the data, and one-way analysis of variance with repeated measures and Duncan's post hoc test were used to find the difference between the groups, and the significance level of all tests was considered to be $P \leq 0.05$. It was shown that the effectiveness of the combined training course on fine motor control is more than other interventions and all the interventions are effective on working memory of the elderly, but there is no significant difference between the groups. Therefore, the combined intervention was able to show its effect, which is to reduce the duration of improvement of fine motor control and at the same time improve working memory. According to the results, the stability of this effect was shown one week later.

Keywords: Fine Motor Control, Working Memory, Transcranial Direct Current Stimulation, Older Adults.

*1- Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (Corresponding).
2- Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

سال دوم شماره‌ی ۳
بهار ۱۴۰۳، صفحات ۳۴-۱۹

OPEN ACCESS

DOI: 10.22034/MMBJ.2024.56301.1036

مقایسه تاثیر یک دوره تمرین منتخب دودستی و تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم بر کنترل حرکتی ظریف و حافظه‌کاری سالمندان

*حمیدرضا طاهری تربتی[۴]، احسان وفائی نوقابی[۵]، علیرضا صابری کاخکی[۶]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۷ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۲/۲۵ **تاریخ آنلاین:** ۰۵ /۱۴۰۲/۰۳

چکیده

در سالمندی عملکردهای حرکتی و شناختی با کاهش همراه است. کنترل حرکتی ظریف و حافظه‌کاری از عملکردهایی هستند که نقش به‌سزایی در زندگی مستقل سالمندان دارند و در سالمندی کاهش می‌یابند. پژوهش حاضر با هدف مقایسه تاثیر یک دوره تمرین منتخب دودستی و تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم و ترکیب آن‌ها بر کنترل حرکتی ظریف و حافظه‌کاری سالمندان انجام شد. این پژوهش از نوع نیمه‌تجربی و با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون همراه با گروه گواه بود. جامعه آماری این پژوهش سالمندان ۶۰ تا ۷۲ ساله ساکن در مشهد بود. ۴۰ شرکت‌کننده به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند و به صورت تصادفی در چهار گروه گواه، تمرین منتخب دودستی، اعمال tDCS و ترکیبی قرار گرفتند و داده‌ها استخراج گردید. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک و جهت آزمون فرضیه‌ها از آزمون آنالیز واریانس یک‌راهه با مقادیر مکرر و از آزمون تعقیبی دانکن جهت یافتن محل تفاوت گروه‌ها استفاده شد و سطح معناداری تمامی آزمون‌ها نیز $P<0.05$ در نظر گرفته شد. نشان داده شد که تاثیر دوره تمرینی ترکیبی بر کنترل حرکتی ظریف بیش از سایر مداخله‌ها است و تمامی مداخلات بر حافظه‌کاری سالمندان موثر است، ولی اختلاف معناداری بین گروه‌ها وجود ندارد. بنابراین مداخله ترکیبی توانست تاثیر خود را که کاهش مدت زمان بهبود کنترل حرکتی ظریف و در عین حال بهبود حافظه‌کاری است، نشان دهد. با توجه به نتایج، پایداری این تاثیر در یک هفته بعد نیز نشان داده شد.

کلید واژه‌ها: کنترل حرکتی ظریف، حافظه‌کاری، تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم، سالمندان.

*۴- گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. (نویسنده مسئول). Hamidtaheri@gmail.com

۵ - گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۶ - گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مقدمه

افزایش طبیعی سن، با کاهش عملکردهای شناختی و حرکتی همراه است. این مشکلات می‌تواند نتیجه تغییر شکل‌پذیری عصبی، به دلیل تغییرات در عملکرد سیناپسی و انتقال عصبی و همچنین آتروفی عضلانی باشد (Jamil, Cuypers, Rand, Nitsche, & Meesen, 2018). کنترل حرکتی ظریف یکی از مواردی است که در سالمندی در نتیجه این تغییرات شناختی و حرکتی با مشکلات جدی مواجه می‌شود (Krehbiel, Kang, & Cauraugh, 2017). کنترل حرکتی ظریف شامل حرکات چالاکی تک‌دستی، چالاکی دودستی و هماهنگی دودستی است. تکالیفی که از این جهت تحت تاثیر قرار می‌گیرند، شامل بسیاری از فعالیت‌های زندگی روزمره شامل بستن دکمه پیراهن، بستن بند کفش، شماره‌گیری تلفن همراه و مانند این‌ها می‌شود، بنابراین با توانایی زندگی مستقل در ارتباطند (Rudisch et al., 2020). از طرفی یکی از جنبه‌های مهم شناختی که در سالمندی تحت تاثیر قرار می‌گیرد، حافظه‌کاری است که به اجزایی اشاره دارد که مسئول نگهداری موقت مقدار محدودی از اطلاعات در یک حالت در دسترس هستند تا امکان پردازش اطلاعات در حال انجام را فراهم کنند. این قابلیت به افراد اجازه می‌دهد تا برنامه‌های حرکتی را به خاطر بسپارند و اجرا کنند. عملکرد حافظه‌کاری به طور قابل توجهی با افزایش سن کاهش می‌یابد. چند دلیلی که برای این کاهش وجود دارد می‌تواند تغییرات عصبی فیزیولوژیکی، تغییرات فیزیولوژیکی، تغییرات فردی، فقدان یا کاهش تمرین و کاهش یادگیری باشد (Teixeira-Santos et al., 2019).

از طرفی در برخی از پژوهش‌ها نشان داده شده است که در سالمندان، تمام معیارهای عملکردهای اجرایی به طور قابل‌توجهی با تمام معیارهای کنترل حرکتی ظریف مرتبط است. یکی از اجزای عملکردهای اجرایی که از این طریق می‌تواند به کنترل حرکتی ظریف کمک کند، حافظه‌کاری است. بنابراین حفظ و بهبود آن می‌تواند برای حرکت سالمندان مفید باشد (Corti et al., 2017). همچنین برخی پژوهشگران (Bangert, Reuter-Lorenz, Walsh, Schachter, & Seidler, 2010; Hoff et al., 2015) که نشان دادند که تمرین مبتنی بر تکالیف هماهنگی دودستی که یکی از جنبه‌های کنترل حرکتی ظریف است، می‌تواند ابزار مفیدی در کاهش تغییرات مرتبط با سن، توسعه عملکردهای حرکتی از نظر دقت در عملیات دستی و همچنین در زمینه عملکردهای شناختی باشد. همچنین نتایج پژوهشی (Bugos, 2019) نشان داد که تمرین پیانو که از نوع هماهنگی دودستی و مرتبط با کنترل حرکتی ظریف است، چندین عملکرد اجرایی مانند حافظه‌کاری را در سالمندان افزایش می‌دهد.

بنابراین بررسی روش‌هایی که می‌تواند در بهبود کنترل حرکتی ظریف و حافظه‌کاری سالمندان موثر باشد، ضروری است و احتمالا بهبود هر کدام می‌تواند در بهبود دیگری موثر باشد. یکی از این روش‌ها استفاده از تمرینات مختلف است که می‌تواند با درگیر کردن نواحی مختلف مغزی و همچنین درگیر کردن عضلات ظریف در بهبود این مشکلات مثمر ثمر باشد. اما برنامه‌های تمرینی مختلف تنها روش برای غلبه بر این مشکلات سالمندی نیست. یکی از روش‌های دیگر، تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم[۷] (tDCS) است، که یک تکنیک تحریک عصبی است که در

7- Transcranial Direct Current Stimulation

آن مقادیر کمی جریان الکتریکی به پوست سر اعمال می‌شود تا فعالیت نورون‌های زیرین را تعدیل کند که از آن به عنوان یک جایگزین غیردارویی برای کاهش زوال شناختی در سنین بالا یاد می‌شود و می‌توان آن را بر نواحی مختلف مغزی اعمال نمود (Jamil et al., 2018). به عنوان مثال با اعمال تنها یک جلسه tDCS بر روی قشر حرکتی و بهبود قابل توجه عملکرد دودستی در سالمندان، نشان داده شد که اعمال tDCS بر روی قشر حرکتی مغز می‌تواند ابزار مفیدی برای بازگرداندن مکانیسم‌های شناختی تغییر یافته ناشی از سالمندی در سطح مغز به ویژه هماهنگ‌سازی بهینه نواحی قشر حرکتی و در نتیجه بهبود عملکرد مهارت‌های حرکتی باشد (Jamil et al., 2018). همچنین در طی سالیان گذشته، مطالعات زیادی سعی کرده‌اند از tDCS برای بهبود حافظه‌کاری استفاده کنند. تعدادی از این مطالعات اثرات مثبتی را گزارش کردند (Katsoulaki, Kastrinis, & Tsekoura, 2017)، در حالی که برخی دیگر هیچ اثر قابل توجهی از tDCS در عملکرد حافظه‌کاری را گزارش نکردند (Robison, McGuirk, & Unsworth, 2017; J. Wang, Wen, & Li, 2018) و یا این که فقط در افراد خاص مثل افراد با تحصیلات بالاتر (Berryhill & Jones, 2012) و یا در تکالیف خاص مثل تشخیص چهره (Brunyé, Moran, Holmes, Mahoney, & Taylor, 2017) اثرات مثبتی را ملاحظه نمودند.

همچنین با توجه به این که هر مداخله‌ای می‌تواند مکانیزم متفاوتی داشته باشد، احتمالا ترکیب مداخلات مختلف می‌تواند تاثیر بهتری ایجاد کند. یکی از محدودیاتی که انجام برنامه تمرین بدنی دارد، مدت زمان زیاد لازم برای اثربخشی آن است. به طور مثال برای بهبود چالاکی دستی که از اجزای کنترل حرکتی ظریف است، در یک پژوهش از دو ماه تمرین روزانه استفاده شد (Naito et al., 2021b). از طرفی همان طور که پیش از این بیان شد، در برخی از پژوهش‌ها نشان داده شده است که یک جلسه اعمال tDCS بر نواحی خاص مغزی بر حافظه‌کاری که با کنترل حرکتی ظریف در تعامل است (Corti et al., 2017)، تاثیر نداشته است (Robison et al., 2017; J. Wang et al., 2018). در صورتی که اثربخشی بهتر روش ترکیبی نسبت به هر کدام از مداخلات به تنهایی نشان داده شود، خواهیم توانست در مدت زمان کوتاه‌تری نسبت به روش تمرین بدنی بهبود در کنترل حرکتی ظریف و حافظه‌کاری سالمندان ایجاد کنیم و از طرفی در همین جلسات کمتر احتمال تاثیرگذاری tDCS را نیز بالا ببریم. بنابراین در این مقاله به این موضوع پرداخته می‌شود که آیا تاثیر ترکیب تمرینات منتخب دودستی و اعمال tDCS بر ناحیه پیش‌پیشانی پشتی جانبی[8] (DLPFC)، تفاوتی با اعمال هر کدام از این مداخلات به تنهایی بر کنترل حرکتی ظریف و حافظه‌کاری سالمندان خواهد داشت یا خیر؟ همچنین با توجه به این که ماندگاری این تاثیر اهمیت دارد و در تحقیقات مختلف کمتر به این موضوع پرداخته شده است، این مسئله نیز بررسی خواهد شد.

روش پژوهش

طرح تحقیق حاضر نیمه آزمایشی و از نوع کاربردی با پیش‌آزمون- پس‌آزمون همراه با گروه گواه است. جامعه پژوهش سالمندان ۶۰ تا ۷۲ ساله شهرستان مشهد است. تعداد کل حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار GPower با

8- Dorsolateral Prefrontal Cortex

اندازه اثر ۰/۲۵، توان ۰/۸ و سطح معناداری ۰/۰۵، ٤۰ نفر انتخاب شد. بنابراین به منظور انجام پژوهش ٤۰ شرکت‌کننده به صورت نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و سپس به صورت تصادفی در چهار گروه تقسیم شدند. گروه آزمایشی اول گروه برنامه تمرینی منتخب دودستی، گروه آزمایشی دوم گروه tDCS، گروه آزمایشی سوم گروه ترکیبی شامل برنامه تمرینی منتخب دودستی و tDCS و گروه چهارم را نیز گروه گواه تشکیل می‌دهند. معیارهای ورود به پژوهش برخورداری از سلامت کلی جسمی طبق سابقه پزشکی سالمند و کسب نمره حداقل ۲٤ از آزمون کوتاه وضعیت ذهنی M.M.S.E۹ (Braekhus, Laake, & Engedal, 1995) جهت همگن‌سازی شرکت‌کنندگان از نظر شناختی بود. همچنین در صورتی که شرکت‌کنندگان در بیش از دو جلسه از تمرینات شرکت نمی‌کردند، از پژوهش خارج می‌شدند.

به منظور اندازه‌گیری کنترل حرکتی ظریف از پوردو پگبورد[۱۰] استفاده شد. ارزیابی استاندارد عملکرد در این آزمون، با اندازه‌گیری تعداد کل رکوردها در یک دوره زمانی محدود در چهار آزمون فرعی مختلف انجام می‌شود. برای شرکت‌کنندگان راست دست، مراحل آزمون به این صورت است که در آزمون فرعی اول و دوم به ترتیب، شرکت‌کنندگان باید در بازه زمانی ۳۰ ثانیه به تعداد ممکن پین‌ها را در ردیف سمت راست و سمت چپ، قرار دهند و تعداد پین‌های قرار داده شده شمارش می‌شود. در آزمون فرعی سوم، شرکت‌کنندگان در مدت زمان ۳۰ ثانیه با هر دو دست به صورت هم‌زمان پین‌ها را در سمت راست، با دست راست و در سمت چپ با دست چپ قرار می‌دهند و تعداد جفت پین‌های قرار داده شمرده می‌شود. در آزمون فرعی چهارم نیز، شرکت‌کنندگان باید ابتدا یک پین را با دست راست داخل سوراخ‌های سمت راست تخته قرار دهند، سپس با دست چپ واشر را روی آن قرار دهند و در ادامه با دست راست طوقه را در پین جای دهند و در نهایت یک واشر را روی طوقه قرار دهند، تا یک مجموعه سرهم‌بندی شود. در این مرحله از آزمون تعداد مجموعه‌های سرهم‌بندی شده در مدت زمان ٦۰ ثانیه شمارش می‌شود. برای شرکت‌کنندگان چپ دست، آزمون به همین منوال است با این تفاوت که آزمون فرعی اول با دست چپ و آزمون فرعی دوم با دست راست انجام می‌شود و در آزمون فرعی چهارم ترتیب دست‌ها چپ- راست- چپ- راست است و همچنین موارد سرهم‌بندی شده را این افراد سمت چپ قرار می‌دهند (Corti et al., 2017).

برای اندازه‌گیری حافظه‌کاری نیز از آزمون N-back استفاده شد. آزمون N-Back به بیش از نیم قرن قبل باز می‌گردد که در دهه ۱۹۵۰ توسط کرچنر توسعه یافت. به طور خلاصه، در آزمون N-Back، به شرکت‌کنندگان دنباله‌ای از محرک‌ها یک به یک ارائه می‌شود. برای هر محرک، آن‌ها باید تصمیم بگیرند که آیا محرک فعلی همان محرک ارائه شده در N کوشش قبل است یا خیر. عدد N می‌تواند یک، دو، سه و بیش‌تر از آن باشد. هرچه این عدد بیش‌تر باشد، آزمون دشوارتر است. عواملی که به نظر می‌رسد بر عملکرد تأثیر می‌گذارند نه تنها N، بلکه سرعت ارائه و اندازه مجموعه محرک‌ها نیز هستند. در این پژوهش از آزمون 2-back استفاده شد. در این آزمون کل مجموعه محرک‌ها ۹ عدد و شامل اعداد تک رقمی یک تا نه است. هر محرک برای حداکثر یک ثانیه ارائه می‌شود. فاصله بین

9- Mini-Mental State Examination
10- Purdue Pegboard Test

ارائه هر دو محرک نیز حدود یک ثانیه است. بنابراین حدودا در هر دو ثانیه یک محرک جدید ارائه می‌شود. کل زمان آزمون چهار دقیقه است که در این مدت ۱۲۰ محرک ارائه می‌شود، که می‌بایست هر کدام از آن‌ها با دو محرک قبل از خود، مقایسه شوند. داده‌های به‌دست‌آمده از این آزمون شامل تعداد پاسخ‌های صحیح، تعداد پاسخ‌های غلط، تعداد موارد بی‌پاسخ و میانگین سرعت واکنش پاسخ‌های صحیح است. با استفاده از این داده‌ها نمره دقت کلی با استفاده از حاصل تقسیم تعداد پاسخ صحیح بر ۱۲۰ که کل محرک‌های ارائه شده است و ضرب آن در عدد ۱۰۰ جهت گزارش به صورت درصد، محاسبه خواهد شد. ارزیابی این آزمون با استفاده از نمره دقت کلی و میانگین سرعت واکنش پاسخ‌های صحیح است (Friedrich et al., 2019).

ابتدا از شرکت‌کنندگان تمامی گروه‌ها پیش‌آزمون گرفته شد. سپس شرکت‌کنندگان گروه‌های اول تا سوم در ۸ جلسه تمرینی به صورت یک روز در میان شرکت کردند. گروه اول به مدت ۱۵ دقیقه تمرینات منتخب انگشتی دودستی مطابق تمرینات پژوهش (Naito et al., 2021b) و با برنامه تمرینی مطابق جدول ۱ را انجام دادند. در گروه دوم به همین مدت، tDCS آندی با شدت جریان دو میلی‌آمپر بر ناحیه DLPFC اعمال شد و کاتد بر روی پیشانی سمت مخالف قرار گرفت (Nilsson, Lebedev, & Lövdén, 2015). در گروه سوم نیز به همان مدت، هم‌زمان با اعمال tDCS آندی بر ناحیه DLPFC تمرینات دودستی انگشتی گروه اول انجام شد. گروه چهارم نیز در این مدت هیچ تمرین یا تحریک برنامه‌ریزی شده‌ای انجام ندادند. بلافاصله پس از اتمام جلسات تمرین پس‌آزمون فوری و یک هفته پس از آن پس‌آزمون تاخیری انجام و داده‌ها جمع‌آوری گردید.

جدول ۱- برنامه تمرین دودستی

	Homework menus
Week 1	**Menus 1 (3 sets), 2 (3 sets), and 3 (3 sets)**
Week 2	**Menus 2 (5 sets), 3 (5 sets), and 4 (3 sets)**
Week 3	**Menus 3 (5 sets), 4 (5 sets), and 5 (3 sets)**

برای تفسیر و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. برای توصیف آماری داده‌ها از دامنه تغییرات، میانگین، انحراف معیار خطا، انحراف معیار از میانگین و بازه اطمینان ۹۵ درصدی و نمودارهای مربوطه استفاده شد. همچنین برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های هر گروه از آزمون شاپیرو- ویلک و جهت بررسی همگن بودن واریانس خطای گروه‌ها از آزمون لون و جهت آزمون فرضیه‌ها از آزمون آنالیز واریانس یک‌راهه با مقادیر مکرر و از آزمون تعقیبی دانکن جهت یافتن محل تفاوت گروه‌ها استفاده شد و سطح معناداری تمامی آزمون‌ها نیز ۰/۰۵ در نظر

گرفته شد. ضمنا در این پژوهش کلیه ضوابط اخلاقی کمیته اخلاق در پژوهش‌های زیست‌پزشکی دانشگاه فردوسی مشهد رعایت شد.

یافته‌ها و بحث

با توجه به نتایج آزمون شاپیرو- ویلک که در جدول ۲ نشان داده شده است، توزیع داده‌ها در تمامی زمان‌ها و گروه‌ها در مورد تمامی متغیرهای وابسته نرمال است ($P>0.05$).

جدول ۲- p مقدار آزمون شاپیرو- ویلک به تفکیک متغیرهای وابسته در سه زمان اندازه‌گیری در گروه‌های آزمایشی

متغیر	گروه		تمرین دودستی	tDCS	ترکیبی	کنترل
کنترل حرکتی ظریف	پیش‌آزمون		0.71	0.28	0.31	0.08
	پس‌آزمون فوری		0.88	0.63	0.051	0.35
	پس‌آزمون تاخیری		0.50	0.68	0.11	0.35
حافظه‌کاری	دقت کلی (درصد)	پیش‌آزمون	0.74	0.47	0.92	0.38
		پس‌آزمون فوری	0.92	0.70	0.86	0.33
		پس‌آزمون تاخیری	0.60	0.33	0.92	0.11
	میانگین زمان پاسخ (ms)	پیش‌آزمون	0.29	0.10	0.25	0.13
		پس‌آزمون فوری	0.56	0.26	0.35	0.21
		پس‌آزمون تاخیری	0.75	0.42	0.56	0.52

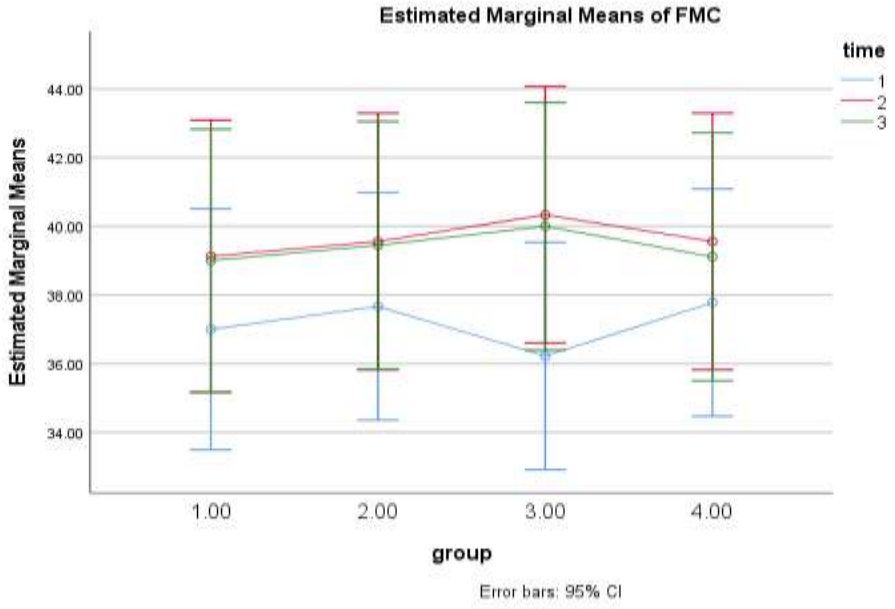
با استفاده از آزمون لون شرط همگنی واریانس‌های خطای گروه‌ها بررسی گردید که طبق نتایج به‌دست آمده در جدول ۳ این شرط برقرار است. بنابراین می‌توان از آزمون آنالیز واریانس یک‌راهه با مقادیر مکرر استفاده کرد.

طبق نتایج به‌دست آمده از آزمون آنالیز واریانس یک‌راهه بین تاثیر یک دوره تمرین منتخب دودستی و تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم و ترکیب آن‌ها بر کنترل حرکتی ظریف سالمندان ۶۰ تا ۸۰ ساله تفاوت معناداری وجود دارد ($p=0.023$ اثر زمان× گروه)، به این صورت که تاثیر دوره تمرینی ترکیبی بیش از سایر مداخله‌ها است. با توجه به نتایج آزمون تعقیبی دانکن این تفاوت تاثیر بلافاصله پس از اتمام جلسات تمرینی ($p=0.71$ برای عدم تفاوت معنادار گروه‌های یک، دو و چهار) و یک هفته پس از آن ($p=0.3$ برای عدم تفاوت معنادار گروه‌های یک، دو و چهار) با توجه به پس‌آزمون‌های فوری و تاخیری نسبت به پیش‌آزمون نشان داده شد. هم‌چنین تفاوت معناداری بین دو پس‌آزمون فوری و تعقیبی بین گروه‌ها ملاحظه نشد ($p=0.71$)، که نشان دهنده ماندگاری این اثربخشی حداقل

به مدت یک هفته است. در شکل ۲ این نتایج قابل مشاهده است. در این نمودار زمان یک پیش‌آزمون، زمان دو پس‌آزمون فوری و زمان سه پس‌آزمون تاخیری را نشان می‌دهد.

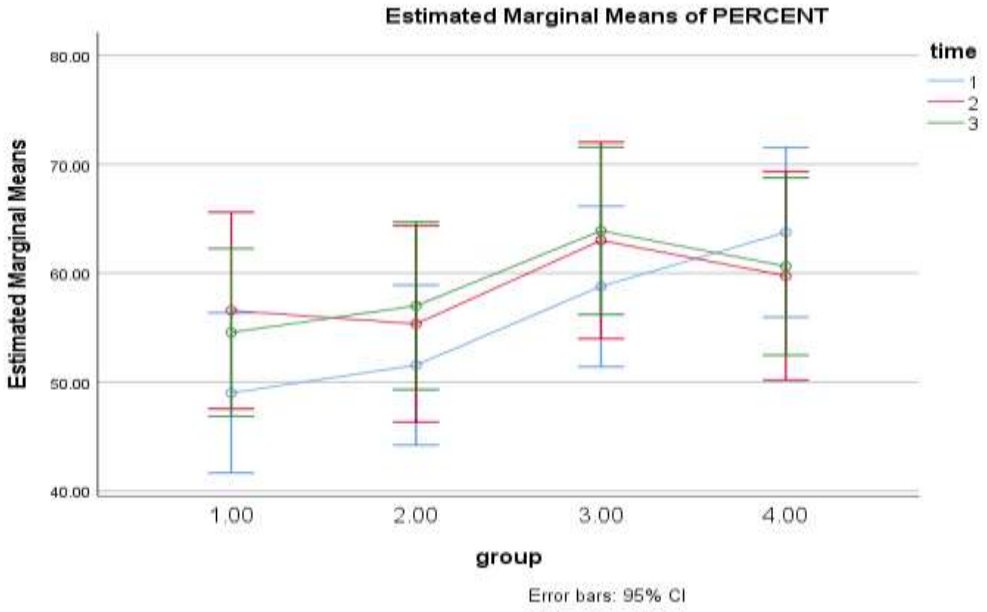
جدول ۳- آزمون لون جهت بررسی همگن بودن واریانس‌های خطای گروه‌ها

متغیر	مقادیر		آماره لون	درجات آزادی ۱	درجات آزادی ۲	p-value
کنترل حرکتی ظریف	پیش‌آزمون		۲/۱۵۱	۳	۳۱	۰/۱۱٤
	پس‌آزمون فوری		۱/۵۲۸	۳	۳۱	۰/۲۲۷
	پس‌آزمون تاخیری		۲/۷۹۷	۳	۳۱	۰/۰۵۷
حافظه‌کاری	دقت کلی (درصد)	پیش‌آزمون	۱/۸۵۱	۳	۳۱	۰/۱۵۹
		پس‌آزمون فوری	۰/٦۸۸	۳	۳۱	۰/۵٦٦
		پس‌آزمون تاخیری	۱/٤٤۱	۳	۳۱	۰/۲۵۰
	میانگین زمان پاسخ (ms)	پیش‌آزمون	۲/٦۷۷	۳	۳۲	۰/۰٦٤
		پس‌آزمون فوری	۲/۲٦۷	۳	۳۲	۰/۰٦٤
		پس‌آزمون تاخیری	۲/۸٦۷	۳	۳۲	۰/۰۵۲



شکل ۲: میانگین‌های حاشیه‌ای تخمینی کنترل حرکتی ظریف به تفکیک گروه و زمان در بازه‌های اطمینان ۹۵ درصدی

همچنین بین تاثیر یک دوره تمرین منتخب دودستی و تحریک فراجمجمه‌ای جریان مستقیم و ترکیب آن‌ها بر پارامترهای دقت (p=0.014) و میانگین زمان واکنش آزمون (p=0.567) حافظه‌کاری سالمندان ۶۰ تا ۸۰ ساله تفاوت معناداری وجود ندارد (p=0.014 برای اثر زمان× گروه، اما با توجه به آزمون تعقیبی محل این تفاوت در گروه گواه بود). اما تفاوت معنادار اثر گروه گواه با سایر گروه‌ها نشان دهنده تاثیر داشتن مداخلات صورت گرفته در تمامی گروه‌ها بر حافظه‌کاری سالمندان ۶۰ تا ۸۰ ساله بود. این تاثیر بلافاصله پس از انجام جلسات تمرینی (p=0.313 برای عدم تفاوت بین گروه‌های یک، دو و سه) و یک هفته پس از آن (p=0.869 برای عدم تفاوت معنادار بین گروه یک، دو و سه) نسبت به پیش‌آزمون وجود داشت. اما بین پس‌آزمون فوری و تاخیری تفاوت معناداری بین گروه‌ها ملاحظه نشد (p=0.131 برای عدم تفاوت معنادار بین تمامی گروه‌ها)، که نشان‌دهنده ماندگاری این تاثیر حداقل به مدت یک هفته است. در شکل ۳ این نتایج قابل مشاهده است. در این نمودار زمان یک پیش‌آزمون، زمان دو پس‌آزمون فوری و زمان سه پس‌آزمون تاخیری را نشان می‌دهد.



شکل ۳: میانگین‌های حاشیه‌ای تخمینی دقت حافظه‌کاری به تفکیک گروه و زمان در بازه‌های اطمینان ۹۵ درصدی

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش بررسی این موضوع بود که آیا با اجرای تمرینات منتخب دودستی که هم زمان با اعمال tDCS بر قشر پیش‌پیشانی پشتی جانبی (DLPFC) انجام شود، که در واقع ترکیب یک نوع مداخله تمرینی بدنی و یک نوع مداخله شناختی است، تفاوتی نسبت به اجرای هر کدام از این دو نوع مداخله به تنهایی در سالمندان ۶۰ تا ۸۰ ساله، ملاحظه خواهد شد یا خیر؟ اهمیت این پژوهش از این لحاظ است که در صورتی که مثمر ثمر بودن این نوع مداخله

نسبت به تک‌تک مداخلات به تنهایی تایید شود، امکان بهبود کنترل حرکتی ظریف که یکی از عوامل مهم زندگی مستقل در دوران سالمندی است، در مدت زمان کمتر فراهم خواهد شد.

این پژوهش نشان داد که در تمامی گروه‌های آزمایشی بهبود کنترل حرکتی ظریف در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون نشان داده شد و اثر زمان به صورت کلی معنادار گزارش شد و با توجه به این که تنها گروه ترکیبی تفاوت معنادار با گروه گواه دارد، بنابراین احتمالا به جز گروه ترکیبی پیشرفت با زمان بقیه گروه‌ها به خاطر یادگیری است و این پیشرفت در اثر مداخله اتفاق نیفتاده است. برای بررسی ماندگاری تاثیر از پس‌آزمون تاخیری استفاده شد که نتایج نشان دهنده پایداری اثرات آن تا حداقل یک هفته پس از اتمام جلسات تمرینی بود. این نتیجه با نتایج مقاله مروری (Pixa & Pollok, 2018) که نشان داده است که tDCS این پتانسیل را دارد که مهارت‌های حرکتی دودستی را در داوطلبان سالم و بیماران مبتلا به بیماری‌های عصبی افزایش دهد، مغایر است که البته در پژوهش‌های مربوطه تحریک آندی به نواحی SMA و M1 اعمال شده است، بنابراین نواحی تحریک متفاوت بوده‌اند. همچنین با نتیجه تحقیق (Raw, Allen, Mon-Williams, & Wilkie, 2016) که نشان داد اثرات tDCS منجر به بهبود عملکرد حرکتی می‌شود، بدون اینکه اثرات مفید واضحی برای یادگیری حرکتی داشته باشد، مغایر است. همچنین با شواهدی که نشان می‌دهد اعمال tDCS می‌تواند عملکرد حرکتی تک‌دستی و دو دستی را بهبود بخشد، مغایر است. به ویژه، یک فراآنالیز از مطالعات قبلی نشان داد که tDCS می‌تواند مزایای عملکردی فوری در تکالیف چالاکی ایجاد کند(Patel et al., 2019). علاوه بر این، یک مطالعه نشان داد که tDCS روی قشر جلوی مغزی پشتی سمت چپ(DLPFC)، کسب مهارت چالاکی دستی در مراحل اولیه را با دست غیر غالب بهبود بخشید (Watanabe et al., 2023). مطالعه دیگری نشان داد که tDCS می‌تواند عملکرد حرکتی دودستی را در داوطلبان سالم و بیماران مبتلا به اختلالات عصبی افزایش دهد (Pixa & Pollok, 2018). البته باید توجه شود که در این پژوهش‌ها یک یا چند مورد از موارد نواحی تحریک، مدت تحریک، نوع تمرین متفاوت بوده است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌هایی که نشان می‌دهند تمرینات دودستی منجر به بهبود کنترل حرکتی ظریف می‌شود، مغایر است. یکی از این مطالعات نشان می‌دهد که تمرین مبتنی بر تکالیف هماهنگی دودستی می‌تواند ابزار مفیدی در کاهش تغییرات مربوط به سن، توسعه عملکردهای حرکتی از نظر دقت در عملیات دستی و در زمینه عملکردهای شناختی باشد (Roman-Liu & Mockałło, 2020)، که البته نتایج به‌دست آمده از تمرین به نوع تکالیف انجام شده، بازخورد ارائه شده و مدت زمان تمرین بستگی دارد (Roman-Liu & Mockałło, 2020). که در این پژوهش مدت زمان تمرین نسبت به پژوهش حاضر کمتر ولی نوع تمرین‌های هماهنگی دودستی به شکل نرم‌افزاری و متفاوت بوده است. مطالعه دیگری نشان داد که تمرین انگشتی دودستی با فعال‌کردن مجدد کاهش مهار حرکتی قشر مغزی همان طرف، چالاکی دست راست را در افراد سالمند بهبود بخشید (Naito et al., 2021a) که این مطالعه رابطه تنگاتنگی را بین بازداری بین نیمکره‌ای و مهارت دست/انگشت در سالمندان نشان داد و آموزش‌پذیری سیستم بازداری بین نیمکره‌ای را که در طول سالمندی طبیعی بدتر می‌شود، از طریق تمرین دو دستی پیشنهاد کرد (Naito et al., 2021a). تمرین این پژوهش

مشابه تمرینات پژوهش حاضر بوده است، ولی مدت زمان اجرای آن به مدت دو ماه بوده است که زمان طولانی‌تری نسبت به پژوهش حاضر بوده است. به طور خلاصه، در حالی که tDCS پتانسیل افزایش مهارت‌های حرکتی دودستی را نشان داده است، اثرات آن بر کنترل حرکتی ظریف در افراد سالمند هنوز به خوبی مشخص نشده است. از سوی دیگر، مداخلات تمرینی دودستی، در بهبود یادگیری حرکتی و بازیابی در جمعیت‌های خاص، نویدبخش بوده است. تحقیقات بیش‌تری برای تعیین تفاوت‌ها و تاثیر این مداخلات در کنترل حرکتی ظریف افراد سالمند مورد نیاز است.

اما همان‌طور که بیان شد، تاثیر گروه مداخله ترکیبی بر کنترل حرکتی ظریف نشان داده شد. این نتیجه نشان‌دهنده این است که با وجود این که در گروه‌های مداخله‌ای دیگر پژوهش شامل گروه اعمال tDCS و انجام تمرین دودستی در بازه زمانی انجام مداخله، نسبت به گروه گواه تفاوت معناداری وجود نداشته است، اما ترکیب این دو مداخله باعث شده است که تفاوت معناداری در کنترل حرکتی ظریف سالمندان ایجاد و بهبود حاصل شود. نتایج این پژوهش با پژوهش (B. Wang, Xiao, Yu, Zhou, & Fu, 2021) که نشان داده‌اند که ترکیب tDCS با تمرین بدنی می‌تواند به طور موثر تحریک‌پذیری قشر حرکتی، عملکرد فیزیکی و یادگیری حرکتی را بهبود بخشد، سازگار است. با این وجود پژوهش دیگری که به مقایسه اثر ترکیب تمرین دودستی و اعمال tDCS بر کنترل حرکتی ظریف سالمندان بپردازد، یافت نشد. با توجه به این که انجام تمرینات دودستی بیش‌تر بر نواحی SMA مغز که مرتبط با اعمال پیچیده دودستی می‌شود اثرگذار است و اعمال tDCS بر DLPFC بیش‌تر مرتبط با عملکردهای شناختی است، و از طرفی طبق پژوهش‌های (Rodríguez-Aranda, Mittner, & Vasylenko, 2016; Vasylenko, Gorecka, & Rodríguez-Aranda, 2018) بین کنترل حرکتی ظریف و عملکردهای اجرایی از قبیل حافظه‌کاری ارتباط وجود دارد، احتمالا این تاثیر ایجاد شده به این دلایل ایجاد شده است.

اما آزمون مربوط به حافظه‌کاری نشان داد که همه گروه‌های مداخله‌ای به صورت مشابه نسبت به گروه گواه در پارامتر دقت آزمون حافظه‌کاری تفاوت معنادار دارند، که نشان دهنده این است که همه مداخلات موثر بوده‌اند ولی در عین حال گروه ترکیبی برتری نسبت به گروه‌های مداخله‌ای دیگر در این مورد ایجاد نکرده است. این تاثیر و تفاوت بین گروه‌ها در پس‌آزمون فوری و تاخیری وجود داشت. همچنین تفاوت معناداری از لحاظ بهبود زمان پاسخ آزمون حافظه‌کاری به صورت کلی و تفکیک گروه‌ها ایجاد نشد. مجموع نتایج آزمون فرضیه اول و دوم با نتایج پژوهش (Ljubisavljevic et al., 2019) که نشان داد اعمال tDCS بر DLPFC در یک تکلیف دوگانه شامل بخش حرکتی و بخش شناختی در سالمندان، بر بخش حرکتی شامل چالاکی دست تاثیر نداشت اما بر بخش شناختی آن تاثیر گذار بود، سازگار است. همچنین نتایج پژوهش حاضر با پژوهش (Satorres et al., 2022) که نشان دهنده بهبود عملکرد WM با اعمال tDCS بر DLPFC است، مطابقت دارد. همچنین نتایج این پژوهش با پژوهش (Nilsson et al., 2015) که نشان داد هیچ اثر قابل توجهی از tDCS بر دقت یا زمان پاسخ بعد از تحریک، وجود ندارد از نظر دقت عدم تطابق و از نظر زمان پاسخ‌ها تطابق دارد. باید توجه شود که در پژوهش ذکر شده تنها یک

جلسه tDCS اعمال شده بود و از این حیث با مداخله پژوهش حاضر تفاوت وجود دارد. به طور خلاصه، اثرات tDCS بر حافظه‌کاری سالمندان به صورت متنوع گزارش شده است، به این صورت که برخی از مطالعات اثرات مثبت را گزارش کرده‌اند که سازگار با نتایج پژوهش حاضر است و برخی دیگر نیز هیچ اثر قابل توجهی پیدا نکردند و برخی از مطالعات هم تنها در جمعیت‌های خاص مثل افراد تحصیل کرده (Berryhill & Jones, 2012) و در برخی از مطالعات هم همراه با آموزش حافظه‌کاری آن هم در سالمندان با ظرفیت حافظه‌کاری پایین (Assecondi, Hu, Kroeker, Eskes, & Shapiro, 2022) اثرات مثبتی را گزارش کرده‌اند که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد.

اثر مثبت تمرین دودستی بر حافظه‌کاری با مطالعه (Torre, Langeard, Alliou, & Temprado, 2023) که نشان داد تمرین هماهنگی دودستی می‌تواند مزایای تمرینی را به تکالیف شناختی و حرکتی تمرین‌نشده منتقل کند، به این علت که احتمالاً همه آن‌ها فرآیندهای شناختی یکسانی دارند، مطابقت دارد. همچنین با نتایج پژوهش (Bugos, 2019) که نشان داده‌اند که تمرین پیانو چندین عملکرد اجرایی مانند حافظه‌کاری را در سالمندان افزایش می‌دهد، از این حیث سازگار است. همچنین نتایج این پژوهش با مطالعه (Stanciu, Biehl, & Hesse, 2017) که اثر تداخل فضایی را در تکالیف اشاره دودستی بررسی کرد و دریافت که افزایش تقاضاهای شناختی می‌تواند این اثر را تقویت کند، سازگار است. البته توجه شود که این مطالعه به طور مستقیم به حافظه‌کاری نمی‌پردازد، بلکه تأثیر هماهنگی دودستی را بر فرآیندهای شناختی برجسته می‌کند.

هیچ پژوهشی که مستقیماً به این سؤال پاسخ دهد که تأثیر همزمانی tDCS با تمرین دودستی بر حافظه‌کاری و کنترل حرکتی ظریف در افراد سالمند چیست، یافت نشد. با این حال، برخی مطالعات که اثرات tDCS را بر آموزش شناختی و یادگیری حرکتی در سالمندان بررسی می‌کند، ذکر می‌شود. پژوهش (Dumel et al., 2018) اثرات tDCS آندال چند جلسه‌ای را بر یادگیری حرکتی در جمعیت سالمند بررسی کرد و نشان داد که بهبود یادگیری حرکتی، بیش از ۳ ماه پس از مداخله ادامه داشت. همچنین پژوهش (Gonzalez, Fong, & Brown, 2021) بررسی کرد که آیا tDCS همراه با آموزش شناختی نسبت به آموزش شناختی به تنهایی بر پیامدهای شناختی حوزه خاص و ویژه در افراد سالمند با اختلال شناختی خفیف برتری دارد یا خیر؟ این مطالعه نشان داد که tDCS همراه با آموزش شناختی، اندازه‌های اثر نسبتاً بزرگ‌تری را ارائه می‌کند و سرعت پردازش نتایج ویژه تکلیف را بهبود می‌بخشد. یک مطالعه دیگر نشان داد که tDCS در طول تمرین حافظه‌کاری به طور انتخابی برای افراد سالمند با ظرفیت اولیه حافظه‌کاری کم‌تر مفید است (Assecondi et al., 2022). در حالی که این مطالعات به طور مستقیم به اثرات اعمال tDCS هم‌زمان با تمرینات دودستی نمی‌پردازند، آن‌ها نشان می‌دهند که tDCS می‌تواند اثرات مثبتی بر عملکرد شناختی و حرکتی در افراد سالمند داشته باشد. با این حال، تحقیقات بیش‌تری برای تعیین اثرات خاص همزمانی tDCS با تمرین دودستی بر حافظه‌کاری و کنترل حرکتی ظریف در افراد مسن مورد نیاز است. با استفاده از ترکیب یک مداخله شناختی و یک مداخله حرکتی مدت زمان لازم برای بهبود بخشیدن بخش حرکتی کاهش یافت و در

عین حال بهبود در بخش شناختی نیز حاصل شد. پیشنهاد می‌شود از این نوع مداخلات در توان‌بخشی سالمندان استفاده شود.

تضاد منافع

نویسندگان این مقاله، هیچ نفع متقابلی از انتشار این پژوهش ندارند.

References

- Assecondi, S., Hu, R., Kroeker, J., Eskes, G., & Shapiro, K. (2022). Older adults with lower working memory capacity benefit from transcranial direct current stimulation when combined with working memory training: A preliminary study. *Frontiers in aging neuroscience, 14*, 1009262.
- Bangert, A. S., Reuter-Lorenz, P. A., Walsh, C. M., Schachter, A. B., & Seidler, R. D. (2010). Bimanual coordination and aging: neurobehavioral implications. *Neuropsychologia, 48*(4), 1165-1170.
- Berryhill, M. E., & Jones, K. T (2012), tDCS selectively improves working memory in older adults with more education. *Neuroscience letters, 521*(2), 148-151.
- Braekhus, A., Laake, K., & Engedal, K. (1995). A low,'normal'score on the Mini-Mental State Examination predicts development of dementia after three years. *Journal of the American Geriatrics Society, 43*(6), 656-661.
- Brunyé, T. T., Moran, J. M., Holmes, A., Mahoney, C. R., & Taylor, H. A. (2017). Non-invasive brain stimulation targeting the right fusiform gyrus selectively increases working memory for faces. *Brain Cogn, 113*, 32-39. doi:10.1016/j.bandc.2017.01.006
- Bugos, J. A. (2019). The Effects of Bimanual Coordination in Music Interventions on Executive Functions in Aging Adults. *Front Integr Neurosci, 13*, 68.
- Corti, E. J., Johnson, A. R., Riddle, H., Gasson, N., Kane, R., & Loftus, A. M. (2017). The relationship between executive function and fine motor control in young and older adults. *Human Movement Science, 51*, 41-50.
- Dumel, G., Bourassa, M. E., Charlebois-Plante, C., Desjardins, M., Doyon, J., Saint-Amour, D., & De Beaumont, L. (2018). Motor Learning Improvement Remains 3 Months After a Multisession Anodal tDCS Intervention in an Aging Population. *Front Aging Neurosci, 10*, 335. doi:10.3389/fnagi.2018.00335.
- Friedrich, E. V., Berger, B., Minarik, T., Schmid, D., Peylo, C., & Sauseng, P. (2019). No enhancing effect of fronto-medial tDCS on working memory processes. *Journal of Cognitive Enhancement, 3*(4), 416-424.
- Gonzalez, P. C., Fong, K. N. K & Brown, T. (2021). Transcranial direct current stimulation as an adjunct to cognitive training for older adults with mild cognitive impairment: A randomized controlled trial. *Ann Phys Rehabil Med, 64*(5), 101536. doi:10.1016/j.rehab.2021.101536.
- Hoff, M., Trapp, S., Kaminski, E., Sehm, B., Steele, C. J., Villringer, A., & Ragert, P. (2015). Switching between hands in a serial reaction time task: a comparison between young and old adults. *Frontiers in aging neuroscience, 7*, 176.
Jamil, A., Cuypers, K., Rand, M. K., Nitsche, M. A., & Meesen, R. (2018). S149. Improved bimanual control in elderly after motor cortex stimulation. *Clinical Neurophysiology, 129*, e197.
- Katsoulaki, M., Kastrinis, A., & Tsekoura, M. (2017). The effects of anodal transcranial direct current stimulation on working memory. *GeNeDis 2016*, 283-289.
- Krehbiel, L. M., Kang, N., & Cauraugh, J. H. (2017). Age-related differences in bimanual movements: a systematic review and meta-analysis. *Experimental Gerontology, 98*, 199-206.
- Ljubisavljevic, M. R., Oommen, J., Filipovic, S., Bjekic, J., Szolics, M., & Nagelkerke, N. (2019). Effects of tDCS of dorsolateral prefrontal cortex on dual-task performance involving manual dexterity and cognitive task in healthy older adults. *Frontiers in aging neuroscience, 11*, 144.

- Naito, E., Morita, T., Hirose, S., Kimura, N., Okamoto, H., Kamimukai, C., & Asada, M. (2021a). Bimanual digit training improves right-hand dexterity in older adults by reactivating declined ipsilateral motor-cortical inhibition. *Scientific reports, 11*(1), 22696.
- Naito, E., Morita, T., Hirose, S., Kimura, N., Okamoto, H., Kamimukai, C., & Asada, M. (2021b). Bimanual digit training improves right-hand dexterity in older adults by reactivating declined ipsilateral motor-cortical inhibition. *Scientific reports, 11*(1), 1-13.
- Nilsson, J., Lebedev, A. V., & Lövdén, M. (2015). No significant effect of prefrontal tDCS on working memory performance in older adults. *Frontiers in aging neuroscience, 7*, 230.
- Patel, R., Ashcroft, J., Patel, A., Ashrafian, H., Woods, A. J., Singh, H., Leff, D. R. (2019). The Impact of Transcranial Direct Current Stimulation on Upper-Limb Motor Performance in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Neurosci, 13*, 1213.
- Pixa, N. H., & Pollok, B. (2018). Effects of tDCS on bimanual motor skills: a brief review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 12*, 63.
- Raw, R. K., Allen, R. J., Mon-Williams, M., & Wilkie, R. M. (2016). Motor Sequence Learning in Healthy Older Adults Is Not Necessarily Facilitated by Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). *Geriatrics (Basel), 1*(4). doi:10.3390/geriatrics1040032
- Robison, M. K., McGuirk, W. P., & Unsworth, N. (2017). No evidence for enhancements to visual working memory with transcranial direct current stimulation to prefrontal or posterior parietal cortices. *Behav Neurosci, 131*(4), 277-288. doi:10.1037/bne0000202
- Rodríguez-Aranda, C., Mittner, M., & Vasylenko, O. (2016). Association between executive functions, working memory, and manual dexterity in young and healthy older adults: an exploratory study. *Perceptual and motor skills, 122*(1), 165-192.
- Roman-Liu, D., & Mockałło, Z. (2020). Effectiveness of bimanual coordination tasks performance in improving coordination skills and cognitive functions in elderly. *Plos one, 15*(3), e0228599. doi:10.1371/journal.pone.0228599
- Rudisch, J., Müller, K., Kutz, D. F., Brich, L., Sleimen-Malkoun, R., & Voelcker-Rehage, C. (2020). How age, cognitive function and gender affect bimanual force control. *Frontiers in physiology, 11*, 245.
- Satorres, E., Meléndez, J. C., Pitarque, A., Real, E., Abella, M., & Escudero, J. (2022). Enhancing Immediate Memory, Potential Learning, and Working Memory with Transcranial Direct Current Stimulation in Healthy Older Adults. *Int J Environ Res Public Health, 19*(19). doi:10.3390/ijerph191912716
- Stanciu, I., Biehl, S. C., & Hesse, C. (2017). Increased cognitive demands boost the spatial interference effect in bimanual pointing. *Psychol Res, 81*(3), 582595.–doi:10.1007/s00426-016-0762-5
- Teixeira-Santos, A. C., Moreira, C. S., Magalhães, R., Magalhães, C., Pereira, D. R., Leite, J., Sampaio, A. (2019). Reviewing working memory training gains in healthy older adults: A meta-analytic review of transfer for cognitive outcomes. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 103*, 163-177.
- Torre, M. M., Langeard, A., Alliou, L., & Temprado, J.-J. (2023). Does bimanual coordination training benefit inhibitory function in older adults? *Frontiers in aging neuroscience, 15*, 1124109.
- Vasylenko, O., Gorecka, M. M., & Rodríguez-Aranda, C. (2018). Manual dexterity in young and healthy older adults. 2. Association with cognitive abilities. *Developmental psychobiology, 60*(4), 428-439.

- Wang, B., Xiao, S., Yu, C., Zhou J., & Fu, W. (2021). Effects of transcranial direct current stimulation combined with physical training on the excitability of the motor cortex, physical performance, and motor learning: a systematic review. *Frontiers in Neuroscience, 15*, 648354.
- Wang, J., Wen, J. B., & Li, X. L. (2018). No effect of transcranial direct current stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex on short-term memory. *CNS neuroscience & therapeutics*, *24*(1), 58-63.
- Watanabe, A., Sawamura, D., Nakazono, H., Tokikuni, Y., Miura, H., Sugawara, K., Sakai, S. (2023). Transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex enhances early dexterity skills with the left non-dominant hand: a randomized controlled trial. *Journal of Translational Medicine*, *21*(1), 143. doi:10.1186/s12967-023-03989-9.