Sports. Psychol. 2024, 16(1): 1-29, doi: 10.48308/mbsp.2024.233750.1235

Sports Psychology

Journal homepage: https://mbsp.sbu.ac.ir

Original Article

Effect of Training with Transcranial Electrical Stimulation with Random Noise on Brain Waves and Temporal/Spatial Components in Learning a Perceptual-Motor Task

Fatemeh Salehi[1], Mohammadreza Doustan[1]*, Esmaeel Saemi[1]

1. Faculty of Sport Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Received: 11/11/2023, Revised: 04/01/2024, Accepted: 08/02/2024

Abstract

Purpose: This study aimed to investigate the effects of combining tRNS with exercise on brain waves and the enhancement of temporal and spatial components in perceptual-motor task learning.

Methods: This semi-experimental research utilized a pretest-acquisition-posttest design. Based on the literature review, 30 male students (mean age 22.62 ± 62) were randomly divided into three experimental groups (1- tRNS combined with motor training, 2- sham tRNS combined with motor training, 3- motor training). Participants completed a movement task of drawing a circle in three phases: pretest (10 trials), intervention (one day after pretest; 6 sessions with 5 blocks of 10 attempts each), post-test (one day after intervention, 10 trials). Each trial ended after drawing 20 laps of the circle. Data were analyzed using descriptive statistics, Shapiro-Wilk test for data distribution normality, one-way analysis of variance with repeated measurements, Bonferroni follow-up test, Kruskal-Wallis, and Friedman tests.

Results: Statistical analysis using SPSS software revealed that tRNS improved beta rhythm and sensorimotor rhythm (SMR) power (P=0.001). Additionally, tRNS significantly reduced spatial error and movement execution time (P=0.001). The effect of tRNS on movement time was observed after six sessions, while the effect on spatial error was evident after three sessions.

Conclusion: The results suggest that tRNS is an effective approach to decrease movement errors, enhance movement timing, and improve fine motor performance. Three training sessions with tRNS were adequate to reduce spatial error, but more sessions were required to reduce temporal error.

Keywords: Brain Stimulation, Variability, Motor Redundancy, Noise, Stochastic Resonance

* Corresponding Author: Mohammadreza Doustan, Tel: +98-9127351977, E-mail: m.doustan@scu.ac.ir

How to Cite: Salehi, F., Doustan, M., Saemi, E. Effect of Training with Transcranial Electrical Stimulation with Random Noise on Brain Waves and Temporal/Spatial Components in Learning a Perceptual-Motor Task. *Sports Psychology*, 2024; 16(1):1-29. In Persian.

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/).

Extended Abstract
Background and Purpose

Numerous studies have shown that variability in motor performance decreases with training but never completely disappears (1). Part of this variability is due to inherent movement noise. Sensorimotor noise arises from noise in perceiving a moving target, executing a movement, and planning a movement. Movement variability limits task accuracy. The psycho-motor efficiency hypothesis suggests that modifying and enhancing communication processes in the cerebral cortex reduces the complexity of motor processes, leading to decreased variability, prevention of non-task-related factors (such as noise), and enhanced adaptability in motor performance (2-5). In addition to optimizing variability in the learning process, practice and other factors influencing motor learning should also reduce errors, spatial and temporal variability. This is crucial because behavioral performance is influenced by the level of variability in execution and even neural variability, which should be minimized. Specifically, variability in neural firing patterns may result in behavioral variability (6-9). Researchers are exploring ways to reduce neural variability and adjust motor behaviors accordingly. Recent research utilizing non-invasive methods such as neurofeedback and transcranial electrical stimulation with random noise current (tRNS) aims to enhance motor and neural components, such as noise. These precise methods, with minimal side effects, have the potential to replace drug therapy and traditional exercise methods. tRNS, a form of Transcranial Electrical Stimulation (TES), increases cortical excitability and facilitates neural plasticity. It is a method used to stimulate the motor cortex to enhance motor performance (11-14). This study investigates the effects of combining tRNS with exercise on brain waves, and temporal and spatial components in learning a perceptual-motor task.

Materials and Methods

This study was a semi-experimental research in terms of execution method and a fundamental research in terms of purpose. It employed a pre-test-post-test design. Thirty male students (average age 22.62 years) were randomly assigned to three experimental groups (1- real tRNS with motor training, 2- sham tRNS with motor training, 3- movement training). The tools used included a touch sensor screen, a light pen, a 5-channel neurofeedback device, and a transcranial direct electric current stimulation device. Participants performed the motor task of drawing a circle in three steps: pre-test (10 trials), intervention (one day after the pre-test; 6 sessions consisting of 5 blocks of 10 trials; sessions were one day apart), post-test (one day after the intervention, 10 trials). Each trial ended automatically after 20 circles were drawn. SMR and beta brain waves were recorded three times to measure changes in participants' brain waves during the sessions. The behavioural output was recorded numerically. The number of acceptable points and speed of each circle were calculated to evaluate and compare spatial and temporal errors in tasks. The tRNS intervention for the first group included 20 minutes of real electrical stimulation with a frequency of 100 to 640 Hz and an intensity of 2 mA on the C3

area in the primary motor cortex (M1). After stimulation, subjects rested for 25 minutes before performing the task. The second group received 20 minutes of sham electrical stimulation before task practice. The third group only performed the task without electrical stimulation.

Results

Statistical analysis using SPSS software revealed that tRNS improved beta waves and sensorimotor waves (SMR) ($p \leq 0.05$). tRNS significantly reduced spatial error and movement execution time ($p \leq 0.05$). While all groups showed an increase in beta waves and SMR power, the first group demonstrated greater improvement in performance and motor learning due to tRNS. The study results indicated a significant effect of tRNS on reducing spatial error and temporal errors in the perceptual-motor task performance. The group receiving real tRNS showed more movement execution progress than the other groups. tRNS affected movement time after six sessions and spatial error after three sessions. Three sessions of tRNS were sufficient to reduce spatial error, but more sessions were required to reduce temporal error. The increase in beta waves and SMR power in the first group suggested decreased motor interference and enhanced performance, aligning with behavioral data analysis.

Conclusion

Based on these findings, it is recommended that sports coaches, occupational therapists, and musicians dealing with fine perceptual-motor skills consider using tRNS as an effective method to enhance performance.

Funding

This study received no funding from public, commercial, or nonprofit organizations.

Authors' Contributions

All authors have participated in designing, implementing and writing all parts of the present study.

Conflicts of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgement

We sincerely thank all the students who collaborated in this research. The authors would also like to express their gratitude to the Sports Psychology Journal for providing the opportunity to publish this article.

روانشناسی ورزشی، ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۱، صص ۲۹-۱. doi: 10.48308/mbsp.2024.233750.1235

روانشناسی ورزشی

Journal homepage: https://mbsp.sbu.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

تأثیر تمرین همراه با تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی بر امواج مغزی و مؤلفه‌های زمانی و فضایی در یادگیری یک تکلیف ادراکی- حرکتی

فاطمه صالحی[۱]، محمدرضا دوستان[۱*]، اسماعیل صائمی[۱]

۱. دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰ ، تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۱۰/۱۴ ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

چکیده

هدف: پژوهش حاضر به بررسی آثار ترکیب tRNS با تمرین پرداخت تا اثرات این ترکیب را بر امواج مغزی و بهبود مؤلفه‌های زمانی و فضایی در یادگیری تکلیف ادراکی- حرکتی بسنجد.

روش‌ها: این پژوهش نیمه‌تجربی مبتنی بر طرح پیش‌آزمون- اکتساب- پس‌آزمون بود. ۳۰ دانشجوی مرد (میانگین سنی ۲۲/۶۲) که با توجه به پیشینه ها به صورت در دسترس انتخاب شده و به‌صورت تصادفی در سه گروه آزمایشی (۱-tRNS همراه با تمرین حرکتی، ۲- tRNS ساختگی همراه با تمرین حرکتی، ۳- تمرین حرکتی) تقسیم شدند. شرکت‌کنندگان تکلیف حرکتی ترسیم ۲۰ دایره را در سه مرحله‌ی پیش‌آزمون (۱۰ کوشش)، مداخله (۶ جلسه شامل ۵ بلوک ۱۰ کوششی)، پس‌آزمون (یک روز پس از مداخله، ۱۰ کوشش) انجام دادند. داده‌ها با استفاده از روش‌های آمار توصیفی مانند فراوانی، میانگین، انحراف معیار، تجزیه و تحلیل شدند. برای طبیعی بودن توزیع داده‌ها آزمون شاپیرو- ویلک به‌عمل آمد و از تحلیل واریانس یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های مکرر، آزمون پیگردی بونفرونی، آزمون‌های کراسکال والیس و فریدمن نیز استفاده شد.

یافته ها: نتایج آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان داد که tRNS باعث بهبود در عملکرد امواج بتا و موج حسی‌حرکتی (SMR) شده‌است (P=۰/۰۰۱). همچنین tRNS تاثیر معناداری بر کاهش خطای فضایی و زمان اجرای حرکت داشت (P=۰/۰۰۱). tRNS بر زمان حرکت پس از شش جلسه تاثیر داشت در حالی‌که بر خطای فضایی پس از سه جلسه چنین تاثیری داشت.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج حاصل شده، tRNS می‌تواند به‌عنوان یک راهکار موثر جهت کاهش خطاهای حرکتی و بهبود زمانبندی حرکت و در پی آن ارتقای عملکرد حرکتی ظریف معرفی شود. همچنین طبق نتایج، برای کاهش خطای فضایی سه جلسه تمرین همراه با tRNS کافی است ولی جهت کاهش خطای زمانی نیاز به تعداد جلسات بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: تحریک مغز، تغییرپذیری، افزونگی حرکتی، نویز، تشدید تصادفی.

* Corresponding Author: Mohammadreza Doustan, Tel: +98-9127351977, E-mail: m.doustan@scu.ac.ir

How to Cite: Salehi, F., Doustan, M., Saemi, E. Effect of Training with Transcranial Electrical Stimulation with Random Noise on Brain Waves and Temporal/Spatial Components in Learning a Perceptual-Motor Task. *Sports Psychology*, 2024; 16(1):1-29. In Persian.

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

انسان‌ها همواره به‌دنبال روش‌هایی جهت انجام هرچه بهتر حرکات خود هستند. در این بین مربیان رشته‌های مختلف ورزشی برای ارتقاء سطح عملکرد ورزشکاران و کاهش خطاهای حرکتی آن‌ها با چالش‌ها و مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو هستند. عوامل زیادی در افزایش خطاها و پیچیدگی فرایندهای حرکتی دخیل هستند از جمله این عوامل، تغییرپذیری و نویز در حرکات است (۱).

طی پژوهش‌های زیادی به‌خوبی نشان داد شده است که تغییرپذیری در عملکرد حرکتی با تمرین کاهش می‌یابد (۲)، اما هرگز کاملاً از بین نمی‌رود که بخشی از آن به‌دلیل نویز ذاتی حرکتی است (۳). نویز حسی حرکتی از نویز در درک یک هدف متحرک، نویز در اجرای یک حرکت و نویز در برنامه ریزی حرکت ناشی می‌شود (۴). اگرچه هدف این منابع تغییرپذیری یادگیری نیست، اما سیستم عصبی ممکن است بتواند از منابع دیگری به جز اکتشاف یاد بگیرد. به ویژه نویز برنامه‌ریزی ممکن است از آن آموخته شود (۵). تغییرپذیری حرکات، دقت در انجام یک تکلیف را محدود می‌کند. در واقع در حرکات، دقت ثابت اهمیت زیادی دارد؛ تا جایی که افرادی که می‌توانند با اطمینان توپ را با یک چوب در یک حفره قرار دهند، غالباً از نظر مالی پاداش خوبی می‌گیرند! با این حال، حتی این ورزشکاران ماهر نیز از نظر حرکتی، تغییرپذیری خاصی دارند. کاهش تغییرپذیری اغلب از نظر اصلاح خطا از یک کوشش به کوشش دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد (۲).

طبق فرضیهٔ کارایی روانی- حرکتی[۱]، اصلاح[۲] و تسهیل فرایندهای ارتباطی قشر[۳] مغز منجر به کاهش پیچیدگی فرایندهای حرکتی می‌شود که به‌نوبهٔ خود موجب کاهش تغییرپذیری، ممانعت از بروز عوامل غیرمرتبط با تکلیف (نظیر نویز) و سازگاری در عملکرد حرکتی می‌شود (۶). فرضیهٔ کارایی روانی- حرکتی عنوان می‌کند که پیشرفت در فرایندهای شناختی- حرکتی شامل مجموعه‌ای از ورودی‌های اصلاح شده برای تنظیم فرایندهای عصبی- حرکتی مرکزی در مغز است (۷، ۶). به‌طور خاص، مهارت حرکتی بیشتر در میان اجراکننده‌های باتجربه می‌تواند با سرکوب فرایندهای شناختی و حرکتی بی‌ربط به تکلیف (به‌عنوان‌مثال، کاهش نویز عصبی حرکتی) مشخص شود. طی مطالعاتی دربارهٔ این فرضیه، نشان داده شده است که افراد ماهر در کارهای مختلفی مانند ضربات گلف، تیراندازی، تیراندازی با کمان و پرتاب دارت، در مقایسه با ورزشکاران مبتدی، کاهشی (فرایندهای شناختی و حرکتی) در سرتاسر فعالیت قشر مغز دارند (۷-۹). تصمیم‌گیری در مورد زمان یک عمل یا به‌عبارتی زمانبندی حرکت یک جنبهٔ عمومی از رفتارهای ماهرانه است که در بسیاری از موقعیت‌های روزمره و حتی مهارت‌های ورزشی به‌عنوان عاملی مهم و حتی سرنوشت‌ساز تلقی می‌شود. به‌طوری‌که توجه پژوهشگران را حتی در علوم عصب‌شناختی جلب کرده است. تا جایی‌که مطالعات دارویی در سال‌های اخیر با ادبیاتی نوگرایانه پیرامون زمانبندی در حرکت، ناقل عصبی دوپامین را به‌عنوان عاملی موثر در تنظیم زمانبندی حرکات خودکار، دخیل می‌دانند (۱۰). الگوی فضایی (مکانی) حرکت حتی اگر با بالاترین کیفیت صورت گیرد، درصورتی‌که در زمان مناسب و با رعایت الگوی زمانی دقیق انجام نگیرد نتیجهٔ مناسبی در پی

نخواهد داشت. برای مثال ورزش‌هایی نظیر بیسبال را در نظر داشته باشید که ضربه‌زننده باید در کسری از ثانیه و با حداقل خطا در زمانبندی، به توپی که با سرعت به سمت وی می‌آید ضربه بزند. اهمیت دقت در زمانبندی جایی بیشتر خود را جلوه می‌دهد که فرد یا بازیکن در ضربات بعدی می‌بایست همان ضربهٔ موفق قبلی را با کمترین میزان تغییرپذیری زمانی و حتی مکانی، به توپ وارد کند.

تصحیح خطاهای زمانبندی بر اساس خطاهای قبلی یکی از مشخصه‌های یادگیری حرکتی است (۱۲، ۱۱). بسیاری از موقعیت‌های زندگی روزمره و مهارت‌های ورزشی مستلزم برنامه‌ریزی زمانی دقیق حرکات و اجرا با کمترین خطاهای زمانبندی هستند. با این‌حال، درک خطای زمانی واقعی ممکن است دشوار باشد. در چنین شرایطی افراد می‌توانند از سیگنال خطای درونی برای اصلاح در کوشش بعدی استفاده کنند (۱۳). خطاهای حرکتی یک وابستگی زنجیره‌وار به میزان اصلاح کوشش به کوشش دارند (۱۴) به‌طوری‌که اگر یکی تصحیح نشود، نه‌تنها خطاهای قبلی پابرجا خواهند ماند بلکه خطاهای برنامه‌ریزی قبلی نیز در کوشش‌ها جمع می‌شوند و باعث افزایش تغییرپذیری زمانی خواهند شد. در حرکات مداوم ریتمیک، اگر در زمانبندی یک حرکت، خطایی ایجاد شود از این خطا برای بهبود برنامه‌ریزی حرکت بعدی استفاده می‌شود. تفکیک خطاهای زمانبندی و مکانی همیشه دشوار است و افراد از خطاهای زمانی به‌جای خطاهای مکانی استفاده می‌کنند (۱۳).

در رابطه با تأثیر نویز در ایجاد خطاهای زمانی و مکانی می‌توان به این نکته اشاره کرد که هرچه عدم اطمینان درمورد خطای مکانی، بزرگتر باشد منجر به اصلاحات کوچکتر در حرکت می‌شود (۱۶، ۱۵). لذا از آن‌جایی که یادگیری مهارت با کاهش خطا و تغییرپذیری در رفتار مشخص می‌شود (۱۷)، بنابراین تمرین و سایر عوامل تأثیرگذار بر یادگیری حرکتی علاوه بر بهینه کردن تغییرپذیری در فرایند یادگیری، باید خطا، تغییرپذیری مکانی و زمانی را نیز کاهش دهند. چرا که عملکرد رفتاری به میزان تغییرپذیری در اجرا و حتی تغییرپذیری عصبی بستگی دارد که باید کاهش یابد (۲). به‌ویژه اینکه، تغییرپذیری در الگوی شلیک عصبی[۴] ممکن است در تغییرپذیری رفتاری، آشکار شود. تغییر در فعالیت عصبی در قشر حرکتی و پیش‌حرکتی، قبل از شروع حرکت که همراه با فراخوانی واحدهای حرکتی است تقریباً نیمی از تغییرپذیری در سرعت حرکت را می‌تواند تشکیل دهد (۱۶) و در واقع این خود نوعی ارتباط بین تغییرپذیری عصبی و تغییرپذیری رفتاری می‌باشد. بنابراین پژوهشگران به‌دنبال بررسی روش‌هایی جهت کاهش تغییرپذیری عصبی و در پی آن تنظیم رفتارهای حرکتی هستند. پژوهش‌های اخیر با رویکردهای مبتنی بر استفاده از روش‌های غیرتهاجمی مانند نوروفیدبک، تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم[۵] (tDCS) و تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان نویز تصادفی[۶] (tRNS) به بهبود برخی مؤلفه‌های حرکتی و عصبی مانند نویز روی آورده‌اند، تا بدین‌سان این روش‌های دقیق و تقریباً بدون عوارض جانبی را جایگزین دارو درمانی و روش‌های تمرین سنتی کنند. tRNS یک

روش جدید تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای[۷] (TES) است که باعث افزایش سطح پایدار تحریک‌پذیری قشر (۱۹،۱۷) و همچنین ایجاد تسهیل و قالب‌پذیری عصبی می‌شود (۱۸،۱۹). تحقیقات نشان می‌دهد کهtRNS ممکن است موثرترین روش تحریک الکتریکی مغز برای افزایش تحریک‌پذیری قشر مغز و در نتیجه ایجاد تغییرات رفتاری باشد (۲۰،۲۱). یک توضیح برای این اثر رفتاری تشدید تصادفی است، مکانیزمی که توضیح می‌دهد که چگونه پردازش سیگنال در سیستم‌های غیرخطی می‌تواند از نویز اضافه بهره ببرد (۲۲). مطالعات اخیر حاکی از مفید بودن tRNS و تأثیر آن در شکل‌گیری قالب‌پذیری و تسهیل در سطوح مختلف عصبی و به دنبال آن کاهش آستانهٔ تحریک‌پذیری نورون‌ها و تولید پتانسیل عمل راحت‌تر، سریع‌تر و بیشتر می‌شود (۱۷، ۲۳،۲۴).

روش‌های گوناگونی جهت افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی در راستای بهبود اجرا و عملکرد مهارت‌های حرکتی وجود دارد (۲۵). تحریک نورون‌های حرکتی در قشر مغز با استفاده از تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای یکی از این راهکارها می‌باشد. پژوهش فرتونانی (۲۶) نشان داده است tRNS در مقایسه با سایر روش‌های تحریک الکتریکی دارای قدرت تحریک‌پذیری بیشتری است. همچنین در پژوهش یاماگوچی و همکاران (۲۷) اثر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای باعث افزایش یادداری حرکتی، قالب‌پذیری عصبی طولانی‌مدتی در قشر حرکتی اندام تحت تکلیف و اصلاح میزان شلیک شده است. قشر حرکتی اولیه[۸] (M1) ناحیه‌ای از قشر حرکتی است که حرکات با کمترین میزان تحریک الکتریکی برانگیخته می‌شوند. نقطهٔ C3 (در نیمکرهٔ چپ) واقع در M1 یکی از سه بخش قشر حرکتی بوده و وظیفه تنظیم حرکات بدن را بر عهده دارد (۲۸). پژوهش‌ها نشان داده‌اند با تحریک این نقطه می‌توان شاهد عملکرد حرکتی دقیق اندام فوقانی بود (۲۹) نشان داده شده است که افزایش توان امواج بتا و SMR در این نقطه، نمایانگر سطح بالای یادگیری و پایین بودن عملکرد هوشیارانه است (۳۰). لذا با اندازه‌گیری این امواج در طی جلسات تمرینی می‌توان روند بهبود حرکتی ناشی‌شده از تحریک الکتریکی را به‌خوبی گزارش داد.

موفقیت تکلیف در مطالعات یادگیری حرکتی عمدتاً با پارامترهای عملکردی مانند دقت اندازه‌گیری می‌شود (۳۱،۳۲) این مولفه در بسیاری از ورزش‌ها نظیر گلف، دارت، تنیس روی میز و سایر رشته‌ها اساسی و تعیین‌کننده است. لذا کنترل عواملی مانند فرایندهای نویزدار(۳۳، ۱۵)، تغییرپذیری در حرکات و حتی منابع خطا که دقت حرکتی را محدود می‌کنند می‌تواند نقشی اساسی در کنترل، اجرای ماهرانه و اصلاح حرکات (به‌ویژه در حرکات هدفمند) ایفا کند (۳۴) و لذا برای درمانگران و مربیان ورزشی یک راهکار نوین و بسیار به‌صرفه می‌باشد که می‌تواند از هدر رفت زمان برای این افراد جلوگیری کند.

با توجه به ابهامات پژوهشی دربارهٔ نقش نویز عصبی بر عملکرد ادراکی- حرکتی و نیز نقش اساسی قالب‌پذیری و انعطاف‌پذیری قشر حرکتی اولیه در یادگیری و بهبود مهارت‌های ورزشی و سایر عملکردهای ماهرانه مانند نوازندگی که نیازمند تنظیم الگوهای زمانبندی و مکانی و کاهش تغییرپذیری در اجرای حرکت هستند، و حتی

کمک به بیماران مبتلا به اختلالات تخریب عصبی، پژوهش حاضر به بررسی آثار ترکیب tRNS همراه با تمرین می‌پردازد تا اثرات آن را بر پایداری در یادگیری یا به عبارتی ایجاد تسهیل و قالب‌پذیری قشر حرکتی اولیه و بهبود خطاهای فضایی و زمانی حرکت بسنجد.

روش پژوهش

این پژوهش به لحاظ شیوهٔ اجرا از نوع پژوهش‌های نیمه‌تجربی و از لحاظ هدف از نوع پژوهش‌های بنیادی بود. همچنین طرح پژوهش مبتنی بر پیش‌آزمون-پس‌آزمون بود.

نمونه های پژوهش

شرکت‌کنندگان ۳۰ نفر دانشجوی پسر سالم بودند که این تعداد با توجه به پیشینه‌های پژوهشی (۳۵، ۳۲) در نظر گرفته شد. این افراد در سال تحصیلی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مقطع کارشناسی تربیت‌بدنی دانشگاه شهید چمران درحال تحصیل بودند که به‌صورت در دسترس، انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی در سه گروه گنجانده شدند: گروه اول تمرین همراه با دریافت tRNS، گروه دوم تمرین همراه با دریافت tRNS ساختگی (شم) و گروه سوم تمرین ترسیم دایره که هیچ‌گونه تحریکی نداشتند. افراد در هشت جلسه (شامل پیش‌آزمون، مداخله و پس‌آزمون) یک‌روز در میان، در پژوهش شرکت کردند. انتخاب جنسیت شرکت‌کنندگان به‌دلیل محدودیت‌ها نبوده و کاملاً بر اساس پیشینهٔ پژوهشی صورت گرفته است. چرا که پژوهش‌های اسمیت و همکاران (۳۷، ۳۶)، اینگیلری و همکاران (۳۸) و سال و همکاران (۴۰) تأثیر هورمون‌های تخمدان بر عملکرد تکلیف و تحریک مغناطیسی از طریق جمجمه را نشان داده‌اند. در واقع، این مطالعات بیان کرده‌اند که تحریک‌پذیری قشر در زنان و مردان فقط در مرحلهٔ فولیکولار چرخهٔ قاعدگی هنگامی که سطح پروژسترون کم و سطح استروژن زیاد می‌باشد یکسان و مشابه است.

معیارهای ورود به پژوهش و معیارهای خروج:

افراد باید در محدودهٔ سنی ۱۹ الی ۳۰ سال می‌بودند. داشتن توانایی جسمی کافی جهت انجام تکلیف حرکتی، برخورداری از توانایی بینایی خوب یا تعدیل‌شده (عینک یا لنز طبی)، نداشتن هرگونه عارضه یا مشکل حرکتی که مانع از انجام تکلیف پژوهش می‌شد، بیماری یا سوء مصرف مواد مخدر، داشتن کاشت فلزی/ دستگاه‌های الکتریکی نزدیک محل تحریک الکتریکی بودند، عدم مصرف سیگار نیز در ۲۴ ساعت منتهی به تکلیف، نداشتن مصرف دارویی را که بر سیستم عصبی مرکزی تأثیر بگذارد و نداشتن سابقهٔ بیماری عصبی و روانی ملاک‌های ورود به پژوهش بودند که پیش از انجام پژوهش با مصاحبه بررسی می‌شد.

هرگونه بیماری درحین انجام جلسات که انجام تکلیف را دشوار کند و عدم حضور مرتب در جلسات نیز باعث حذف شرکت‌کننده می‌گردید. به همین دلیل یک نفر از گروه دوم از مطالعه کنار گذاشته شد. همچنین یک نفر از گروه سوم به‌دلیل مصرف زیاد سیگار در حین استراحت بین بلوک‌ها از پژوهش حذف شد.

ابزار گردآوری داده‌ها

صفحهٔ حسگر لمسی و قلم نوری:

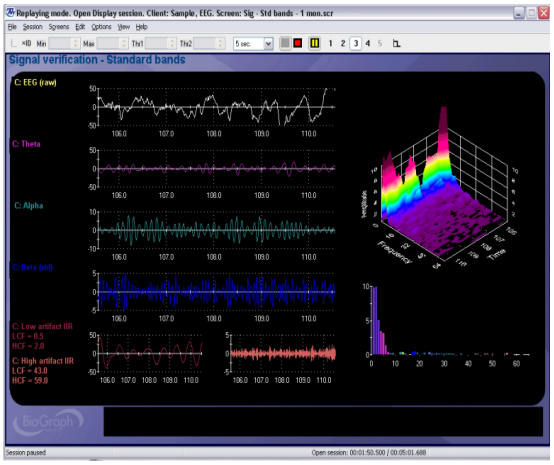
ابزار به‌کار رفته در تکلیف شامل سه صفحهٔ حسگر لمسی و سه قلم نوری با نشان جینیوس[۹] بود (شکل ۱ سمت راست). صفحهٔ حسگر لمسی دارای دقت ۱۰۰ آرپی‌اس و ۲۵۶۰ ال‌پی‌آی بوده و قابلیت اتصال از طریق کابل و پورت USB به یک دستگاه کامپیوتر یا لپتاپ را داشت. دستگاه لپ‌تاپ استفاده شده برند ایسوز X455L بود. این ابزار قابلیت پشتیبانی از سیستم عامل‌های ویندوز ۷، ویندوز ۸، ویندوز ۱۰، ویندوز ایکس‌پی و ویندوز ویستا ۳ را دارا بود. سه قلم نوری ایکس 608 آی[۱۰] با برند جنیوس و با ابعاد ۵۲۸ × ۴۵۰ × ۱۷۵ میلی‌متر و نوع اتصال بیسیم در پژوهش حاضر استفاده شدند.

میزان حساسیت فشار قلم ۱۰۲۴ سطح و نوع باتری مورد استفادهٔ آن گیگا بود. این ابزار (شکل ۱) برای اندازه‌گیری سرعت و دقت آزمودنی به‌کار می‌رود و زمان تخمین سرعت را با دقت ۰/۰۰۱ ثانیه اندازه‌گیری می‌کند. همچنین یک نرم‌افزار رقمی‌کننده که تعداد نقاط ترسیم‌شده روی محیط دایره و خارج از محیط دایره را برحسب پیکسل تبدیل به اعداد قابل تحلیل می‌کرد، از دیگر ابزارهای مورد استفاده در این پژوهش بود. نرم‌افزار این دستگاه در مواردی که نیاز به اندازه‌گیری شمارش تعداد خطا باشد، قابل استفاده است. آزمایش‌های روانی حرکتی از قبیل: دقت مسیر، آهنگ فردی، هماهنگی چشم و دست، یادگیری از طریق کوشش و خطا و همچنین سطوح مختلف دشواری تکلیف با این ابزار قابل سنجش است. پایایی دستگاه و نرم‌افزار با استفاده از روش آزمون – بازآزمون برابر با ۰/۸۹ به دست آمد (۴۱).

شکل ۱. سمت راست: قلم نوری و پد لمسی. سمت چپ: بخش سخت‌افزار دستگاه نوروفیدبک پروکامپ پنج

ثبت الکتروانسفالوگرافی:

ابزار مورداستفادهٔ این پژوهش در انجام ثبت مقادیر فعالیت مغزی پایه، دستگاه نوروفیدبک ۵ کاناله (شکل ۱ سمت چپ) بود که شامل بخش سخت‌افزاری دستگاه پروکامپ پنج اینفینیتی[۱۱] و بخش نرم‌افزار بایوگراف اینفینیتی[۱۲] (شکل ۲) هر دو ساخت کانادا استفاده شده بود. با استفاده از الکترودهایی که در سطح سر قرار می‌گرفتند فعالیت الکتریکی قشر مغز را اندازه‌گیری شد. سطح سر را با محلول الکلی یا یک ژل الکتریکی رسانا تمیز کردیم تا امپدانس پوست کاهش یابد سپس برای ثبت امواج مغزی با استفاده از چسب تن- بیست، الکترود فعال (آبی رنگ) را روی نقطه‌ی C3 و الکترود گراند (مشکی رنگ) را به گوش راست و الکترود مرجع (زرد رنگ) را به گوش چپ متصل کردیم.



شکل ۲: بخش نرم افزاری دستگاه نوروفیدبک

دستگاه تحریک جریان الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای:

تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با استفاده از دستگاه دارای دو کانال کاملا مجزا Neurostim2 (شکل ۳) ساخت کشور ایران، محصول شرکت مدیناطب‌گستر و با استفاده از الگوی نویز تصادفی tRNS و با الکترودهای کربنی قرمز رنگ برای الکترود آند (بر روی سر) و الکترود کربنی سفید (بر روی شانه) برای الکترود کاتد صورت گرفت. پدهای مخصوص هر الکترود در محلول نمک (سرم شستشو سدیم کلرید ۹ درصد) مرطوب شدند تا همان‌گونه که آنتال و هرمان (۴۲) و موناسترو و همکاران (۴۳) در پژوهش‌های خود بیان نموده‌اند، مقاومت ظاهری (امپدانس) را به حداقل برسانند و سپس بر روی سر و شانه قرار گیرند.

شکل ۳. دستگاه تحریک الکتریکی نورو استیم ۲

شکل ۴: نحوه اجرای حرکت ترسیم دایره

تکلیف حرکتی:

تنظیمات و راه‌اندازی تکلیف، شبیه به آنچه در کوهن و همکاران (۴۶) استفاده شد، می‌باشد و به‌طور خلاصه در اینجا آمده است. به شرکت‌کنندگان یک الگوی دایره‌ای

توسط آزمونگر ارائه شد که بر روی یک صفحه نمایش لپ‌تاپی که به‌صورت عمودی در مقابل آن‌ها قرار گرفته بود (شکل ۴). یک چهارپایهٔ مقوایی سیاه‌رنگ روی دست راست شرکت‌کنندگان قرار می‌گرفت و دید دست را مسدود می‌کرد. روی الگوی یک دایره به شعاع ۲۰۰ پیکسل معادل ۵/۲۹۱ سانتی‌متر هرکدام از شرکت‌کنندگان در هر بلوک تمرینی ۱۰ کوشش را انجام دادند. هر جلسهٔ تمرینی ترسیم دایره شامل ۵ بلوک بود. به شرکت‌کنندگان گفته شد تا ترسیم ۲۰ دایره در هر کوشش را با استفاده از صفحهٔ لمسی و قلم نوری درحالی که بدون حرکت مچ و بازو یا آرنج، نشسته بودند اجرا کنند، به‌گونه‌ای که تنها تماس با تبلت باید از طریق قلم برقرار می‌شد. به افراد گفته شد تا ترسیم دایره‌ها را در خلاف جهت عقربه‌های ساعت تا حد امکان سریع و دقیق انجام دهند. قبل از شروع تکلیف، از هر یک از شرکت‌کنندگان پرسیده‌شد که آیا دستورالعمل‌ها را متوجه شده‌اند یا خیر. در حین اجرا، موقعیت مکان‌نما (نشانگر موقعیت نوک قلم) قابل‌مشاهده بود. هنگامی که ۲۰ دایره ترسیم می‌شد، یک کوشش به‌طور خودکار پایان می‌یافت. خروجی‌های ابزار علاوه بر تعداد دوایر، شامل تعداد کل نقاط ترسیم شده در فضای کار (برحسب پیکسل)، تعداد نقاط قابل‌قبول (نقاط ترسیم‌شده بر روی محیط دایره) (برحسب پیکسل)، درصد قابل قبول، مدت ترسیم (بر حسب میلی‌ثانیه)، سرعت ترسیم برای هرکدام از تک‌تک ۲۰ دایره در هر کوشش و میانگین همین متغیرها برای هر کوشش (بر حسب میلی‌ثانیه) بود.

روش اجرا

مکان انجام پژوهش حاضر، آزمایشگاه رفتار حرکتی دانشکدهٔ تربیت‌بدنی و علوم ورزشی دانشگاه شهید چمران اهواز بود. افراد پس از تعیین دست برتر بر اساس پرسشنامهٔ دست برتری ادینبورگ (تایید راست‌دست بودن) در گروه‌های سه‌گانه گنجانده شدند و پس از فراگرفتن آموزش‌های اولیه دربارهٔ دستگاه‌ها و تکلیف پژوهشی، رضایت‌نامه شرکت در پژوهش را تکمیل کردند. همچنین فرم‌های مربوط به مشخصات فردی را کامل نمودند. جلسات اکتساب در شش جلسه یک‌روز در میان انجام گرفت و پیش‌آزمون و پس‌آزمون نیز از افراد به‌عمل آمد. در طی پژوهش، سه بار از افراد ثبت امواج مغزی به عمل آمد تا تغییرات امواج مغزی افراد را در طول جلسات بسنجیم. به‌این‌صورت که در ابتدای جلسات پیش‌آزمون، روز چهارم مداخله و جلسهٔ پس‌آزمون از آزمودنی‌ها ثبت امواج مغزی به‌عمل آمد. در ثبت مقادیر فعالیت مغزی پایه، مشاهده نشدن معناداری در سطوح فعالیت مغزی و توان مطلق امواج SMR و بتا در حالت استراحت و پیش از شروع فرایند آزمون‌گیری در بین سطوح سه‌گانه، نشان‌دهندهٔ یکسان بودن فعالیت مغزی پایه در روزهای آزمون‌گیری است و تغییرات محتملی که در مقادیر فعالیت مغزی و توان مطلق امواج SMR و بتا هنگام اجرای آزمون‌ها در روزهای متفاوت مشاهده خواهد شد، احتمالاً به‌دلیل به‌کارگیری مداخله‌های ذکر شده در پژوهش هستند، نه تغییرات فعالیت مغزی پایهٔ آزمودنی‌ها در روزهای متفاوت.

گفتنی‌ست به آزمودنی‌ها گفته شد که در روزهای آزمون‌گیری، با سری تمیز در آزمایشگاه حاضر شوند و حداقل دو ساعت قبل از مراجعه به آزمایشگاه از مصرف

نوشیدنی‌های کافئینی و الکلی خودداری کنند. همچنین، در مدت ثبت امواج مغزی از پلک‌زدن، انقباض عضلات گردن و صورت، فشردن چشم‌ها و دندان‌ها به یکدیگر خودداری می‌کردند.

مرحلهٔ پیش‌آزمون

در روز پیش‌آزمون ابتدا در هرسه گروه برای بررسی فعالیت مغزی پایه (توان مطلق امواج SMR و بتا) و پیش‌فرض در حالت استراحت و نشسته روی صندلی، قبل از شروع فرایند آزمایشگاهی با استفاده از ثبت الکتروانسفالوگرافی و توسط دستگاه نوروفیدبک گرفته شد. به‌این‌صورت که ۳ دقیقه با چشم باز و ۳ دقیقه با چشم بسته از افراد ثبت امواج مغزی به عمل آمد. افراد در روز پیش‌آزمون بعد از ثبت پایهٔ امواج مغزی یک بلوک ۱۰ کوششی تکلیف موردنظر را بدون دریافت هیچ‌گونه دستورالعملی، اجرا کردند. تحریک الکتریکی در مرحله‌ی پیش‌آزمون بصورت ساختگی انجام گرفت.

مرحلهٔ مداخله

مرحلهٔ مداخله برای گروه اول شامل ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی واقعی بود. بدین‌صورت که با استفاده از سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ نقطهٔ C3 واقع در قشر حرکتی اولیه (M1) که یکی از مناطق کلیدی درگیر در فرایند یادگیری حرکتی (۵۹) است را مشابه پژوهش فرتونانی و همکاران (۴۵) با پدهای دستگاه تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای به مدت ۲۰ دقیقه با فرکانس ۱۰۰ تا ۶۴۰ هرتز و با شدت ۲ میلی‌آمپر تحریک شد. افراد پس از دریافت تحریک الکتریکی، ۲۵ دقیقه استراحت کردند سپس به اجرای تکلیف ادراکی‌حرکتی پرداختند. هر جلسهٔ مداخله شامل ۵ بلوک بود. همهٔ کوشش‌ها با دست برتر (راست) انجام گرفت. خروجی رفتاری به‌صورت عددی از صفحهٔ قلم نوری و پد لمسی ثبت گردید. در پژوهش حاضر تعداد نقاط رسم‌شده، تعداد نقاط قابل‌قبول (نقاط ترسیم شده بر روی محیط دایره) بودند و سرعت (پیکسل بر میلی‌ثانیه) هر دور محاسبه شد. این ارزیابی‌ها در هر سه گروه انجام گرفت تا روند تغییرات خطاهای فضایی و زمانی در تکالیف مداوم، ارزیابی شده و مورد مقایسه قرار گیرد.

مرحلهٔ مداخله برای گروه دوم شامل ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی ساختگی بود. بدین‌صورت نقطهٔ C3 را با پدهای دستگاه tRNS به مدت ۲۰ دقیقه با فرکانس ۱۰۰ تا ۶۴۰ هرتز و با شدت ۲ میلی‌آمپر به‌صورت ساختگی تحریک کردیم. دستورالعمل تحریک ساختگی همانند پژوهش فرتونانی و همکاران (۴۷) و موناسترو و همکاران (۴۵) به این صورت بود که فقط ۳۰ ثانیهٔ اول، تحریک صورت گرفت و در ادامهٔ مدت تحریکی اعمال نگردید. افراد پس از دریافت تحریک ساختگی، ۲۵ دقیقه استراحت کردند سپس همانند گروه اول به اجرای تکلیف ادراکی‌حرکتی یادشده پرداختند.

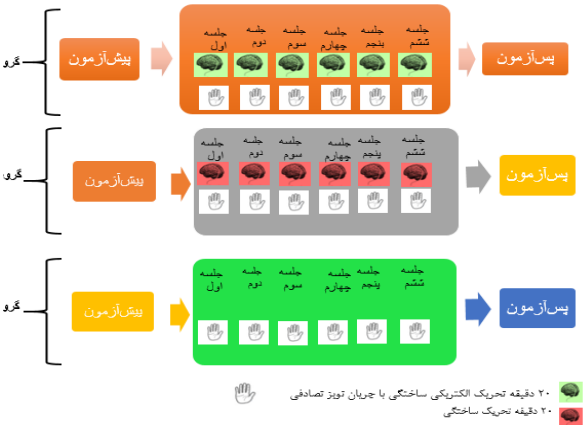
مرحلهٔ مداخله برای گروه سوم، تنها شامل اجرای پنج بلوک انجام تکلیف ادراکی‌حرکتی در هر جلسهٔ تمرینی بود، بدون اینکه هیچ تحریک الکتریکی دریافت کنند. هدف از ایجاد این گروه، بررسی نقش مهم و سودمند تمرین در مقایسه با tRNS بود همان‌گونه که کلاسن، لیپرت، وایز و همکاران (۴۶) نقش تمرین را در ایجاد قالب‌پذیری مداوم و تقویت الگوهای اتصال شبکهٔ عصبی در قشر حرکتی سنجیدند.

مرحلهٔ پس‌آزمون

در روز پس‌آزمون، همانند پیش‌آزمون ابتدا از هرسه گروه پیش از شروع فرایند آزمایشگاهی، ۳ دقیقه با چشم باز و ۳ دقیقه با چشم بسته از افراد ثبت امواج مغزی به‌عمل آمد. افراد در روز پس‌آزمون پس از ثبت پایهٔ امواج مغزی، یک بلوک ۱۰ کوششی تکلیف موردنظر را بدون دریافت هیچ‌گونه دستورالعملی، اجرا کردند.

تحلیل آماری

برای تحلیل‌های آماری، پس از جمع‌آوری اطلاعات برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های آمار توصیفی مانند فراوانی، میانگین، انحراف معیار استفاده شد. همچنین آزمون شاپیرو- ویلک برای طبیعی بودن توزیع داده‌ها به‌عمل آمد. از روش‌های آمار استنباطی پارامتریک نظیر تحلیل واریانس یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های مکرر و آزمون پیگردی بونفرونی استفاده شده است. نیز از آزمون‌های کراسکال والیس و فریدمن استفاده شد. سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.



شکل ۵: طرح شماتیک پژوهش

ملاحظات اخلاقی

پژوهش حاضر پس از اخذ کد اخلاق با شناسهٔ EE/1401.2.24.221896/scu.ac.ir و زیر نظر متخصصین مربوطه و در آزمایشگاه رفتار حرکتی و روانشناسی ورزشی دانشکده علوم ورزشی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است.

یافته‌ها

امواج مغزی

ابتدا به بررسی تاثیر تمرین همراه با تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی بر امواج SMR با چشم باز و بسته در نقطهٔ C3 مراحل تمرین پرداخته شد. نتایج آزمون شاپیرو- ویلک در مورد امواج نشان داد که در هرسه گروه و در همه مراحل داده‌های مربوط به امواج مغزی دارای توزیع طبیعی هستند. نتایج آزمون شاپیروویلک برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌های مربوط به مؤلفه‌های فضایی و زمانی حرکت نشان داد که داده‌های مربوط به این مؤلفه از توزیع طبیعی برخوردار نیستند؛ بنابراین از آزمون‌های ناپارامتریک کراسکال والیس و فریدمن در مورد استفاده شد. بنابراین در مورد امواج مغزی مؤلفه‌های فضایی و زمانی از آزمون تحلیل واریانس با اندازگیری‌های تکراری درون و بین‌گروهی ۳×۳ استفاده شد که نتایج در جدول ۱ آمده است. همچنین آزمون باکس برای بررسی برابری ماتریس کوواریانس و آزمون لون برای بررسی تجانس واریانس‌ها به عمل آمد که هردو مورد تایید قرار گرفت.

جدول ۱. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازگیری‌های تکراری برای بررسی تفاوت امواج SMR و بتا با چشم باز بین روز ۱، ۵ و ۸ در سه گروه

موج و شرایط Wave & State	منبع تغییرات Resource of change	مجموع مجذورات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مجذورات Mean of Squares	F	سطح معنی‌داری P	مجذور اتا Eta square
SMR با چشم باز	آزمون	۱۰/۲۹۷	۲	۵/۱۴۹	۲۴/۸۱۳	۰/۰۰۱	۰/۴۷۹
	آزمون * گروه	۱۱/۸۰۲	۴	۲/۹۵۱	۱۴/۲۲۰	۰/۰۰۱	۰/۵۱۳
SMR با چشم بسته	آزمون	۷/۹۶۸	۲	۳/۹۸۴	۱۳/۳۶۴	۰/۰۰۱	۰/۳۳۱
	آزمون * گروه	۷/۹۶۱	۴	۱/۹۹۰	۶/۶۷۶	۰/۰۰۱	۰/۳۳۱
موج بتا با چشم باز	آزمون	۱۵/۸۴۰	۲	۷/۹۲۰	۲۴/۶۸۶	۰/۰۰۱	۰/۴۷۸
	آزمون * گروه	۸/۶۸۶	۴	۲/۱۷۲	۶/۷۶۹	۰/۰۰۱	۰/۳۳۴
موج بتا با چشم بسته	آزمون	۷/۹۷۸	۱/۵۸۳	۵/۰۴۱	۱۳/۲۴۰	۰/۰۰۱	۰/۳۲۹
	آزمون * گروه	۸/۵۱۲	۳/۱۶۵	۲/۶۸۹	۷/۰۶۳	۰/۰۰۱	۰/۳۴۳

جدول ۲. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازگیری‌های تکراری برای هرکدام از گروه‌ها برای بررسی تفاوت موج SMR و بتا با چشم باز و بسته بین روزهای ۱، ۵ و ۸

گروه Group	شرایط State	چشم باز Open Eye			چشم بسته Close Eye		
	موج Wave	F	P	اندازه اثر Eta square	F	P	اندازه اثر Eta square
تمرین همراه با tRNS	SMR	۲۹/۵۱۲	۰/۰۰۱	۰/۷۶۶	۱۱/۰۳۴	۰/۰۰۱	۰/۵۵۱
	بتا	۱۷/۶۲۴	۰/۰۰۱	۰/۶۶۲	۱۴/۵۷۶	۰/۰۰۱	۰/۶۱۸
تمرین همراه با tRNS ساختگی	SMR	۲/۲۰۶	۰/۱۳۹	۰/۱۹۷	۵/۵۲۵	۰/۰۱۳	۰/۳۸۰
	بتا	۳/۲۴۸	۰/۰۶۲	۰/۲۶۵	۱/۲۴۸	۰/۳۱۱	۰/۱۲۲
تمرین بدون tRNS	SMR	۲/۲۰۶	۰/۱۳۹	۰/۱۹۷	۲/۲۰۶	۰/۱۳۹	۰/۱۹۷
	بتا	۲/۲۰۶	۰/۱۳۹	۰/۱۹۷	۲/۲۰۶	۰/۱۳۹	۰/۱۹۷

یافته‌ها نشان داد که اثر آزمون (تمرین همراه با تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی) بر موج SMR با چشم باز و بسته معنادار است (P=۰/۰۰۱، η^2=۰/۴۷۹، F=۲۴/۸۱۳ و P=۰/۰۰۱، η^2=۰/۳۳۱، F=۱۳/۳۶۴). بدین معنا که در مجموعهٔ سه گروه بر موج SMR با چشم باز و بسته طی بلوک‌های اول روزهای تمرینی تأثیر داشته است. به‌طوری که میانگین توان موج SMR با چشم باز در بلوک اول روزهای ۱، ۵ و ۸ به‌ترتیب ۳/۹۵۸، ۴/۰۱۵ و ۴/۷۰۳ و با چشم بسته ۵/۱۵۷، ۵/۱۰۱ و ۵/۷۵۹ به‌دست آمد. آزمون‌های پیگردی نشان داد که در هردو شرایط بین بلوک اول روزهای اول با پنجم (P=۰/۰۰۱) و اول با هشتم (P=۰/۰۱۰) تفاوت وجود دارد. اثر آزمون در گروه نیز بر توان موج SMR با چشم باز و بسته معنادار شد (به‌ترتیب η^2=۰/۵۱۳، sig=۰/۰۰۱، F=۱۴/۲۲۰ و η^2 =۰/۳۳۱، P=۰/۰۰۱، F=۶/۶۷۶). بدین معنا که بین اثر تمرینات سه گروه مختلف تفاوت معناداری وجود دارد. برای یافتن جایگاه تفاوت‌ها از آزمون آنووای یک‌راهه استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که بین سه گروه در بلوک اول روز اول توان موج SMR هم با چشم باز و هم با چشم بسته تفاوت معناداری وجود ندارد (P=۰/۸۸۶، F=۰/۱۲۱ و P=۰/۲۵۷، F=۱/۴۲۸). ولی در بلوک اول روزهای پنجم و هشتم تفاوت معناداری وجود دارد (به‌ترتیب برای چشم باز sig=۰/۰۰۱، F=۹/۸۹۱ و P=۰/۰۰۱، F=۲۵/۸۹۴ و برای چشم بسته P=۰/۰۰۱، F=۱۶/۵۷۰ و P=۰/۰۰۱، F=۲۱/۴۵۹). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که در روز پنجم بین گروه اول با گروه دوم تفاوت معناداری وجود دارد (P=۰/۰۰۱)؛ توان موج SMR در روز پنجم در گروه اول، دوم و سوم با چشم باز به‌ترتیب ۴/۶۵۷، ۳/۴۵۶ و ۳/۹۳۲ و با چشم بسته به‌ترتیب ۶/۱۳۷، ۴/۲۳۴ و ۴/۹۳۲ بود.. در روز هشتم بین گروه اول با دو گروه دیگر تفاوت معناداری وجود داشت (به‌ترتیب P=۰/۰۰۱ و P=۰/۰۰۱). به‌طوری‌که مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهد که در گروه اول توان موج SMR با چشم باز و بسته بیشتر از دو گروه دیگر شده است (در گروه اول، دوم و سوم با چشم باز به‌ترتیب ۶/۰۰۲، ۳/۹۰۳ و ۴/۲۰۲ و با چشم بسته در گروه اول، دوم و سوم به ترتیب ۷/۰۸۷، ۵/۰۸۶ و ۵/۱۰۲ بود).

برای بررسی‌های دقیق‌تر در هر گروه آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی به‌عمل آمد. یافته‌ها نشان داد که در گروه اول بین بلوک‌های اول روزهای مختلف در توان موج SMR با چشم باز و بسته تفاوت معناداری وجود دارد (P=۰/۰۰۱، η^2=۰/۷۶۶، F=۲۹/۵۱۲ و η^2=۰/۵۵۱، P=۰/۰۰۱، F=۱۱/۰۳۱). آزمون‌های پیگردی بونفرونی نشان داد که در هردو شرایط بین روزهای اول با پنجم، پنجم با هشتم تفاوت معناداری وجود دارد (چشم باز به‌ترتیب p=۰/۰۰۱ و p=۰/۰۰۴ و چشم بسته به‌ترتیب p=۰/۰۰۹ و p=۰/۰۱۱). در گروه دوم و سوم بین روزهای مختلف در توان موج SMR با چشم باز تفاوت معناداری وجود نداشت (به‌ترتیب η^2=۰/۱۹۷، P=۰/۱۳۹، F=۲/۲۰۶ و η^2=۰/۱۹۷، P=۰/۱۳۹، F=۲/۲۰۶). ولی با چشم بسته در گروه دوم بین روزهای مختلف در توان موج SMR با چشم بسته تفاوت معناداری وجود داشت (η^2=۰/۳۸۰، P=۰/۰۱۳، F=۵/۵۲۵). در گروه سوم بین روزهای مختلف در توان

موج SMR با چشم باز تفاوت معناداری وجود نداشت (F=۲/۲۰۶، P=۰/۱۳۹، η^2=۰/۱۹۷).

همچنین اثر تمرین بر موج بتا با چشم باز و بسته معنادار شد (به‌ترتیب F=۲۴/۶۸۶، P=۰/۰۰۱، η^2=۰/۴۷۸ و F=۱۳/۲۴۰، P=۰/۰۰۱، η^2 =۰/۳۲۹). بدین معنا که تمرین در مجموعهٔ سه گروه بر موج بتا با چشم باز و بسته طی روزهای تمرینی تأثیر داشته است. به‌طوری که میانگین توان موج بتا با چشم باز در روزهای ۱، ۵ و ۸ به‌ترتیب ۵/۷۰۵، ۶/۰۸۲ و ۶/۷۲۱ و با چشم بسته به‌ترتیب ۶/۹۵۸، ۷/۱۸۴ و ۷/۶۷۲ به‌دست آمد. آزمون‌های پیگردی نشان داد که بین روزهای اول با پنجم (هردو P=۰/۰۰۱) و اول با هشتم (چشم باز P=۰/۰۰۴ و چشم بسته P=۰/۰۰۱) تفاوت وجود دارد. اثر تمرین در گروه بر توان موج بتا با چشم باز نیز معنادار شد (F=۶/۷۶۹، P=۰/۰۰۱، η^2=۰/۳۳۴ و F=۷/۰۶۳، P=۰/۰۰۱، η^2=۰/۳۴۳). بدین معنا که بین اثر تمرینات سه گروه مختلف بر توان موج بتا با چشم باز و بسته تفاوت معناداری وجود دارد. برای یافتن جایگاه تفاوت‌ها از آزمون آنووای یک‌راهه استفاده شد. نتایج نشان داد که بین سه گروه در روز پنجم توان موج بتا با چشم باز تفاوت معناداری وجود ندارد (P=۰/۱۳۵، F=۲/۱۶۱). ولی در روزهای اول و هشتم تفاوت معناداری بین گروه‌ها وجود داشت (به‌ترتیب P=۰/۰۴۸، F=۳/۴۰۹ و P=۰/۰۰۱، F=۲۱/۸۰۷). توان موج بتا با چشم باز در بلوک اول روز هشتم در گروه اول، دوم و سوم به ترتیب ۸/۰۳۸، ۵/۹۴۹ و ۶/۱۷۸ بود.

همچنین برای بررسی‌های دقیق‌تر در هر گروه آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی به‌عمل آمد. یافته‌ها نشان داد که در گروه اول بین روزهای مختلف در توان موج بتا با چشم باز تفاوت معناداری وجود دارد (F=۱۷/۶۲۴، P=۰/۰۰۱، η^2=۰/۶۶۲). آزمون‌های پیگردی بونفرونی نشان داد که بین روزهای اول با هشتم و پنجم با هشتم تفاوت معناداری وجود دارد (به‌ترتیب p=۰/۰۰۱ و p=۰/۰۰۵). در گروه دوم بین روزهای مختلف در توان موج بتا با چشم باز تفاوت معناداری وجود نداشت (F=۳/۲۴۸، P=۰/۰۶۲، η^2 =۰/۲۶۵). در گروه سوم نیز بین روزهای مختلف در توان موج بتا با چشم باز تفاوت معناداری وجود نداشت (P=۰/۱۳۹، η^2 =۰/۱۹۷، F=۲/۲۰۶).

در توان موج بتا با چشم بسته در روز اول بین سه گروه تفاوت معناداری وجود نداشت (P=۰/۲۳۶، F=۱/۵۲۴). ولی در روزهای پنجم و هشتم تفاوت معناداری وجود داشت (به‌ترتیب P=۰/۰۳۷، F=۳/۷۲۸ و P=۰/۰۰۱، F=۲۰/۹۱۹). آزمون پیگردی بونفرونی نشان داد که در روز پنجم بین گروه‌ها تفاوت معناداری نیست. ولی در روز هشتم بین گروه اول با گروه دوم و سوم تفاوت معناداری وجود دارد (p=۰/۰۰۱ و p=۰/۰۰۱)؛ توان موج بتا با چشم بسته در روز هشتم در گروه اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۹/۰۱۷، ۶/۹۰۹ و ۷/۰۸۹ بود. همچنین برای بررسی‌های دقیق‌تر در هر گروه آزمون تحلیل واریانس درون‌گروهی به‌عمل آمد. یافته‌ها نشان داد که در گروه اول بین روزهای مختلف در توان موج بتا با چشم بسته تفاوت معناداری وجود دارد (F=۱۴/۵۷۶، P=۰/۰۰۱، η^2=۰/۶۱۸). آزمون‌های پیگردی بونفرونی نشان داد که بین روزهای اول با هشتم و پنجم با هشتم تفاوت معناداری وجود دارد (به‌ترتیب p=۰/۰۰۶ و p=۰/۰۰۸).

توان موج بتا به ترتیب روز اول، پنجم و هشتم ۷/۳۵۳، ۷/۷۷۴ و ۹/۰۱۷ بود. در گروه دوم بین روزهای مختلف تفاوت معناداری وجود نداشت (η=۰/۱۲۲،^{۲} P=۰/۳۱۱، F=۱/۲۴۸). در گروه سوم نیز بین روزهای مختلف تفاوت معناداری وجود نداشت (η=۰/۱۹۷،^{۲} P=۰/۱۳۹، F=۲/۲۰۶).

مؤلفه‌های فضایی و زمانی اجرای حرکت

برای بررسی تاثیر تمرین همراه با تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی بر اجرای تکلیف ادراکی-حرکتی در کوشش‌های اکتساب از دو متغیر نقاط قابل قبول در ترسیم دایره و نیز میانگین زمان اجرای حرکت استفاده شد. نتایج آزمون شاپیروویلک برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌های مربوط به نقاط قابل قبول و نیز زمان اجرای حرکت نشان داد که داده‌های مربوط به این مؤلفه از توزیع طبیعی برخوردار نیستند؛ بنابراین از آزمون‌های ناپارامتریک کراسکال والیس و فریدمن استفاده شد. همان طور که نتایج آزمون فریدمن (جدول ۳) نشان می‌دهد بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در نقاط قابل قبول تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P=۰/۰۰۱، K^2=۶۶/۷۵۱). مقایسات توصیفی (نیمه راست جدول ۴) نشان می‌دهد که بالاترین میانگین رتبه‌ای در نقاط قابل قبول مربوط به روز پنجم تمرین و پس‌آزمون (میانگین نقاط قابل قبول ۱۲۲/۱۵ و ۱۴۴/۰۰) و کمترین نقاط قابل قبول مربوط به روز اول تمرین و پیش‌آزمون (میانگین نقاط قابل قبول ۶۹/۸۵ و ۸۶/۵۸) است.

همان‌طور که نتایج آزمون فریدمن (جدول ۳) نشان می‌دهد بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در زمان اجرا تفاوت معنی‌داری وجود دارد (۷۱/۴۴۲= K^2، P=۰/۰۰۱). مقایسات توصیفی (نیمه چپ جدول ۴) نشان می‌دهد که بالاترین میانگین رتبه‌ای در زمان اجرا مربوط به پیش‌آزمون (میانگین زمان اجرا ۲۴۱۲ میلی‌ثانیه) و کمترین زمان اجرا مربوط به پس‌آزمون (میانگین زمان اجرا ۱۰۳۹) است. برای بررسی نقاط قابل قبول و زمان اجرا در تک‌تک گروه‌ها در هر کدام از گروه‌ها آزمون فریدمن به‌عمل آمد. که نتایج در جداول ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۳. نتایج آزمون فریدمن برای بررسی تغییرات نقاط قابل قبول و زمان اجرای حرکت طی پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در مجموع هرسه گروه

متغیر Variable	N	خی-دو K^2	درجه آزادی df	سطح معنی‌داری P
خطای فضایی (نقاط قابل قبول)	۳۰	۶۶/۷۵۱	۷	۰/۰۰۱
خطای زمانی (زمان اجرای حرکت)	۳۰	۷۱/۴۴۲	۷	۰/۰۰۱

جدول ۴. میانگین رتبه‌ای بلوک‌ها

عملکرد فضایی (نقاط قابل قبول) Spatial performance (Acceptable Points)			خطای زمانی (زمان اجرای حرکت) Temporal error (movement execution time)		
آزمون	میانگین رتبه‌ای	میانگین تعداد نقاط قابل‌قبول	آزمون	میانگین رتبه‌ای	میانگین تعداد نقاط قابل‌قبول
روز پنجم	۶/۱۵	۱۲۲/۱۵	پیش‌آزمون	۷/۱۷	۲۴۱۲
پس‌آزمون	۶/۱۳	۱۴۴/۰۰	روز اول	۶/۰۳	۱۶۸۲
روز ششم	۵/۵۷	۱۲۶/۹۲	روز دوم	۴/۴۵	۱۲۵۱
روز چهارم	۴/۶۷	۱۰۴/۹۹	روز سوم	۴/۴۳	۱۲۳۵
روز سوم	۴/۱۸	۹۰/۳۷	روز چهارم	۴/۰۳	۱۱۰۹
پیش‌آزمون	۳/۸۳	۸۶/۵۸	روز پنجم	۳/۶۸	۱۱۶۹
روز اول	۲/۷۰	۶۹/۸۵	روز ششم	۳/۱۷	۱۰۹۴

همان‌طور که نتایج آزمون فریدمن (جدول ۳) نشان می‌دهد بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در نقاط قابل قبول تفاوت معنی‌داری وجود دارد (۶۶/۷۵۱= K^2، sig=۰/۰۰۱). مقایسات توصیفی (نیمه راست جدول ۴) نشان می‌دهد که بالاترین میانگین رتبه‌ای در نقاط قابل قبول مربوط به روز پنجم تمرین و پس‌آزمون (میانگین نقاط قابل قبول به ترتیب ۱۲۲/۱۵ و ۱۴۴/۰۰) و کمترین نقاط قابل قبول مربوط به روز اول تمرین و پیش‌آزمون (میانگین نقاط قابل قبول به ترتیب ۶۹/۸۵ و ۸۶/۵۸) است.

همان‌طور که نتایج آزمون فریدمن (جدول ۳) نشان می‌دهد بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در *زمان اجرا* تفاوت معنی‌داری وجود دارد (۷۱/۴۴۲= K^2، sig=۰/۰۰۱). مقایسات توصیفی (نیمه چپ جدول ۴) نشان می‌دهد که بالاترین میانگین رتبه‌ای در *زمان اجرا* مربوط به پیش‌آزمون (میانگین *زمان اجرا* ۲۴۱۲ میلی‌ثانیه) و کمترین *زمان اجرا* مربوط به پس‌آزمون (میانگین *زمان اجرا* ۱۰۳۹) است.

برای بررسی *نقاط قابل قبول* و *زمان اجرا* در تک‌تک گروه‌ها در هر کدام از گروه‌ها آزمون فریدمن به‌عمل آمد. که نتایج در جداول ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۵. نتایج آزمون فریدمن برای بررسی تفاوت بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در *نقاط قابل قبول*

	گروه	N	خی-دو	درجه آزادی	P
عملکرد فضایی (نقاط قابل قبول)	گروه تمرین همراه با tRNS	۱۰	۵۳/۲۶۷	۷	۰/۰۰۱
	گروه تمرین همراه با tRNS ساختگی	۱۰	۱۵/۷۲۷	۷	۰/۰۲۸
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۰	۱۸/۲۳۳	۷	۰/۰۱۱
خطای زمانی (زمان اجرای حرکت)	گروه تمرین همراه با tRNS	۱۰	۵۰/۳۳۳	۷	۰/۰۰۰۱
	گروه تمرین همراه با tRNS ساختگی	۱۰	۱۲/۲۹۰	۷	۰/۰۹۱
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۰	۲۹/۰۰۰	۷	۰/۰۰۱

جدول ۶. میانگین رتبه‌ای پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در *نقاط قابل قبول* در هر کدام از گروه‌ها

		گروه تمرین همراه با tRNS			گروه تمرین همراه با tRNS ساختگی			گروه تمرین بدون tRNS		
متغیر		آزمون یا روز تمرینی	میانگین رتبه‌ای	میانگین تعداد نقاط قابل قبول	آزمون یا بلوک تمرینی	میانگین رتبه‌ای	میانگین تعداد نقاط قابل‌قبول	آزمون یا بلوک تمرینی	میانگین رتبه‌ای	میانگین تعداد نقاط قابل قبول
عملکرد فضایی (نقاط قابل قبول)		پس‌آزمون	۷/۹۰	۲۶۵/۵۸	روز پنجم	۶/۱۵	۹۴/۲۲۱	روز پنجم	۶/۷۰	۱۱۴/۲۱۰
		روز ششم	۶/۶۰	۲۱۲/۰۶۰	پس‌آزمون	۵/۴۰	۷۷/۹۱۵	پس‌آزمون	۵/۱۰	۸۸/۵۲۶
		روز پنجم	۵/۶۰	۱۵۸/۰۳۰	روز ششم	۵/۱۰	۷۶/۲۲۰	روز سوم	۵/۱۰	۹۹/۱۶۳
		روز چهارم	۵/۱۰	۱۴۷/۲۹۱	روز چهارم	۴/۸۰	۸۷/۰۱۷	روز ششم	۵/۰۰	۹۲/۴۷۰
		روز سوم	۳/۶۰	۱۰۰/۸۷۰	پیش‌آزمون	۴/۸۰	۸۳/۹۳۸	روز چهارم	۴/۱۰	۸۰/۶۶۴
		روز دوم	۲/۷۰	۸۷/۶۳۲	روز سوم	۳/۸۵	۷۱/۰۹۱	پیش‌آزمون	۴/۱۰	۸۷/۳۶۹
		پیش‌آزمون	۲/۶۰	۸۸/۴۶۱	روز اول	۳/۲۰	۶۰/۱۵۲	روز اول	۳/۰۰	۷۵/۷۳۵
		روز اول	۱/۹۰	۷۳/۶۷۶	روز دوم	۲/۷۰	۵۷/۸۱۶	روز دوم	۲/۹۰	۷۳/۲۷۶
خطای زمانی (زمان اجرای حرکت)		پس‌آزمون	۷/۹۰	۲۶۸۳	روز پنجم	۶/۶۰	۲۳۱۳	روز پنجم	۷/۰۰	۲۲۴۰
		روز ششم	۷/۰۰	۱۹۱۶	پس‌آزمون	۵/۲۰	۱۵۹۶	پس‌آزمون	۵/۹۰	۱۵۳۵
		روز پنجم	۴/۷۰	۱۰۲۰	روز ششم	۳/۴۰	۱۲۹۹	روز سوم	۵/۲۰	۱۴۳۳
		روز چهارم	۴/۴۰	۱۰۱۲	روز چهارم	۳/۷۵	۱۲۵۳	روز ششم	۵/۲۰	۱۴۳۹
		روز سوم	۰۰۴	۹۲۷	پیش‌آزمون	۴/۲۰	۱۳۳۰	روز چهارم	۳/۹۰	۱۰۷۱
		روز دوم	۳/۷۰	۸۷۱	روز سوم	۳/۸۵	۱۴۰۹	پیش‌آزمون	۳/۵۰	۱۲۲۷
		پیش‌آزمون	۲/۶۰	۸۰۹	روز اول	۴/۲۰	۱۴۳۴	روز اول	۲/۷۰	۱۰۳۹
		روز اول	۱/۷۰	۷۲۵	روز دوم	۴/۸۰	۱۴۷۷	روز دوم	۲/۶۰	۹۱۴

همان‌طور که نتایج آزمون‌های فریدمن نشان می‌دهد (جدول ۵) در گروه اول بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در *نقاط قابل قبول* تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P=۰/۰۰۱، K^2=۵۳/۲۶۷). در گروه‌های دوم و سوم نیز بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در نقاط قابل قبول تفاوت معنی‌داری وجود داشت (P=۰/۰۲۸، K^2=۱۵/۷۲۷ و P=۰/۰۱۱، K^2=۱۸/۲۳۳). ولی این تفاوت چندان زیاد نبود. میانگین‌های رتبه‌ای در جدول آمده است (نیمه بالای جدول ۶).

همچنین در مورد زمان اجرا، نتایج آزمون‌های فریدمن نشان می‌دهد (جدول ۵) در گروه اول بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P=۰/۰۰۰۱، K^2=۵۰/۳۳۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود (نیمه پایین جدول ۶) مقایسات توصیفی نشان می‌دهد که بالاترین میانگین رتبه‌ای در *زمان اجرا* مربوط به پیش‌آزمون (میانگین *زمان اجرا* ۲۶۸۳ میلی‌ثانیه) و کمترین *زمان اجرا* مربوط به پس‌آزمون (میانگین *زمان اجرا ۷۲۵*) است. ولی در گروه دوم بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در *نقاط قابل قبول* تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (۱۲/۲۹۰= K^2،P=۰/۰۹۱). در گروه اول بین پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون درزمان اجرا تفاوت معنی‌داری وجود داشت (P=۰/۰۰۱، K^2=۲۹/۰۰۰). ولی این تفاوت به اندازهٔ گروه اول نبود. میانگین‌های رتبه‌ای در جدول آمده است. برای بررسی‌های دقیق‌تر پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون در سه گروه با استفاده از آزمون کراسکال-والیس مقایسه شد تا تفاوت در نقاط قابل قبول و زمان اجرا بیشتر مشخص شود.

همان‌طور که نتایج آزمون‌های کراسکال- والیس برای تفاوت نقاط قابل قبول در پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون بین سه گروه تمرینی نشان می‌دهد در پیش‌آزمون و سه روز تمرینی اول، دوم و سوم تفاوت معناداری وجود ندارد. ولی از روز چهارم به بعد تا پس‌آزمون بین سه گروه تمرینی تفاوت معنی‌داری وجود دارد و این تفاوت بیشتر و بیشتر می‌شود. مقایسات میانگین رتبه‌ای و میانگین نقاط قابل قبول نشان می‌دهد که گروه اول یعنی تمرین همراه با tRNS نسبت به دو گروه دیگر پیشرفت قابل توجه بیشتری داشته است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود بیشترین اختلاف در میانگین رتبه‌ای بین گروه اول و دو گروه دیگر در پس‌آزمون بوده است (۲۵/۴۰ در مقابل ۱۰/۱۰ و ۱۱/۰۰).

همان‌طور که نتایج آزمون‌های کراسکال- والیس برای تفاوت *زمان اجرا* در پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون بین سه گروه تمرینی نشان می‌دهد در پیش‌آزمون و روزهای تمرینی اول تا ششم تفاوت معناداری وجود ندارد. ولی در پس‌آزمون بین سه گروه تمرینی تفاوت معنی‌داری وجود دارد. مقایسات میانگین رتبه‌ای و میانگین زمان اجرا نشان می‌دهد که گروه اول یعنی تمرین همراه با tRNS نسبت به دو گروه دیگر پیشرفت بیشتری داشته است. هرچند پیشرفت در هرسه گروه و حتی تفاوت بین گروه‌ها در مؤلفهٔ زمان اجرا نسبت به خطای جرکتی کمتر بوده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود در پس‌آزمون بیشترین میانگین رتبه‌ای در گروه اول، گروه دوم و گروه سوم بوده است (۸/۸۰ در مقابل ۲۱/۵۰ و ۱۶/۲۰).

جدول ۷. نتایج آزمون کراسکال- والیس برای بررسی تفاوت در پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون بین سه گروه

متغیر	نقاط قابل قبول			زمان اجرا		
آزمون یا روز تمرینی	خی‌دو	df	P	خی‌دو	df	P
پیش‌آزمون	۰/۲۶۹	۲	۰/۸۷۴	۰/۹۰۶	۲	۰/۶۳۶
روز اول	۰/۳۴۳	۲	۰/۸۴۲	۱/۱۳۸	۲	۰/۵۶۶
روز دوم	۵/۸۷۱	۲	۰/۰۵۳	۱/۳۰۸	۲	۰/۵۲۰
روز سوم	۵/۴۶۱	۲	۰/۰۶۵	۲/۱۶۰	۲	۰/۳۴۰
روز چهارم	۱۱/۲۲۱	۲	۰/۰۰۴	۱/۴۹۴	۲	۰/۴۷۴
روز پنجم	۸/۵۰۸	۲	۰/۰۱۴	۳/۵۴۱	۲	۰/۱۷۰
روز ششم	۱۸/۶۶۱	۲	۰/۰۰۱	۳/۵۳۳	۲	۰/۱۷۱
پس‌آزمون	۱۹/۰۲۲	۲	۰/۰۰۱	۱۰/۵۰۱	۲	۰/۰۰۵

جدول ۸: میانگین رتبه‌ای نقاط قابل قبول در پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون بین سه گروه تمرینی

آزمون	گروه	رتبهٔ میانگین	میانگین خطا	رتبهٔ میانگین	میانگین خطا	آزمون
پیش‌آزمون	گروه تمرین همراه با tRNS	۱۴/۷۰	۸۸/۴۶۱	۲۳/۱۰	۱۴۷/۲۹۰	روز چهارم
	گروه تمرین با tRNS ساختگی	۱۶/۶۵	۸۳/۹۳۸	۱۲/۱۰	۸۷/۰۱۷	
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۵/۱۵	۸۷/۳۶۹	۱۱/۳۰	۸۰/۶۶۴	
روز اول	گروه تمرین همراه با tRNS	۱۶/۸۰	۷۳/۶۷۶	۲۱/۹۰	۱۵۸/۰۳۳	روز پنجم
	گروه تمرین با tRNS ساختگی	۱۴/۶۰	۶۰/۱۵۲	۱۰/۸۰	۹۴/۲۲۱	
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۵/۱۰	۷۵/۷۳۵	۱۳/۸۰	۱۱۴/۲۱۰	
روز دوم	گروه تمرین همراه با tRNS	۲۰/۵۰	۸۷/۶۳۲	۲۵/۰۰	۲۱۲/۰۶۰	روز ششم
	گروه تمرین با tRNS ساختگی	۱۱/۰۰	۵۷/۸۱۶	۸/۶۰	۷۶/۲۲۰	
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۵/۰۰	۷۳/۲۷۶	۱۲/۹۰	۹۲/۴۷۰	
روز سوم	گروه تمرین همراه با tRNS	۲۰/۱۰	۱۰۰/۸۷۰	۲۵/۴۰	۲۶۵/۵۸۰	پس‌آزمون
	گروه تمرین با tRNS ساختگی	۱۰/۹۰	۷۱/۰۹۱	۱۰/۱۰	۷۷/۹۱۵	
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۵/۵۰	۹۹/۱۶۳	۱۱/۰۰	۸۸/۵۲۶	

جدول ۹: میانگین رتبه‌ای زمان اجرا در پیش‌آزمون، روزهای تمرینی و پس‌آزمون بین سه گروه تمرینی

آزمون	گروه	رتبهٔ میانگین	میانگین خطا	رتبهٔ میانگین	میانگین خطا	آزمون
پیش‌آزمون	گروه تمرین همراه با tRNS	۱۴/۷۰	۸۸/۴۶۱	۲۳/۱۰	۱۴۷/۲۹۰	روز چهارم
	گروه تمرین با tRNS ساختگی	۱۶/۶۵	۸۳/۹۳۸	۱۲/۱۰	۸۷/۰۱۷	
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۵/۱۵	۸۷/۳۶۹	۱۱/۳۰	۸۰/۶۶۴	
روز اول	گروه تمرین همراه با tRNS	۱۶/۸۰	۷۳/۶۷۶	۲۱/۹۰	۱۵۸/۰۳۳	روز پنجم
	گروه تمرین با tRNS ساختگی	۱۴/۶۰	۶۰/۱۵۲	۱۰/۸۰	۹۴/۲۲۱	
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۵/۱۰	۷۵/۷۳۵	۱۳/۸۰	۱۱۴/۲۱۰	
روز دوم	گروه تمرین همراه با tRNS	۲۰/۵۰	۸۷/۶۳۲	۲۵/۰۰	۲۱۲/۰۶۰	روز ششم
	گروه تمرین با tRNS ساختگی	۱۱/۰۰	۵۷/۸۱۶	۸/۶۰	۷۶/۲۲۰	
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۵/۰۰	۷۳/۲۷۶	۱۲/۹۰	۹۲/۴۷۰	
روز سوم	گروه تمرین همراه با tRNS	۲۰/۱۰	۱۰۰/۸۷۰	۲۵/۴۰	۲۶۵/۵۸۰	پس‌آزمون
	گروه تمرین با tRNS ساختگی	۱۰/۹۰	۷۱/۰۹۱	۱۰/۱۰	۷۷/۹۱۵	
	گروه تمرین بدون tRNS	۱۵/۵۰	۹۹/۱۶۳	۱۱/۰۰	۸۸/۵۲۶	

بحث و نتیجه‌گیری

هدف تحقیق حاضر بررسی اثر تمرین همراه با tRNS بر مؤلفه‌های زمانی، فضایی و همچنین تاثیر آن‌ها بر امواج بتا وSMR در یادگیری (یا به عبارتی ایجاد تسهیل و قالب‌پذیری قشر حرکتی اولیه) یک تکلیف ادراکی- حرکتی بود. باتوجه به نتایج حاصل از بررسی داده‌های آماری، هر چند هر سه گروه پژوهش، افزایش در توان امواج بتا وSMR را نشان دادند اما گروه اول با توجه به دریافت tRNS بهبود عملکرد و یادگیری حرکتی بیشتری را ثبت کرد. نتایج پژوهش حاضر در مورد اثر معنادار tRNS بر بهبود عملکرد امواج بتا و SMR را می‌توان با یافته‌های پژوهش کونگ و همکاران (۴۷)، برتولو و همکاران (۴۸)، هاتفیلد و هیلمن (۶)، بخشی از پژوهش چنگ و همکاران (۳۱)، وانگ وهمکاران (۴۹)، بخشی از پژوهش هوانگ و همکاران (۵۰)، میلتون و همکاران (۵۱)، کلی و گاراوان (۵۲) همخوان دانست. یافته‌های مطالعات این پژوهشگران در ارتباط با بهبود عملکرد حرکتی، بر افزایش توان امواج بتا و SMR در نتیجهٔ تحریک، اشاره داشته‌اند (۴۷). بهبود عملکرد شرکت‌کنندگان که در اثر افزایش توان موج بتا و SMRحاصل شده را می‌توان با نظریهٔ کارایی روانی- حرکتی توضیح داد. فرضیه کارایی روانی- حرکتی بالاتر با تداخل کمتر در فرآیندهای عصبی در طول عملکرد حرکتی مشخص می‌شود (۷). از SMR برای بررسی این فرآیندها استفاده شد، زیرا SMR می‌تواند تداخل پردازش اطلاعات حسی‌حرکتی را منعکس کند. پژوهش وانگ و همکاران (۴۹) نشان داد که فعالیت SMR به کیفیت عملکرد ورزشی حساس است. نتایج پژوهش اگنر

و گروزلیر (۵۳) شواهدی را در مورد ارتباط بین فعالیت SMR و بتا با کیفیت عملکرد ورزشی دقیق ارائه می‌کند. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهند افزایش توان SMR ممکن است با عملکرد برتر مرتبط باشد. عملکرد برتر با فرآیندهای تحلیلی- کلامی کمتر در طول اجرا مشخص می‌شود. این یافته بیشتر از فرضیه کارایی روانی‌حرکتی پشتیبانی می‌کند زیرا شبکه‌های عصبی کمتر پیچیده با قدرت SMR و بتای بالاتر نشان داده شده‌اند (۶). تداخل حرکتیِ کاهش یافته، که توسط قدرت SMR افزایش یافته منعکس می‌شود، به عنوان کلیدی برای عملکرد برتر عمل می‌کند (۴۸). همچنین نتایج پژوهش حاضر در مورد اثر (هرچند جزئی) تمرین بر بهبود عملکرد امواج بتا و SMR را می‌توان با یافته‌های پژوهش فلویر- لی و متیوز (۵۵)، ساکای و همکاران (۵۶) و دیمیان و کوهن (۵۷) همخوان دانست. بهبود جزئی در عملکرد گروه‌هایی که tRNS دریافت نکرده بودند را همان‌گونه که دیمیان و کوهن (۵۷) نشان دادند، می‌توان از طریق توضیح قالب‌پذیری عصبی که به‌دنبال تمرین رخ می‌دهد، توجیه کرد. یادگیری حرکتی فرآیند پیچیده‌ای است که در مغز در پاسخ به تمرین یا تجربهٔ یک مهارت خاص رخ می‌دهد که منجر به تغییراتی در سیستم عصبی مرکزی شود (۵۹، ۵۸). پیکارد و همکاران (۶۰) نشان دادند که سال‌ها تمرین منجر به تولید کارآمدتر فعالیت عصبی در قشر حرکتی اولیه می‌شود (۶۱). یادگیری سریع تکالیف حرکتی مداوم، فعالیت قشر حرکتی اولیه را تعدیل می‌کند (۵۵) که با پیشرفت یادگیری کاهش فعال‌سازی را نشان می‌دهند. نشان‌داده شده است که افزایش فعال‌سازی قشری، منعکس‌کنندهٔ به‌کارگیری لایه‌های اضافی قشر مغز با تمرین باشد (۶۲). در یادگیری حرکتی با تمرین گسترده در یک دورهٔ طولانی، افراد می‌توانند شبکه‌های عصبی متمرکز و کارآمدی را توسعه دهند (۵۱). این شبکه عصبی کارآمد، پردازش ذهنی مرتبط با تکلیف را نشان می‌دهد که به مجریان خبره کمک می‌کند تا به عملکرد برتر برسند. علاوه بر مطالعات مقطعی یادشده، مطالعات یادگیری نیز نشان داده است که فعالیت کمتر درC3و C4 در تیراندازان پس از تمرین مشاهده می‌شود (۵۲). همهٔ این مطالعات به تغییرات ساختاری یا عملکردی در قشر حرکتی پس از تمرین طولانی‌مدت اشاره دارند (۵۷). فعال شدن کمتر در قشر حسی حرکتی ممکن است با درگیری شناختی کمتر در طول اجرای حرکت همراه باشد. در نتیجه مربوط به کاهش کنترل در نظارت بر پردازش عملکرد حرکتی است که منجر به عملکرد حرکتی سازگارتر می‌شود. عوامل متعددی مانند عوامل ژنتیکی، آناتومیکی، فیزیولوژیکی و روان‌شناختی بر قدرت و افزایش سطوح پایهٔ امواجی مانند آلفا و SMR در نوار مغزی تأثیر می‌گذارند (۶۵). مزایای پژوهشی که از لحاظ نظری صحیح باشد با کنترل این عوامل به دست می‌آید. در مجموع، ایجاد یک پروتکل تمرینی بسیار مهم است زیرا ویژگی عملکرد ورزشی پیچیده است. برای گسترش دامنه تأثیرات مفید tRNS، به یک پروتکل آموزشی با قابلیت اندازه‌گیری و مقایسه نیاز است تا مقایسهٔ نتایج از مطالعه‌ای به مطالعهٔ دیگر میسر باشد. نتایج پژوهش کنونی حاکی از تاثیر معنادار tRNS بر کاهش مؤلفهٔ تعداد نقاط قابل‌قبول در اجرای تکلیف ادراکی- حرکتی (ترسیم مداوم دایره) بود. چرا که تغییرات و پیشرفت

اجرای حرکت در گروه تمرین همراه با tRNS واقعی بیش از دو گروه تمرینی دیگر بود. در ارتباط با ساز و کار و چرایی تاثیر tRNS، می‌توان پدیدهٔ تشدید تصادفی را به‌عنوان توجیهی مستند بیان کرد. تشدید تصادفی در اثر tRNS رخ می‌دهد که به‌نوبهٔ خود منجر به تعدیل نوسانات نورونی و تجمع جریانات دپولاریزه‌کننده در نورون‌ها می‌شود. این امر باعث می‌شود که الگوی پاسخ‌های عصبی نرمال شود و کمکی به نورون‌ها باشد تا کارایی بیشتری در ایجاد پتانسیل عمل داشته باشند (۲۰). همان‌گونه که به دلایل فوق ورا و همکاران (۶۶) در مقایسهٔ روش‌های تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای، تاثیرگذاری بیشترِ tRNS را نسبت به سایر روش‌ها نشان داده بودند. همچنین توجیه دیگر برای این همسویی، تاثیر tRNS در تولید پتانسیل عمل راحت‌تر، سریع‌تر و بیشتر (۲۷، ۲۶، ۲۰) نسبت به سایر روش‌های تحریک الکتریکی (۲۹) است که منجر به یادگیری ادراکی و حرکتی خواهد شد (۶۸، ۶۶، ۶۷). tRNS با تحریک کانال‌های سدیمی واقع در غشای نورون با ورود یون‌های سدیم، آستانهٔ تحریک‌پذیری (آستانهٔ پتانسیل عمل) نورون‌ها را کاهش داده و باعث تولید پتانسیل عمل راحت‌تر، سریع‌تر و بیشتر می‌شود (۲۶). اثرات tRNS ممکن است به افزایش همزمانی شلیک عصبی از طریق تقویت فعالیت نوسانی زیرآستانه (کاهش میزان نویز درون‌زا) نسبت داده شود (۶۸،۲۵). بر این اساس، حتی تحریک زیرآستانه ای که میدان های الکتریکی بسیار ضعیف را در قشر مغز القا می کند، می تواند پتانسیل های غشایی را تعدیل کند (۲۵).

نتایج نشان داد بین گروه دوم و سوم در مولفهٔ زمان اجرا در طی روزهای تمرینی تفاوت معناداری وجود ندارد. درحالی‌که، افراد گروه اول به میزان معناداری بهتر از دو گروه دیگر توانستند زمان اجرای خود را کاهش دهند و گروه دوم نتوانست کاهش معناداری را طی جلسات نشان دهد. به علاوه گروه سوم علیرغم کاهش معناداری در زمان اجرا داشت ولی نسبت به گروه اول کاهش کمتری در مدت حرکت خود تجربه کرد.

با توجه به اینکه گروه دوم در کاهش زمان حرکت خود موفق نبود، این یافته‌ها با نتایج پژوهش قوامی و همکاران (۷۲) همسو نیست چرا که این پژوهشگران در پژوهش خود که تمرین حرکتی ضربه زدن به چند هدف با فواصل مختلف بود، نشان دادند تمرین حرکتی صرف‌نظر از نوع آن می‌تواند بر زمان اجرا تاثیر بگذارد و آن را کاهش دهد. همچنین عدم کاهش زمان حرکت، با پژوهش ماورر و همکاران (۷۳) نیز همسو نیست چرا که این پژوهشگران نشان دادند افراد بعد از ۱۰۰ کوشش تمرینی اسکیتل‌ها[۲] توانستند زمان حرکت خود را بهبود ببخشند. از دلایل این عدم‌همخوانی می‌توان به نوع تکلیف به‌کار رفته در دو پژوهش، با تکلیف پژوهش ما که یک تکلیف مداوم ترسیم دایره بود، اشار کرد که ماهیتی کاملا متفاوت باهم دارند. با این‌حال عدم کاهش زمان اجرا را نمی‌توان عامل عدم موفقیت در تکلیف دانست چراکه در نتایج همخوان دیگر، شرکت‌کنندگان در پژوهش ژانگ و همکاران (۷۴)، هابر و همکاران (۲)، هاسون و همکاران (۷۵) علیرغم کاهش زمان اجرای حرکت در تکلیف مداوم، موفق به بهبود اجرا نگردیدند و این نشان می‌دهد که زمان و سرعت اجرا تاثیری بر نتیجهٔ تکالیف مداوم که مشابه اسکیتل‌ها هستند، ندارند. به‌طور خلاصه، نتایج آزمون فرضیهٔ آخر پژوهش کنونی، حاکی از دیر کاهش پیدا کردن مولفهٔ زمان در تکلیف

ادراکی- حرکتی بود. بررسی این نتیجه بیان می‌کند که زمان اجرای حرکت برای کاهش بیشتر نیازمند تمرین بیشتر طی جلسات متوالی است و اگر تمرین با tRNS همراه باشد چه بسا مانند گروه اول نتایج مطلوب‌تری مشاهده شود.

تشکر و قدردانی

از همه معلمان، خانواده‌ها و دانش‌آموزانی که در انجام این پژوهش همکاری کردند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

پانویس‌ها

1. Hypothesis of psychomotor efficiency
2. Fasilitation
3. Cortex
4. Spike
5. Transcranial Random Noise Stimulation
6. Transcranial Electrical Stimulation
7. primary motor cortex
8. Genius
9. X608i
10. ProComp5 Infiniti - 5 Channel
11. BioGraph Infiniti
12. Skittles

References

1. Sternad D. It’s not (only) the mean that matters: variability, noise and exploration in skill learning. Behavioral Sciences, 2018, 20:183–195. Retrieved from. https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2018.01.004
2. Huber ME, Kuznetsov N, Sternad D. Persistence of reduced neuromotor noise in long-term motor skill learning. Journal of Neurophysiology, 2016, 116(6), 2922-35. https://doi.org/10.1152%2Fjn.00263.2016
3. Cohen RG, Sternad D. Variability in motor learning: relocating, channeling and reducing noise. Exp Brain Res, 2009, 193(1): 69–83. 10.1007/s00221-008-1596-1.
4. He K, Liang Y, Abdollahi F, Bittman MF, Kording K, Wei K The statistical determinants of the speed of motor learning. PloS Comput Biol, 2016, 12(9):e1005023. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005023
5. Van der Kooij K, van Mastrigt NM, Cashaback JG. Failure induces task-irrelevant exploration during a stencil task. Experimental Brain Research, 2023, 1-10. https://doi.org/10.1007/s00221-023-06548-2
6. Hatfield BD, Hillman CH. The psychophysiology of sport: A mechanistic understanding of the psychology of superior performance. Handbook of sport psychology, 2001, 2, 362-386.
7. Hatfield BD. Brain dynamics and motor behavior: A case for efficiency and refinement for superior performance. Kinesiology Review, 2018, 7(1), 42–50. https://doi.org/10.1123/kr.2017-0056
8. Cheng MY, Hung CL, Huang CJ, Chang YK, Lo LC, Shen C, Hung TM. Expert-novice differences in SMR activity during dart throwing. Biological Psychology, 2015, 110, 212–218. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.08.003
9. Cooke A. Readying the head and steadying the heart: A review of cortical and cardiac studies of preparation for action in sport. International Review of Sport and Exercise Psychology, 2013, 6(1), 122–138. https://doi.org/10.1080/1750984X.2012. 724438
10. Hamilos AS et al. Dynamic dopaminergic activity controls the timing of self-timed movement. bioRxiv 2020.05.13.094904; https://doi.org/10.1101/2020.05.13.094904
11. Pearce JM, Hall G. The influence of context-reinforcer associations on instrumental performance. Animal Learning & Behavior 1979, 7, 504–508. https://doi.org/10.3758/BF03209710

12. Shadmehr R, Smith MA, Krakauer JW. Error correction, sensory prediction, and adaptation in motor control. Annual review of neuroscience. 2010, 89-108. https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-153135
13. López-Moliner J, Vullings C, Madelain L. et al. Prediction and final temporal errors are used for trial-to-trial motor corrections. Sci Rep 2019, 9, 19230. https://doi.org/10.1038/s41598-019-55560-6
14. Van Beers RJ, Brenner E, Smeets JB. Random walk of motor planning in task-irrelevant dimensions. Journal of neurophysiology, 2013, 109(4), 969-977. https://doi.org/10.1152/jn.00706.2012
15. Burge J, Ernst MO, Banks MS. The statistical determinants of adaptation rate in human reaching. Journal ofVisionn, 2008, 8(4), 1-19. https://doi.org/10.1167/8.4.20
16. Kording K, Tenenbaum J, Shadmehr, R. The dynamics of memory as a consequence of optimal adaptation to a changing body. Nat Neurosci 2007, 10, 779–786. https://doi.org/10.1038/nn1901
17. Crossman ER. A theory of the acquisition of speed-skill. Ergonomics, 1959, 2: 153–166. https://doi.org/10.1080/00140135908930419
18. Churchland MM, Byron MY, Ryu SI, Santhanam G, Shenoy KV. Neural variability in the premotor cortex provides a signature of motor preparation. Journal of Neuroscience, 2006, 26(14), 3697-712.
19. Ramezani H, Fallah Mohammadi Z, Namdar Tajari S, Khanbabaie R. The Acute Effect of Post-Activation Potentiation with Transcranial Random Noise Stimulation on Some Electrophysiological and Functional Variables of Athletic Men. Sport Physiology. 2020; 11(44): 31-54. In Persian 10.22089/spj.2019.7691.194
20. Vera M, Lyzhko E, Schmanke T, Andreas SF, Christine M. Siniatchkin M. 1 mA cathodal tDCS shows excitatory effects in children and adolescents: Insights from TMS evoked N100 potential. Brain Research Bulletin, 2018, S036192301730374X 10.1016/j.brainresbull.2018.03.018
21. Okano H, Tsubota K, Shimmura S, Omoto M, Kishino A, Maeda M. Therapeutic agent for corneal sensory nerve damage containing semaphorin inhibitor as active ingredient. Google Patents; 2014.
22. Inukai Y, Saito K, Sasaki R, Tsuiki S, Miyaguchi S, Kojima S, Mitsuhiro M, Naofumi O, Onishi, H. Comparison of three non-invasive transcranial electrical stimulation methods for increasing cortical excitability. Frontiers in human neuroscience, 2016, 10, 668. 10.3389/fnhum.2016.00668
23. Yeh TC, Huang CY, Chung YA., Im JJ, Lin YY, Ma CC, Chang HA. High-frequency transcranial random noise stimulation modulates gamma-band EEG source-based large-scale functional network connectivity in patients with schizophrenia: A randomized, double-blind, sham-controlled clinical trial. Journal of Personalized Medicine, 2022, 12(10), 1617. 10.3390/jpm12101617
24. Potok W, Bächinger M, Van der Groen O, Cretu AL, Wenderoth N. Transcranial random noise stimulation acutely lowers the response threshold of human motor circuits. Journal of Neuroscience, 2021, 41(17), 3842-3853. 10.1523/jneurosci.2961-20.2021
25. Andrea A, Christoph H. Transcranial alternating current and random noise stimulation: Possible mechanisms. Neu Plas. 2016; 12:30-7.

26. Chaieb L, Antal A, Paulus W. Transcranial random noise stimulation-induced plasticity is NMDA-receptor independent but sodium-channel blocker and benzodiazepines sensitive. Frontiers Neuros, 2015, 9, 125.
27. Latash M. There is no motor redundancy in human movements. There is motor abundance. Motor cont, 2000, 4(3), 259-261.
28. Battaglini L, Contemori G, Fertonani A, Miniussi C, Coccaro A, Casco C. Excitatory and inhibitory lateral interactions effects on contrast detection are modulated by tRNS. Scientific reports. 2019; 9(1):19274. https://doi.org/10.1038%2Fs41598-019-55602-z
29. Yamaguchi T, Moriya K, Tanabe S, Kondo K, Otaka Y, Tanaka S. Transcranial direct-current stimulation combined with attention increases cortical excitability and improves motor learning in healthy volunteers. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 2020, 17(1), 1-13. 10.1186/s12984-020-00665-7
30. Hall J, Guyton H. Textbook of Medical Physiology (12thed.). Philadelphia, PA: Saunders/Elsevier. 2011, 686. 978-1-4160-4574-8.
31. Schubotz RI, von Cramon D. Functional-anatomical concepts of human premotor cortex: evidence from fMRI and PET studies. Neuroimage, 2003, 20, S120. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.09.014
32. Cheng MY, Wang KP, Koester D, Schack T. Miss your putts? The key EEG index to achieve superior performance in golf putting. Presented at the Asia Conference on Kinesiology 2018, Taichung, Taiwan.
33. Kantak SS, Mummidisetty CK, Stinear JW. Primary motor and premotor cortex in implicit sequence learning–evidence for competition between implicit and explicit human motor memory systems. Eur. J. Neurosci. 2012, 36, 2710–2715. https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2012.08175.x
34. Kaminski E, Engelhardt M, Hoff M, Steele C, Villringer A, Ragert P. TDCS effects on pointing task learning in young and old adults. Scientific reports, 2021, 11(1),1-13. https://doi.org/10.1038/s41598-021-82275-4
35. van Beers RJ. Motor learning is optimally tuned to the properties of motor noise. Neuron 2009; 63: 406–17. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.06.025
36. Smits-Engelsman BC, Wilson PH. Age-related changes in motor imagery from early childhood to adulthood: Probing the internal representation of speed-accuracy trade-offs. Human Movement Science, 2013, 32(5), 1151-1162. 10.1016/j.humov.2012.06.006
37. Cohen EJ, Wei K, Minciacchi D. Examining modifications of execution strategies during a continuous task. Scientific reports, 2021, 11,1-14. https://doi.org/10.1038/s41598-021-84369-5
38. Smith MJ, Keel JC, Greenberg BD, Adams LF, Schmidt PJ, Rubinow DA, Wassermann EM.Menstrual cycle effects on cortical excitability. Neurology 1999, 53:2069 –2072.
39. Smith MJ, Adams LF, Schmidt PJ, Rubinow DR, Wassermann EM. Effects of ovarian hormones on human cortical excitability. Ann Neurol, 2002, 51:599 –603.
40. Inghilleri M, Conte A, Curra A, Frasca V, Lorenzano C, Berardelli A. Ovarian hormones and cortical excitability. An rTMS study in humans. Clin Neurophysiol, 2004, 115:1063–68. 10.1016/j.clinph.2003.12.003
41. Sale MV, Ridding MC, Nordstrom S. Factors influencing the magnitude and reproducibility of corticomotor excitability changes induced by paired associative stimulation. Exp Brain Res, 2007, 181: 615 – 626. https://doi.org/10.1007/s00221-007-0960-x

42. Doostan M, Namazizadeh M, Sheikh M, Naghdi N. The Effect of Change in Different Characteristics in Movements of Two Hands on Transfer of Asymmetrical Bimanual Movement to Its Converse Pattern. Motor Behavior. 2016; 8 (24): 133-52. In Persian https://doi.org/10.22089/mbj.2016.759
43. Monastero R, Baschi R, Nicoletti A, Pilati L, Pagano L, Cicero CE, Brighina F. Transcranial random noise stimulation over the primary motor cortex in PD-MCI patients: a crossover, randomized, sham-controlled study. Journal of Neural Transmission, 2020, 127(12), 1589-1597. https://doi.org/10.1007/s00702-020-02255-2
44. Cohen EJ, Wei K, Minciacchi D. Visuomotor perturbation in a continuous circle tracing task: Novel approach for quantifying motor adaptation. Sci. Rep. 2019, 9, 18679. https://doi.org/10.1038/s41598-019-55241-4
45. Fertonani A, Cornelia P, Carlo M. Random noise stimulation improves neuroplasticity in perceptual learning. Neu sci. 2011; 31(43):15416-23.
46. Classen J, Liepert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. Journal of Neurophysiology, 1998, 79(2), 1117-1123.
47. Kong J, Wang Z, Leiser J, Minicucci D, Edwards R, Kirsch I, Gollub RL. Enhancing treatment of osteoarthritis knee pain by boosting expectancy: a functional neuroimaging study. NeuroImage: Clinical, 2018, 18, 325-334. https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.01.021
48. Bertollo M, di Fronso S, Conforto S, Schmid M, Bortoli L, Comani S, Robazza C. Proficient brain for optimal performance: the MAP model perspective. PeerJ, 2016, 4, e2082. https://doi.org/10.7717/peerj.2082
49. Wang KP, Cheng MY, Chen TT, Chang YK, Huang CJ, Feng J, Ren J. Experts' successful psychomotor performance was characterized by effective switch of motor and attentional control. Psychology Sport Exercise. 2019, 374-79. 10.1016/j.psychsport.2019.04.006
50. Huang J, Hegele M, Billino J. Motivational Modulation of Age-RelatedEffectss on Reaching Adaptation. Front. Psychol. 2018, 9, 2285.https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02285
51. Milton J, Solodkin A, Hluštík P, Small SL. The mind of expert motor performance is cool and focused. Neuroimage, 2007, 35(2), 804-813.
52. Kelly AM, Garavan H. Human functional neuroimaging of brain changes associated with practice. Cerebral Cortex, 2005, 15(8), 1089–02. https://doi.org/10.1093/cercor/bhi005.
53. Egner T, Gruzelier JH. EEG Biofeedback of low beta band components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. Clinical Neurophysiology, 2004, 115(1), 131–9. 10.1016/S1388-2457(03)00353-5
54. Zhou J. et al. Te complexity of standing postural control in older adults: A modifed detrended fuctuation analysis based upon the empirical mode decomposition algorithm. PLoS ONE 2013, 8, e62585. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062585
55. Floyer-Lea A, Matthews PM. Distinguishable brain activation networks for short- and long-term motor skill learning. J. Neurophysiol. 2005, 94, 512–18. 10.1152/jn.00717.2004
56. Dimyan MA, Cohen LG. Neuroplasticity in the context of motor rehabilitation after stroke. Nat Rev Neurol 2011; 7(2):76-85. https://doi.org/10.1038%2Fnrneurol.2010.200

Neuroscience, 2004, 24(9), 2304-2312. https://doi.org/10.1523/jneurosci.4162-03.2004

64. Carmel D, Carrasco M. Perceptual learning and dynamic changes in primary visual cortex. Neuron, 2008 57(6), 799-801. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.03.009
65. Miniussi C, Harris JA, Ruzzoli M. Modelling non-invasive brain stimulation in cognitive neuroscience. Neurosci Biobehav Rev 2013, 37:1702–1712. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.06.014
66. Francis JT, Gluckman BJ, Schiff SJ. Sensitivity of neurons to weak electric fields. J Neurosci, 2003, 23:7255–7261.
67. Bikson M, Radman T, Datta A. Rational modulation of neuronal processing with applied electric fields. Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2006:1616–1619. https://doi.org/10.1109/iembs.2006.259548
68. Qavami, A, Mohammadzadeh H, Rahban Fard H. The effect of self-regulation and observation of a beginner's pattern in learning relative and absolute timing. Journal of sports management and movement behavior, 2018; 14 (27), 14-25. In persian
69. Maurer LK, Sammer G, Bischoff M, Maurer H, Müller H. Timing accuracy in self-timed movements related to neural indicators of movement initiation. Human Movement Science. 2014; 37: 42-57. 10.1016/j.humov.2014.06.005.
70. Zhang Z, Guo D, Huber ME, Park S-W, Sternad D. Exploiting the geometry of the solution space to reduce sensitivity to neuromotor noise. PLoS Computational Biology. 2018; 14(2):e1006013. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006013

57. Picard N, Matsuzaka Y, Strick PL. Extended practice of a motor skill is associated with reduced metabolic activity in M1. Nature neuroscience, 2013, 16(9), 1340-1347. https://doi.org/10.1038%2Fnn.3477
58. Wu Z, Guo Z, Gearing M, Chen G. Tonic inhibition in dentate gyrus impairs long-term potentiation and memory in an Alzheimer's disease model. Nature communications, 2014, 5 (1), 1-13. https://doi.org/10.1038/ncomms5159
59. Poldrack RA, Sabb FW, Foerde K, Tom SM, Asarnow RF, Book-heimer SY, Knowlton BJ. The neural correlates of motor skill automaticity. J. Neurosci. 2005, 25, 5356–5364. https://doi.org/10.1523/jneurosci.3880-04.2005
60. Bazanova OM, Vernon D. Interpreting EEG alpha activity. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2014, 44, 94-110. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.05.007
61. Moliadze V, Fritzsche G, Antal A. Comparing the efficacy of excitatory transcranial stimulation methods measuring motor evoked potentials. Neural Plast. 2014; 837141. https://doi.org/10.1155/2014/837141
62. Alimardani A, Shahbazi M, Tahmasebi Boroujeni S, Arabameri E. The effect of play at home (proposed by UNICEF) and metacognitive strategies on the health of children aged 5 to 8 years in the Corona pandemic. Sports Psychology, 2023; 15(2): 125-136. In Persian https://doi.org/10.48308/mbsp.2022.226686.1107
63. Lee G, Thangavel R, Sharma V M., Litersky, JM, Bhaskar K, Fang SM, Ksiezak-Reding H. Phosphorylation of tau by fyn: implications for Alzheimer's disease. Journal of