Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2024 (01 Nov);21: 13

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Effect of Anodal transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Fine Motor Skills in Human-Robot Interaction Tasks

Fateme Ziafati, Department of Ergonomics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Mohammad Sadegh Ghasemi, Department of Ergonomics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Ehsan Garosi, (*Corresponding author), Department of Ergonomics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran and Occupational health research center, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran eh.garosi@gmail.com
Fatemeh Sadat Hosseini-Baharanchi, Department of Biostatistics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Iman Sharifi, Department of Control, School of Electrical engineering, Amirkabir University of Technology , Tehran , Iran.

Abstract

Background and aims: Despite the significant advances in robotics in industrial, medical, military, and service fields, the role of the human agent for optimal control of robots is still important. In this regard, anodal transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) is proposed as an intervention with the potential to improve cognitive-motor performance in the field of human-robot interaction. This study aims to explore how anodal tDCS could improve fine motor skills in a task that involves interacting with a robotic arm

Methods: In this laboratory study, 40 healthy adults were asked to perform an object transfer task using a robotic arm in test sessions with sham (control group) and real (intervention group) anodal tDCS. Before and after sham and real stimulation, the intelligent circuit of the robotic arm recorded the performance of the participants using indices such as the number of errors (transfer, return, and total error), error duration, number of transferred objects, and number of correctly transferred objects. The effects of anodal tDCS on the changes in performance indicators between and within the study groups (difference between pre- and post-anodal tDCS) were compared, considering the significance level of $p<0.05$.

Results: The within-group comparison showed that the number of transferred objects and the number of return errors before and after anodal tDCS (real and sham) had a significant improvement trend. Additionally, the error duration and the number of correctly transferred objects were significant for real and sham stimulation, respectively. However, the comparison of the mean differences of post-test and pre-test scores for all variables of the study indicated no significant statistical difference between the intervention and control groups.

Conclusion: The results suggest that anodal tDCS did not have a specific effect on hand motor skills in a human-robot interactive task, but rather a general effect on the learning and performance of the task. This implies that anodal tDCS may not be a suitable intervention for enhancing fine manual motor control and coordination with a robotic arm, but rather for improving the cognitive-motor processes involved in the task. This study contributes to the understanding of the potential applications of anodal tDCS in the field of human-robot interaction.

Conflicts of interest: There are no conflicts of interest regarding the publication of this manuscript.

Funding: None

Keywords

Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)

Primary motor cortex

Motor skills

Human-robot interaction

Received: 2024/01/31

Accepted : 2024/11/16

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Despite significant advances in robotic technology, the role of the human agent in the optimal control of robots remains crucial. Human-robot interaction (HRI) is the interdisciplinary study of how humans and robots interact and cooperate with each other. One of the challenges in HRI is to enhance the cognitive and motor performance of human operators who control or collaborate with robots, especially in tasks that require fine manual motor skills and coordination.

One of the possible interventions that can modulate brain activity and influence cognitive and motor performance is transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). tDCS is a non-invasive brain stimulation technique that delivers a weak electric current through electrodes attached to the scalp. Depending on the polarity and location of the electrodes, tDCS can increase or decrease the excitability of the underlying brain regions. Anodal tDCS, which increases the excitability of the targeted brain region, has been shown to have positive effects on various aspects of motor skill learning and performance, such as accuracy, speed, precision, and retention.

However, the effects of anodal tDCS on motor skills in HRI tasks are not well documented. Although most of the previous studies have focused on the effects of anodal tDCS on the primary motor cortex (M1), which is responsible for the execution of motor commands, there is a lack of consensus on the impact of tDCS on motor function in healthy individuals. Therefore, there is a need for more systematic and comprehensive research on the effects of anodal tDCS on motor skills in HRI tasks, and on the underlying neural mechanisms and the optimal stimulation parameters.

The aim of this study was to investigate the effect of anodal tDCS on the primary motor cortex (M1) on hand motor skills in a human-robot interactive task. We hypothesized that anodal tDCS would enhance the performance of the participants in a task that required fine manual motor control and coordination with a robotic arm.

METHODOLOGY

In this laboratory study, 40 healthy adults were asked to perform an object transfer task using a robotic arm in test sessions with sham (control group) and real (intervention group) anodal tDCS. Before and after sham and real stimulation, the intelligent circuit of the robotic arm recorded the performance of the participants using indices such as the number of errors (transfer, return, and total error), error duration, number of transferred objects, and number of correctly transferred objects. The Neurostim2, S/N: MD 2–8002, was used for applying the tDCS. The effects of anodal tDCS over the primary motor cortex (M1) on the changes in performance indicators between and within the study groups (difference between pre- and post-anodal tDCS) were compared.

Data analysis

Shapiro-Wilk tests were performed to check the normality of the data distribution for each variable and group. The results showed that the data were normally distributed for some variables and groups, and non-normally distributed for others. Therefore, the appropriate statistical tests based on the normality and the type of comparison were implemented. For intra-group comparison, we used paired t-tests for normally distributed data, and Wilcoxon tests for non-normally distributed data. For inter-group comparison, we used independent t-tests for normally distributed data, and Mann-Whitney tests for non-normally distributed data. We reported the mean, standard deviation, p-value, and effect size (Cohen's d or r) of each test, and interpreted the results based on the significance level of $p<0.05$ and the magnitude of the effect size. All the data were analyzed using SPSS V. 21 software.

RESULTS

The results of participants' performance indices during object movement using the robotic arm are summarized in Table 1. The results of the within-group comparison showed that the number of transferred objects and the number of return errors before and after anodal tDCS (real and sham) had a significant improvement trend. Additionally, the error duration and the number of correctly transferred objects were significant for real and sham stimulation, respectively. However, the comparison of the mean differences of post-test and pre-test scores for all variables of the study indicated no significant statistical difference between the intervention and control groups.

In Table 1, for NTE, NRE, TNE and ED variables, the negative mean values of the difference between the pre-test and post-test scores (changes) indicate improved performance in the post-test compared to the pre-test in the studied group.

In Table 1, for NCTO and NTO variables, the positive mean values of the difference between the pre-test and post-test scores (changes) indicate improved performance in the post-test compared to the pre-test in the studied group.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The aim of this study was to investigate the effect of anodal tDCS on the primary motor cortex (M1) on hand motor skills in a human-robot interactive task. We hypothesized that anodal tDCS would enhance the performance of the participants in a task that

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

Table 1. The results of within -group and inter-group of participants performance indices during object movment using the robotic arm

Variable	Group	Difference between pre-test and post-test (Changes) mean±SD	**Within-group** P-Value	**Inter-group** p-value
NTE	**Intervantion**	0.00 ± 1.02	1.00	0.88
	Control	0.05 ± 1.14	0.84	
NRE	**Intervantion**	-0.65 ± 1.18	0.02*	0.76
	Control	-0.55 ± 0.94	0.01*	
TNE	**Intervantion**	-0.65 ± 1.81	0.12	0.79
	Control	-0.5 ± 1.76	0.22	
NCTO	**Intervantion**	0.5 ± 1.31	0.10	0.39
	Control	0.85 ± 1026	0.00*	
NTO	**Intervantion**	0.45 ± 0.88	0.03*	0.06
	Control	0.9 ± 0.85	0.00*	
ED	**Intervantion**	-0.97 ± 1.43	0.00*	0.43
	Control	-0.53 ± 1.85	0.19	

NTE: number of transfer error, NRE : number of return error ,TNE : total number of error ,NCTO: number of correct transferred object , NTO: number of transferred objects , ED : error duration
* indicates significant difference

required fine manual motor control and coordination with a robotic arm. However, the results of our experiment did not support our hypothesis. We found no significant difference between the intervention and control groups in terms of the number of errors, error duration, number of completed tasks, and number of correct tasks in the object transfer task. The within-group comparison showed that both groups improved their performance over time, suggesting that anodal tDCS did not have a specific effect on hand motor skills, but rather a general effect on the learning and performance of the task.

These findings imply that anodal tDCS may not be a suitable intervention for enhancing fine manual motor control and coordination with a robotic arm, but rather for improving the cognitive-motor processes involved in the task. This study contributes to the understanding of the potential applications of anodal tDCS in the field of human-robot interaction, and provides insights into the neural mechanisms and the optimal stimulation parameters of anodal tDCS on motor skill learning and performance.

As noted in a study by Chen et al. (2020), the lack of differences between the intervention and control groups can undermine confidence in the potential of offline tDCS for skill acquisition, while it is more consistent with other claims that temporal separation of the task and tDCS can reduce the effectiveness of stimulation for skill acquisition. The results of intergroup comparison in this study are in accordance with the studies of Chen et al. (2020), Reis et al. (2015), and Stagg et al. (2011). However, they are contradictory to studies such as Wilson et al. (2022), whose results showed that anodal tDCS applied to the primary motor cortex (M1) can increase manual precision and stability required for fine tasks, and the study of Weightman et al. (2020), who reported that M1 stimulation increases performance during hand and finger movements.

However, this study also has some limitations that should be acknowledged and addressed in future research. First, the participants were healthy adults with no neurological or motor impairments. Therefore, the generalizability of the results to other populations, such as patients with stroke or Parkinson's disease, or children or elderly people, is limited. Second, the task used in this study was a simple and repetitive object transfer task, which may not reflect the complexity and diversity of real-world human-robot interactions. Therefore, in future studies, it is suggested to evaluate the effects of multi-session and long-term stimulation on performance in people with reduced motor control ability.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Fateme Ziafati was responsible for the comprehensive collection of data required for this study. She meticulously gathered and organized the data, ensuring accuracy and reliability.

Mohammad Sadegh Ghasemi: As the supervisor of this research project, he provided critical oversight and guidance throughout the study. He ensured the research was conducted according to the highest scientific standards, offering strategic direction, and facilitating essential resources.

Ehsan Garosi: Contributed extensively to both the conceptual and practical aspects of the study. He was pivotal in designing the robot and developing the cognitive tasks used in the research. As the corresponding author, he also took a lead role in writing the manuscript, synthesizing the various elements of the study, and ensuring the clarity and

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

coherence of the final document.

Fatemeh Sadat Hosseini-Baharanchi performed rigorous data analysis, applied appropriate statistical methods, and interpreted the results.

Iman Sharifi contributed to the technical design and development of the robot used in the study. His expertise in robotics was vital in creating a reliable and functional robot, which was central to conducting the experiments.

OPEN ACCESS

©2024 The author(s). This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ETHICAL CONSIDERATION

Prior to participation, informed consent was obtained from all individual participants included in the study. Participants were assured of the confidentiality of their data and their right to withdraw from the study at any time without any consequence. The study strictly adhered to ethical guidelines to ensure the safety, well-being, and rights of all participants.

CODE OF ETHICS

This study was conducted in accordance with the ethical standards of the Institutional Review Board of Iran University of Medical Sciences. All procedures performed in this study involving human participants were approved by the Ethics Committee of Iran University of Medical Sciences (Ethics Code: IR.IUMS.REC.1401.102).

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

How to cite this article:
Fateme Ziafati, Mohammad Sadegh Ghasemi, Ehsan Garosi, Fatemeh Sadat Hosseini-Baharanchi, Iman Sharifi. Effect of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Fine Motor Skills in Human-Robot Interaction Tasks. Iran Occupational Health. 2024 (01 Nov);21:13.

***This work is published under CC BY-NC 4.0 licence**

سلامت کار ایران
دوره ۲۰۲۱ - ۱۳/۱۴۰۳

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

تاثیر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای آندی بر روی مهارت حرکتی ظریف دست در یک وظیفه ی تعاملی انسان– ربات

فاطمه ضیافتی: گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
محمد صادق قاسمی: دانشیار، گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
احسان گروسی: (* نویسنده مسئول) استادیار، گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران . eh.garosi@gmail.com
فاطمه سادات حسینی بهارانچی: استادیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
ایمان شریفی: استادیار، گروه کنترل، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: علارغم پیشرفت‌های قابل توجه رباتیک در حوزه های صنعتی، پزشکی، نظامی و خدماتی همچنان نقش عامل انسانی برای کنترل بهینه ربات ها حائز اهمیت می باشد. در این راستا، تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای (tDCS) به عنوان یک مداخله با پتانسیل بهبود عملکرد شناختی – حرکتی در حوزه تعامل انسان–ربات مطرح می باشد. مطالعه ی حاضر با هدف تعیین تاثیر tDCS آندی روی قشر حرکتی اولیه بر مهارت حرکتی دست در یک وظیفه تعاملی انسان – ربات طراحی شده است.

روش بررسی: در این مطالعه آزمایشگاهی از ۴۰ نفر بزرگسال سالم خواسته شد تا وظیفه جابه جایی مکعب ها را از طریق هدایت بازوی رباتیک، پیش و پس از اعمال tDCS واقعی (گروه مداخله) یا ساختگی (گروه کنترل) انجام دهند. پیش و پس از اعمال تحریک ساختگی و واقعی ، عملکرد افراد در وظیفه ی هدایت بازوی رباتیک با شاخص های عملکردی شامل تعداد خطا (انتقال، بازگشت و کل)، مدت زمان خطا، تعداد وظایف تکمیل شده و تعداد انجام صحیح وظایف به صورت همزمان توسط مدار هوشمند بازوی رباتیک ثبت می گردید. میزان تغییرات در شاخص های عملکرد(تفاضل نمرات پیش آزمون و پس آزمون)، درون گروه ها و بین گروه های مطالعه جهت تعیین تاثیرات اعمال تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای، با در نظر گرفتن سطح معناداری $p<۰,۰۵$ مقایسه گردید.

یافته ها: نتایج مقایسه درون گروهی نشان داد که تعداد وظایف تکمیل شده و تعداد خطای بازگشت پس از اعمال tDCS (واقعی و ساختگی) به صورت معناداری بهبود یافته است. همچنین تغییرات مدت زمان خطا و تعداد انجام صحیح وظایف به ترتیب برای تحریک واقعی و ساختگی معنادار بود. با این حال، مقایسه ی مقادیر میانگین و انحراف معیار تغییرات برای تمامی متغیرهای مطالعه، بیانگر عدم وجود تفاوت آماری معنادار بین گروه های مداخله وکنترل بود.

نتیجه گیری: از آنجایی که روند رو به بهبود برای اکثر متغیرها حین انجام وظیفه ی هدایت بازوی رباتیک هم در اعمال tDCS واقعی و هم ساختگی مشاهده شد و از طرفی مقادیر میانگین و انحراف معیار تغییرات در شاخص های عملکرد بین گروه ها تفاوت آماری معنادار نداشت، نمی توان به طور قطعی نتایج مشاهده شده در هر گروه را مربوط به نوع تحریک دریافتی دانست.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*
منبع حمایت کننده: *ندارد.*

کلیدواژه‌ها
تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای
قشر حرکتی اولیه
مهارت حرکتی
تعامل انسان – ربات

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۲۶

شیوه استناد به این مقاله:
Fateme Ziafati, Mohammad Sadegh Ghasemi, Ehsan Garosi, Fatemeh Sadat Hosseini-Baharanchi, Iman Sharifi. Effect of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Fine Motor Skills in Human-Robot Interaction Tasks. Iran Occupational Health. 2024 (01 Nov);21:13.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]
[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

مقدمه :

امروزه رباتیک را می توان در کاربردهای بسیاری از جمله کاربردهای صنعتی، پزشکی، نظامی و بسیاری از کاربردهای دیگر یافت (۱). بدین سبب تعامل انسان و ربات نیز یک زمینه ی به سرعت در حال توسعه است که نیازمند تحقیق در مورد جنبه های تعامل انسانی و مشارکت بسیار بیشتر جامعه عوامل انسانی نسبت به گذشته در مطالعات مربوط به این حوزه می باشد (۱۶) دانشمندان و متخصصان عوامل انسانی باید با ورود به این حوزه از فناوری، نقش انسان در اتوماسیون را نشان دهند (۱۷).

مهندسی فاکتورهای انسانی در رباتیک تأکید بر طراحی سیستم های ربات، روش های استفاده از آن ها، حفاظت از کاربران و تقسیم کار بین ربات ها و کارگران انسانی دارد و به دنبال بررسی چگونگی تعامل ربات ها و کسانی که با آن ها کار می کنند می باشد. از منظر مهندسی فاکتورهای انسانی، مهم ترین سوال تقسیم کار بین ربات و انسان است (۱۷). طبق نظر نوف و همکاران(۱۹۸۰)، زمانی که کار باید به دلایل ایمنی، محدودیت فضا، یا الزامات دقت خاص توسط ربات انجام شود یکی از مواردیست که ربات می تواند جایگزین اپراتور انسانی گردد تا بهبودهایی مانند ثبات بالاتر، کیفیت بهتر و غیره را به دنبال داشته باشد (۱۸). به عنوان مثال بازوی رباتیک دارای مزایای مختلفی است که می تواند بهتر از بازوی انسان باشد. اگرچه مفاصل ربات دارای درجه آزادی کمتری هستند، اما می توانند با زوایای بزرگ تر حرکت کنند. آرنج یک ربات مفصلی می تواند به بالا یا پایین خم شود در حالی که یک فرد فقط می تواند آرنج خود را در یک جهت نسبت به وضعیت بازوی مستقیم خم کند. ناگفته نماند که بازوی رباتیک صنعتی استفاده از فضای کف را به حداقل می رساند و ایمنی کارگران را بهبود می بخشد (۱). این فناوری کارهای تکراری را به دقت و با هزینه کمتر انجام می دهد و برای انجام کارهای خطرناک پیچیده مفید است (۱۹). علاوه بر صنعت، استفاده از رباتیک در حال نفوذ در بسیاری از حوزه های کاربردی دیگر، از جمله حوزه های پیشرفته جراحی(۲۰) و نیز کاربردهای آزمایشگاهی می باشد. برای مثال: ربات ها در انجام کارهای تکراری مانند قرار دادن لوله های آزمایش در وسایل اندازه گیری به تکنسین آزمایشگاه برای انجام کارهای خسته کننده بسیار کمک کننده بوده است . به ادعای طراحان سیستم های انسان -ربات در انجام کارهای دستی سه مزیت شامل افزایش بهره وری، بهبود کنترل کیفیت و کاهش قرار گرفتن انسان در معرض مواد شیمیایی مضر را خواهد داشت (۱).

لازم به ذکر است که یکی از ویژگی های مهم در سیستم های رباتیک بخش کنترلی آن می باشد که می تواند به صورت برنامه ریزی شده یا به صورت کنترل از راه دور توسط کاربران انجام پذیرد. ربات ها را می توان از طریق طیف گسترده ای از واسطه های کنترلی، مانند سیستم های دستیار شخصی دیجیتالی و تلفن های همراه سلولی گرفته تا نمایشگرهای چند صفحه ای با کنترلرهایی مانند جوی استیک، چرخ، و پدال ها از راه دور کنترل کرد (۲۱). در هدایت از راه دور توسط اپراتور انسانی، حفظ کنترل به جای آنکه از طریق نرم افزار برنامه ریزی شده صورت گیرد، توسط انسان انجام می شود (۱۷) و از این رو تابع مسائل مهم عوامل انسانی است (۲۲). در این راستا توجه به این نکته ضروریست که اگرچه ارتباط قوی بین توانایی های ذهنی فرد و مهارت دستی وجود دارد و نیز توانایی های مغز انسان باعث می شود سیستم کنترل انسانی نسبت به برخی سیستم های کنترلی دیگر قابلیت های بسیار بیشتری از جمله زمان پاسخ سریع، انعطاف پذیری ، سازگاری و نیز توانایی خدمت به عنوان یک پایگاه دانش گسترده داشته باشد (۲۳) اما همچنان چالش هایی در هدایت عملیات از راه دور توسط اپراتور انسانی وجود دارد زیرا در این عملیات، عملکرد اپراتور مشروط به مهارت های حرکتی او و توانایی اش برای حفظ آگاهی از موقعیت است. ساخت مدل های ذهنی از محیط های دور ، تخمین فاصله و تشخیص موانع نیز می تواند در کنترل عملیات از راه دور دشوار باشد چرا که پردازش ادراکی طبیعی از محیط فیزیکی جدا شده است و این جداسازی بر ادراک افراد از افوردانس چشم انداز از راه دور تأثیر می گذارد و اغلب مشکلاتی را در ادراک از راه دور مانند ابهام در مقیاس ایجاد می کند (۲۱). علاوه بر موارد ذکر شده، به طور کلی نیز انسان ها محدودیت های حرکتی ذاتی (مانند لرزش فیزیولوژیکی) و محدودیت های ادراکی (عمدتاً درک فاصله و زمان) دارند که می تواند مانع از عملکرد روان و دقیق آن ها برای کاربردهای خاص شود (۲۴) .

موارد عنوان شده حاکی از اهمیت نقش اپراتور انسانی در کنترل عملیات از راه دور می باشد و لزوم ارائه ی راهکارها و مداخلاتی جهت بهبود دو فاکتور پردازش ادراکی و مهارت های حرکتی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

اپراتور که از عوامل مهم در عملکرد اپراتور در انجام چنین وظایفی هستند را آشکار می سازد.

در این زمینه کاربرد کنترل ها و نمایشگرهای چند وجهی و بهبود آگاهی موقعیتی اپراتور، بهبود میدان دید، بهینه سازی زاویه دید دوربین و قرار دادن دوربین در ارتفاعی مطابق با ارتفاع طبیعی چشم (۲۱) از اقداماتی هستند که می توان جهت بهبود پردازش ادراکی اپراتور از آن ها نام برد. غربالگری افراد قبل از آموزش برای تعیین میزان مهارت دستی آن ها جهت آشکار شدن مشکلات فردی (۲۵)، کسب تجربه، تمرین یا یادگیری حرکتی(۲۶) ، بهینه سازی ارگونومیک کنترلر جهت بهبود عملکرد اپراتور (۲۷) نیز، از جمله اقداماتی می باشند که می توان برای بهبود مهارت دستی و حرکتی افراد به کار بست. ضمنا حرکات هماهنگ چشم نیز با بهبود عملکرد وظیفه ی دستی مرتبط است (۲۸) و در بزرگسالان هماهنگی چشم و دست به انجام کارآمد وظایف دستی کمک می کند (۲۹) زیرا سیستم بصری ورودی مهمی برای بهینه سازی رفتار اندام فوقانی ارائه می دهد (۲۸).

مضاف بر راهکارهای فوق الذکر، در سال های اخیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای نیز غالباً به عنوان یک فناوری با کاربرد آسان (۳۰) و به عنوان ابزاری امیدوارکننده برای تعدیل مهارت های شناختی و حرکتی مطرح شده است (۶). مکانیسم اصلی عمل آن یک مدولاسیون زیرآستانه پتانسیل های غشای عصبی است که تحریک پذیری و فعالیت قشر مغز را وابسته به مسیر جریان تغییر می دهد (۵) و در یک ناحیه هدفمند مغز به صورت غیر تهاجمی تعدیل کند (۳۱). محبوبیت این روش تحریک مغز، به این دلیل است که ایمن و ارزان بوده، اثرات آن طولانی مدت است و می توان با آن احتمال برانگیختگی سلول های عصبی در نزدیکی یک الکترود را افزایش داده و احتمال برانگیختگی سلول های عصبی در نزدیکی الکترود دیگر را کاهش داد (۷). با استفاده از تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای تحریک به راحتی قابل اجرا است و علاوه بر این، هیچ عارضه جانبی جدی بعد از استفاده از آن مشاهده نشده است (۳۲).

فواید تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای در بیماران مبتلا به سندرم های درد مزمن و شرایط عصبی روانپزشکی نشان داده شده است اما علیرغم آنکه در جمعیت سالم، علاقه علمی فزاینده ای به خواص تقویت کننده حرکتی این فناوری وجود دارد، تلاش ها برای تعیین کمیت تأثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای بر عملکرد حرکتی در افراد سالم کم و نیز محدود به بررسی مهارت های حرکتی دو دستی، یادگیری حرکتی و عملکرد ورزشی بوده است. بعلاوه صرف نظر از یافته های نوروفیزیولوژیکی، در مورد تأثیر این فناوری بر عملکرد حرکتی در افراد سالم، اتفاق نظر وجود ندارد (۱۱).

از آنجایی که مهارت دستی که به عنوان توانایی همگام سازی حرکت عضلات و بینایی بیان می شود (۲۵) جزء اصلی عملکرد دست می باشد (۳۳) و همچنین از دیدگاه ارگونومی، مهارت انگشت و دست در کنار چنگش از مهم ترین عملکردهای دست تلقی می گردند (۳۴) که در تعامل انسان ربات نیز از جنبه های تاثیرگذار در مهارت حرکتی مورد نیاز اپراتور جهت انجام وظیفه ی محوله می باشند که پیش تر نیز به آن اشاره شد، لذا در مطالعه ی حاضر تاکید ویژه ای بر این دسته از مهارت های حرکتی به عنوان یک عامل تاثیرگذار بر بهینه سازی تعامل انسان و ربات وجود دارد. بر همین اساس و به سبب کمبود مطالعاتی که اثرات تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای را به عنوان یک روش مداخله ای با رویکرد بهبود عملکرد شغلی در افراد سالم جوان بررسی کرده اند و اختلاف نظرهایی که همچنان در این حوزه وجود دارد، مطالعه ی حاضر با هدف تعیین تاثیر یک جلسه تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای روی مهارت حرکتی اپراتورهای کنترل از راه دور در یک وظیفه ی تعاملی انسان - ربات طراحی شده است.

مواد و روش ها

شرکت کنندگان

مجوز اخلاقی این مطالعه مداخله ای قبل از شروع، از کمیته اخلاق معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی ایران اخذ گردید. همه شرکت‌کنندگان برای شرکت در مطالعه رضایت نامه آگاهانه کتبی ارائه کردند و فرم غربالگری ایمنی t DCS برایشان تکمیل شد. ۴۰ نفر از دانشجویان دانشگاه علوم پزشکی ایران در مطالعه شرکت کردند. آزمودنی ها به طور تصادفی (تصادفی سازی بلوکی) در یکی از دو گروه t DCS واقعی (مداخله) یا ساختگی (کنترل) قرار گرفتند. در هر گروه ۱۰ نفر آقا و ۱۰ نفر خانم حضور داشتند. همه ی آزمودنی ها سالم، راست دست، در محدوده ی سنی ۳۵ - ۲۰ و دارای بینایی طبیعی یا تصحیح شده به حالت عادی بودند.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

شکل ۱. دیاگرام روند اجرای مطالعه

بعلاوه اینکه سایر معیارهای ورود را بر اساس موارد موجود در پرسشنامه غربالگری ایمنی t DCS پیشنهاد شده (۳۵) برآورده می کردند. هیچکدام از آزمودنی ها سابقه ی دریافت t DCS و نیز انجام وظیفه ی هدایت از راه دور نداشتند. همچنین آزمودنی ها هیچ سابقه ای از بیماری های اسکلتی عضلانی که ممکن است بر وظایف مهارت دستی تأثیر بگذارد را گزارش نکردند. از آزمودنی ها خواسته شد دوازده ساعت قبل از جلسات خواب کافی داشته و از مصرف مواد کافئین دار و نیکوتین دار حداقل از هشت ساعت قبل از جلسات اجتناب نمایند.

طراحی آزمایش

طرح مطالعه شامل دو جلسه آزمون به صورت پیش آزمون - پس آزمون با فاصله ی یک هفته در روز و ساعت مشابه برای هر نفر بود و به صورت ساختگی- کنترل و یک سو کور انجام شده است. از آن جایی که در مطالعه ی حاضر براساس ماهیت وظیفه ی طراحی شده (هدایت بازوی رباتیک) احتمال داده شد حافظه، تمرکز، سرعت واکنش و مهارت حرکتی ظریف پایه به نوعی در انجام وظیفه ی مذکور اثر گذار باشند، در جلسه ی اول پس از تکمیل فرم های رضایت نامه کتبی و غربالگری ایمنی، آزمون های فراخنای ارقام (آزمون تکرار رو به جلو ارقام ، از خرده آزمون های نسخه ی تجدیدنظر شده ی مقیاس هوش وکسلر برای بزرگسالان WAI S-R)، زمان واکنش (نسخه تحت وب طراحی شده توسط جیم آلن، ۲۰۰۲) و پورد و پگ بورد (آزمون دست راست براساس دستورالعمل لافیت، مدل ۳۲۰۲۰A) از آزمودنی ها اخذ گردید. بدین طریق آزمودنی ها از نظر معیارها و مهارت های تاثیرگذار احتمالی بر وظیفه ی هدایت بازوی رباتیک، غربالگری شدند. سپس آموزش های لازم در خصوص انجام وظیفه ی هدایت بازوی رباتیک و شاخص های عملکرد ارائه شد. پس از آن آزمودنی ها جهت آشنایی با وظیفه ی هدایت بازوی رباتیک، یک بار تمرین که شامل هدایت بازوی رباتیک جهت انتقال یک مکعب از نقطه مبدا به نقطه ی هدف بود را انجام می دادند و در نهایت پیش آزمون از آنان اخذ می گردید و متغیرهای وابسته به عنوان شاخص های عملکرد ثبت می شدند. پس از گذشت یک هفته از جلسه ی اول، هر آزمودنی در همان ساعت مشابه با جلسه ی پیشین خود، مجددا برای شرکت در جلسه ی دوم حضور یافت (تمام آزمایشات بین ساعات ۸:۳۰ صبح الی ۱۴:۳۰ بعد از ظهر انجام می شدند). در جلسه ی دوم پس از تعیین نقاط پدگذاری (C۳ , Fp۲) براساس آنکه هر آزمودنی با توجه به تصادفی سازی انجام شده در کدام گروه (مداخله یا کنترل) قرار داشته، t DCS واقعی یا ساختگی اعمال گردید. به سبب همسان سازی شرایط جلسات، آموزش های جلسه ی اول مجددا در حین اعمال تحریک تکرار شد و پس از پایان مدت زمان تحریک و برداشتن پدها، آزمودنی بلافاصله یک بار تمرین و سپس پس آزمون را مشابه با جلسه ی پیش آزمون انجام داد و شاخص های عملکرد مجددا ثبت شدند.

آزمون پوردو پگ بورد[1]

این آزمون به طور گسترده ای به عنوان معیاری برای سنجش مهارت دستی استفاده می شود. این تست ابتدا

1 Purdue Pegboard Test

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

در دهه ۱۹۴۰ به عنوان آزمونی برای سنجش مهارت دست ورزی برای انتخاب پرسنل در مشاغل صنعتی که نیاز به مهارت دست ورزی دارند مانند مونتاژ، بسته بندی، کار با ماشین های خاص و سایر کارهای دستی معمولی با ماهیت دقیق توسعه یافت. پوردیو پگ بورد مهارت را در دو نوع فعالیت که یکی مستلزم حرکات درشت بازوها، دست و انگشتان و دیگری مستلزم مهارت انگشتان می باشد اندازه گیری می کند (۳۶). عملکرد در این تست توسط هماهنگی حرکتی ظریف ، مهارت انگشت/دست و نیز عوامل دیگری از جمله توجه، تداوم حرکتی و وجود حرکات غیرطبیعی مانند لرزش در حالت استراحت و حرکات کوریفرم تعیین می‌شود (۳۷) . نمرات پایین نشان دهنده عملکرد ضعیف تر است زیرا امتیاز نشان می دهد که قطعات میله ای (پین) با چه سرعت و دقتی در سوراخ ها قرار می گیرند (۳۸). پوردیو پگ بورد شامل یک تخته چوبی مستطیل شکل با دو ردیف موازی با ۲۵ سوراخ در هر ردیف می باشد. در مطالعه حاضر به جهت آنکه تمام آزمودنی ها راست دست بودند و هدف از انجام آزمون پوردیو پگ بورد، تنها ارزیابی اولیه ی آزمودنی ها از نظر مهارت دست راست آنان (به عنوان یک متغییر اثرگذار محتمل بر وظیفه هدایت بازوی رباتیک) بود، فقط آزمون مرحله ی اول پگ بورد که شامل انجام آزمون با دست غالب (دست راست) می باشد از آنان اخذ گردید.

وظیفه و شاخص های عملکرد در پیش آزمون و پس آزمون

در مطالعه از یک بازوی رباتیک که با استفاده از یک قطعه ی پایه بر روی تخته ای با ابعاد ۱۰۰ * ۴۰ سانتی متر ثابت شده بود استفاده شد. کنترل بازوی رباتیک از طریق یک بورد کنترل دارای شش عدد تستر موتور مجهز به کنترولر گردشی انجام می شد. موتورهای بازوی رباتیک و تستر موتورهای بورد کنترل از یک تا شش شماره گذاری شدند و برای حرکت دادن قسمت های مختلف بازوی رباتیک، هر موتور به تست موتور هم شماره ی خود اتصال داده شد. جهت تهیه ی مسیر حرکتی بازوی رباتیک نیز از یک فریم با ابعاد ۸۰ * ۴۰ استفاده شد که میله های فلزی به صورت یک در میان به ضلع بالا و پایین آن نصب شده بودند.

آزمودنی ها در یک ایستگاه کاری مجهز به کنترلر به گونه ای قرار می گرفتند که زوایای وضعیتی اندام ها، از جمله زوایای خمش تنه، شانه و آرنج، زوایای دور شدن زندزیرین و شانه از خط میانی بدن و زاویه ی باز شدن مچ دست، در محدوده ی دامنه ی حرکتی طبیعی مربوط به خود قرار داشته باشند. ارتفاع صندلی نیز بر اساس قد هر شرکت کننده تنظیم می شد. از شش مکعب هر یک به ابعاد ۲ * ۲ * ۲ که با ورق آلومینیومی پوشانده و رسانا شده بودند به عنوان شی ای که باید توسط هدایت بازوی رباتیک از نقاط مبدا به نقاط هدف تعیین شده انتقال داده می شد، استفاده شد.

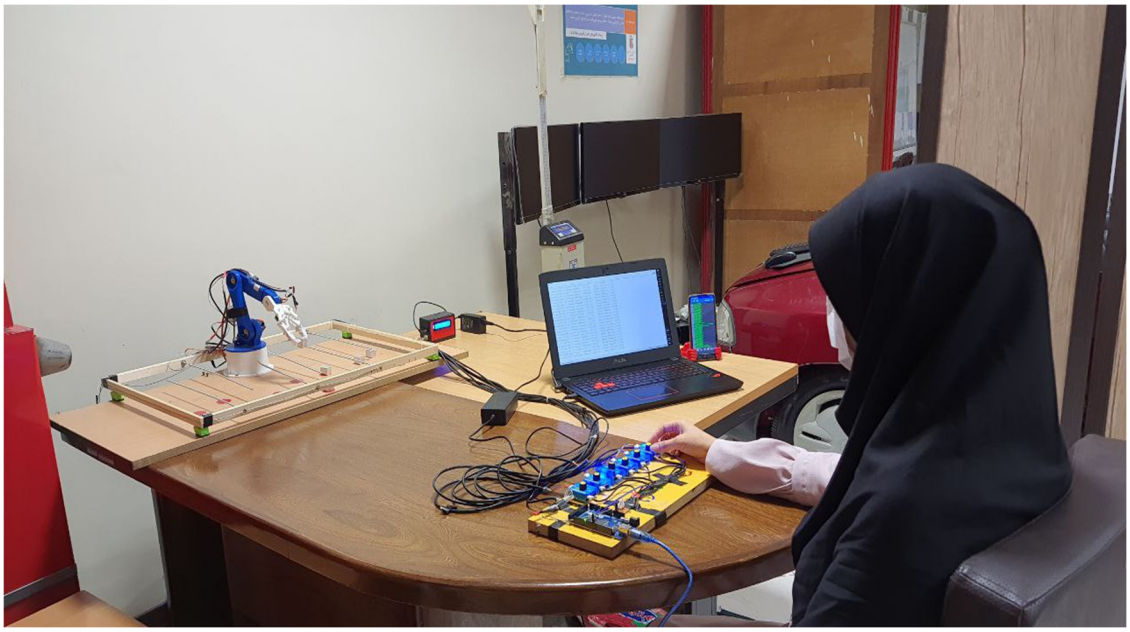
از آزمودنی ها خواسته شده بود که با چرخاندن سرولوم های پلاستیکی تستر موتورهای بورد کنترل، عملیات بازوی رباتیک را جهت انتقال مکعب ها در یک بازه ی زمانی دوازده دقیقه ای از ابتدا تا انتهای مسیر طراحی شده هدایت کنند. دو نقطه در ابتدای مسیر به عنوان نقاط مبدا و شش نقطه در طول مسیر به عنوان نقاط هدف علامت گذاری شدند. آزمودنی باید از طریق هدایت بازوی رباتیک هر بار یک مکعب را به صورت یک در میان از نقاط مبدا برداشته و به ترتیب در یکی از نقاط هدف قرار می داد. بدین صورت که نقطه ی مبدا شماره ی یک، به عنوان مبدا برای نقاط هدف اول، سوم و پنجم و مبدا شماره ی دو به عنوان مبدا برای نقاط هدف دوم، چهارم و ششم به شمار می رفتند. هر بار که آزمودنی یک مکعب را در نقاط مبدا توسط گریپر بازوی رباتیک گرفته و بر روی نقاط هدف از پیش تعیین شده قرار می داد، یک وظیفه تکمیل می شد. در صورتی که وظیفه ی تکمیل شده بدون خطا یعنی بدون برخورد مکعب و یا قسمت رسانای گریپر به میله های فلزی انجام می شد، یک انجام وظیفه ی صحیح و در صورت هر بار بروز خطا ، یک خطای انتقال ثبت می گردید. چنانچه پس از گذاشتن مکعب در نقاط هدف و پیش از برداشتن مکعب بعدی یعنی در زمان هدایت بازوی رباتیک برای بازگشت به نقاط مبدا، خطا رخ می داد، هر بار بروز خطا به عنوان یک خطای بازگشت محسوب شده و مجموع خطای انتقال و خطای بازگشت به عنوان خطای کل ثبت می شد. علاوه بر آن در هر بار بروز خطای انتقال یا خطای بازگشت، مدت زمان ماندن در حالت خطا یعنی مدت زمانی که مکعب یا گریپر متصل به میله ی فلزی باقی می ماندند، ثبت شده و مجموع مدت زمان خطا توسط نرم افزار مرتبط با برد آردوینو محاسبه می گردید.

تعداد مکعب انتقال داده شده یا تعداد وظیفه ی تکمیل شده (NTO[1]) ، تعداد انجام صحیح وظایف (NCTO[2])،

1 Number of transferred object
2 Number corected of transferred object

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]



شکل ۲. ایستگاه کار هدایت بازوی رباتیک

تعداد خطای انتقال(NTE[1])، بازگشت (NRE[2]) و کل (TNE[3]) و مدت زمان خطا (ED[4]) در دوازده دقیقه به عنوان شاخص های عملکرد یا شاخص های مهارت حرکتی در نظر گرفته شدند. این شاخص ها از طریق ثبت در نرم افزار برنامه نویسی شده ی آردوینو، مشاهده ی مستقیم و بررسی فیلم های ضبط شده از روند آزمون، جمع آوری و بازبینی شدند.

به آزمودنی ها گفته شد، عملکرد ایده آل در آزمون حالتی است که قادر باشند به گونه ای بین سرعت و دقت خود در حین هدایت بازوی رباتیک تعادل برقرار کنند تا در کمترین زمان بیشترین تعداد مکعب را با کمترین خطا انتقال دهند. همچنین از آزمودنی ها خواسته شده بود که برای چرخاندن سرولوم ها فقط از دست راست خود استفاده کنند.

پروتکل *t DCS*

در مطالعه از دستگاه : S / N ، Neurostim2 MD 2 – 8002، ساخت ایران، جهت اعمال تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای استفاده گردید (شکل شماره ۳). اندازه گیری های لازم و تعیین نقاط پدگذاری براساس سیستم نامگذاری ۲۰ - ۱۰ انجام شدند. پدهای کربنی درون پوشش های اسفنجی قرار گرفته و به محلول سدیم کلراید ۰,۹ درصد آغشته شدند تا ضمن افزایش رسانایی الکتریکی، مقاومت الکتریکی و عوارض جانبی ناشی از جریان کاهش یابد. بعد از قرار دادن پدها و پیش از اعمال تحریک، تست مقاومت جهت حصول اطمینان از اتصال الکترودها و شدت مناسب جریان عبوری انجام شد. در گروه مداخله ، الکترود آند با ابعاد ۵ * ۵ به عنوان الکترود فعال بر روی قشر حرکتی اولیه ی سمت چپ (C۳) و الکترود کاتد با ابعاد ۷ * ۵ به عنوان الکترود مرجع بر روی قسمت سوپراوربیتال سمت راست (Fp۲) قرار گرفته و با استفاده از نوارهای کشی در مکان خود ثابت شدند. سپس جریان مستقیم ۲ میلی آمپر به مدت ۲۰ دقیقه برای آزمودنی اعمال شد. مدت زمان افزایش و کاهش تدریجی جریان در ابتدا و انتهای تحریک ۶۰ ثانیه بود. در این پروتکل تحریک یک بار انجام می شد. در گروه کنترل، مکان قرارگیری الکترودها مانند گروه مداخله بود با این تفاوت که به سبب همانند سازی ادراکات پوستی مانند خارش و سوزن سوزن شدن مرتبط با تغییر جریان و کورسازی آزمودنی ها از نوع تحریک دریافتی، جریان الکتریکی به تدریج در طول ۶۰ ثانیه ی اول وارد می شد اما در طول آزمایش جریانی اعمال نمی شد. در طول جلسات آزمودنی ها در هر دو گروه مداخله و کنترل از نوع تحریک دریافتی بی اطلاع بودند.

1 Number of transfer error
2 Number of return error
3 Total number of error
4 Error duration

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]
[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

شکل ۳. دستگاه tDCS (Neurostim2)

جدول ۱. نتایج مقایسه ی مقادیر میانگین و انحراف معیار نمرات متغیرهای غربالگری شده و سن بین گروه های مداخله و کنترل

متغیر	گروه	انحراف معیار± میانگین	سطح معناداری
سن (غیر نرمال)	گروه مداخله	۲۴/۵۰ ± ۴/۹۰	۰/۹۷
	گروه کنترل	۲۴/۳ ± ۴/۲۳	
زمان واکنش(نرمال)	گروه مداخله	۰/۶۲ ±۰/۴	۰/۶۷
	گروه کنترل	۰/۶۳ ±۰/۰۲	
عملکرد در تست پگ بورد (نرمال)	گروه مداخله	۱۸/۴۰ ± ۱/۲۳	۰/۶۳
	گروه کنترل	۱۸/۲۰ ± ۱/۴۳	
فراخنای ارقام (نرمال)	گروه مداخله	۸/۴۰ ± ۱.۳۹	۱
	گروه کنترل	۸/۴۰ ± ۱.۳۹	

بسته به نرمال و غیر نرمال بودن متغیر ها به ترتیب از آزمون های (تی مستقل) (من ویتنی) استفاده شده است.

تجزیه وتحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. برقراری فرض نرمالیتی برای تمام داده ها با استفاده از آزمون شاپیرو- ویلک بررسی شد. برای متغیرهای مربوط به آزمون های غربالگری (زمان واکنش، فراخنای ارقام، پورد و پگ بورد) و متغیر سن ، درصورتی که داده ها از توزیع نرمال برخوردار بودند برای تعیین وجود یا عدم وجود تفاوت آماری معنادار بین گروه ها از تی تست مستقل و در صورت عدم برخورداری از توزیع نرمال از آزمون من ویتنی استفاده شد.

پس از آن متغیرهای وابسته ی ثبت شده در پیش آزمون و پس آزمون که تحت عنوان شاخص های عملکرد یا مهارت حرکتی (TNE، NRE، NTE و ...) به آن ها اشاره شد ، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. درصورتی که داده ها از توزیع نرمال برخوردار بودند، از آزمون های تی زوجی جهت مقایسه ی عملکرد بین پیش آزمون و پس آزمون در هر یک از گروه ها و از آزمون تی مستقل جهت مقایسه ی تاثیرات اعمال t DCS واقعی و ساختگی (بین گروه ها) استفاده شد و چنانچه داده ها فاقد توزیع نرمال بودند، آزمون ویلکاکسون برای مقایسه ی عملکرد بین پیش آزمون و پس آزمون در هر یک از گروه ها و آزمون من ویتنی برای مقایسه ی تاثیرات اعمال تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه ای واقعی و ساختگی (بین گروه ها) به کار برده شدند. مقادیر p-value کمتر از ۵ درصد معنادار در نظر گرفته شدند.

نتایج

یافته ها در آزمون های غربالگری

هیچ تفاوت آماری معناداری در میانگین و انحراف معیار نمرات زمان واکنش، فراخنای ارقام، پورد و پگ بورد و همچنین سن بین گروه های مداخله و کنترل مشاهده نشد (p-value > ۰.۰۵).

یافته ها درسطح درون گروهی

در گروه مداخله، نتایج مقایسه ی میانگین و انحراف معیار نمرات پیش آزمون و پس آزمون با یکدیگر نشان

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

جدول ۲. نتایج مقایسه ی درون گروهی و بین گروهی مقادیر میانگین و انحراف معیار تغییرات در/ بین گروه های مداخله و کنترل

متغیر	گروه	تفاضل پیش آزمون و پس آزمون (تغییرات) انحراف معیار ± میانگین	سطح معناداری درون گروهی	سطح معناداری بین گروهی
NTE	مداخله (نرمال)	۰/۰۰ ± ۱/۰۲	۱	۰/۸۸
	کنترل (نرمال)	۰/۰۵ ± ۱/۱۴	۰/۸۴	
NRE	مداخله (نرمال)	-۰/۶۵ ± ۱/۱۸	۰/۰۲*	۰/۷۶
	کنترل (نرمال)	-۰/۵۵ ± ۰/۹۴	۰/۰۱*	
TNE	مداخله (نرمال)	-۰/۶۸ ± ۱/۸۱	۰/۱۲	۰/۷۹
	کنترل (نرمال)	-۰۰/۵۰ ± ۱/۷۶	۰/۲۲	
NCTO	مداخله (نرمال)	۰/۵۰ ± ۱/۳۱	۰/۱۰	۰/۳۹
	کنترل (نرمال)	۰/۸۵ ± ۱.۲۶	۰/۰۰*	
NTO	مداخله (غیر نرمال)	۰/۴۵ ± ۰/۸۸	۰/۰۳*	۰/۰۶
	کنترل (نرمال)	۰/۹۰ ± ۰/۸۵	۰/۰۰*	
ED	مداخله (غیر نرمال)	-۰/۹۷ ± ۱/۴۳	۰/۰۰*	۰/۴۳
	کنترل (غیر نرمال)	-۰/۵۳ ± ۱/۸۵	۰/۱۹	

NTE : تعداد خطای انتقال، NRE : تعداد خطای بازگشت، TNE : تعداد خطای کل، NCTO: تعداد انجام صحیح وظایف، NTO : تعداد مکعب انتقال داده شده یا وظیفه ی تکمیل شده ، ED : مدت زمان خطا

* نشان دهنده ی تفاوت معنادار

بسته به برقراری توزیع نرمال یا عدم توزیع نرمال از آزمون های تی زوجی یا ویلکاکسون (مقایسه ی درون گروهی) و تی مستقل یا من ویتنی (مقایسه ی بین گروهی) استفاده شده است.

داد که میانگین نمرات NRE و ED در پس آزمون نسبت به پیش آزمون کاهش معنادار و میانگین NTO در پس آزمون نسبت به پیش آزمون افزایش معنادار داشته است (p-value < ۰.۰۵) اما در میانگین و انحراف معیار نمرات سایر متغیرها بین پیش آزمون و پس آزمون تفاوت آماری معنادار مشاهده نشد (p-value > ۰.۰۵).

در گروه کنترل، نتایج مقایسه ی میانگین و انحراف معیار نمرات پیش آزمون و پس آزمون با یکدیگر نشان داد که میانگین و انحراف معیار نمرات NCTO ، NRE و NTO بین پیش آزمون و پس آزمون از نظر آماری تفاوت معنادار دارند(p-value < ۰.۰۵). میانگین NCTO و NTO در پس آزمون نسبت به پیش آزمون افزایش و میانگین NRE کاهش یافته است اما در میانگین و انحراف معیار نمرات سایر متغیرها بین پیش آزمون و پس آزمون تفاوت آماری معنادار مشاهده نشد (p-value > ۰.۰۵).

یافته ها در سطح بین گروهی

نتایج مقایسه ی میانگین و انحراف معیار نمرات پیش آزمون و همچنین مقایسه ی میانگین و انحراف معیار نمرات پس آزمون، بین گروه های مداخله و کنترل تفاوت آماری معنادار نشان نداد(p-value > ۰.۰۵). بعلاوه نتایج مقایسه ی میانگین و انحراف معیار تفاضل نمرات پیش آزمون و پس آزمون(میزان تغییرات)، تفاوت آماری معنادار بین گروه های مداخله وکنترل نشان نداد(p-value > ۰.۰۵).

در جدول **۲**، برای متغیرهای TNE ، NRE ، NTE و ED مقادیر میانگین منفی و برای متغیرهای NCTO و NTO مقادیر میانگین مثبت تفاضل نمرات پیش آزمون و پس آزمون (تغییرات)، نشان دهنده ی بهبود عملکرد در پس آزمون نسبت به پیش آزمون در گروه مورد بررسی می باشد.

بحث

در مطالعه ی حاضر با تمرکز بر مهارت حرکتی ظریف دست که در واقع حرکات کوچک و دقیقی می باشند که با دست ها و انگشتان دست انجام می گیرند و نیز با تکیه بر مطالعات پیشین که tDCS را غالباً به عنوان یک ابزار امیدوارکننده برای تعدیل مهارت های شناختی و حرکتی مطرح کرده اند، پتانسیل یک جلسه tDCS آندی اعمال شده در حالت آفلاین بر روی قشر حرکتی اولیه ی سمت چپ (LM1) جهت بهبود مهارت حرکتی ظریف دست راست در انجام یک وظیفه ی تعاملی انسان – ربات (طراحی شده در مقیاس کوچک) بررسی شد. در این راستا متغیرهای تعداد خطا، مدت زمان خطا، تعداد

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

مکعب انتقال داده شده یا تعداد وظیفه ی تکمیل شده و تعداد انجام صحیح وظایف در طول مدت دوازده دقیقه به عنوان شاخص های عملکرد (شاخص های مهارت حرکتی ظریف دست) در دستکاری سرولوم های پنل کنترل جهت هدایت یک بازوی رباتیک در مسیری از پیش تعیین شده در نظر گرفته شدند.

نتایج آزمون های آماری مقایسه ای، تفاوت آماری معنادار در میانگین نمرات آزمون های غربالگری (زمان واکنش ، تست پورد و پگ بورد و فراخنای ارقام) بین گروه های مداخله و کنترل نشان نداد. بعلاوه از نظر میانگین سنی نیز در بین گروه های مداخله و کنترل تفاوت آماری معنادار مشاهده نشد. بنابراین در مطالعه ی حاضر از کنترل اثر متغیرهای مربوط به آزمون های غربالگری و نیز متغیر سن به عنوان عامل مخدوشگر احتمالی صرف نظر گردید.

در بررسی نتایج مربوط به متغیرهای وابسته (شاخص های عملکرد) در وظیفه ی تعاملی انسان - ربات ، در گروه کنترل برای متغیر NTE یک روند در جهت کاهش عملکرد(افزایش تعداد خطای انتقال در پس آزمون نسبت به پیش آزمون) مشاهده شد اما میزان کاهش در عملکرد مذکور از نظر آماری معنادار نبود($p=0.84$). مقادیر میانگین و انحراف معیار تغییرات برای سایر شاخص های عملکرد، یک روند رو به بهبود را در هر دو گروه مداخله و کنترل نشان داد که از نظر آماری در برخی موارد معنادار و در برخی موارد بی معنی بودند(جدول ۲).

اگرچه میانگین و انحراف معیار تغییرات برای شاخص های NRE و NTO در هر دو گروه، برای ED در گروه مداخله و برای NCTO در گروه کنترل از نظر آماری معنادار بوده است اما به علت اینکه در نهایت مقایسه ی میانگین و انحراف معیار تغییرات برای هیچ یک از شاخص های عملکرد تفاوت آماری معناداری را بین دو گروه نشان نداده است، نمی توان به طور قطعی مشاهدات مذکور را ناشی از نوع تحریک دریافتی دانست چرا که ممکن است عامل دیگری همچون آشنایی با وظیفه و انتقال یادگیری در نتایج اثرگذار بوده باشند. در این خصوص در مطالعه ای از ساندرینی و همکاران (۲۰۱۲) نیز به وجود شواهدی مبنی بر اینکه یک دوره کوتاه تمرین یا حتی افزایش آشنایی با کار می‌تواند عملکرد حافظه ی کاری را بهبود بخشد، اشاره شده است (۳۹) هر چند وظیفه ی مورد بررسی در مطالعه ی حاضر با آنچه در مطالعه ی مذکور (۳۹) به آن اشاره شده متفاوت است، اما با این حال دور از ذهن نیست که در مطالعه ی حاضر نیز به سبب آموزش و تمرین، اثر یادگیری اتفاق افتاده باشد به ویژه آنکه آزمودنی ها در طی جلسه ی پیش آزمون ممکن است استراتژی های خاص خود را برای هدایت بازوی رباتیک به گونه ای که منجر به عملکرد مطلوب تر در جلسه ی پس آزمون شود، کسب کرده و به خاطر سپرده باشند.

همان طور که در مطالعه ای از چن و همکاران (۲۰۲۰) نیز اشاره شده است، فقدان تفاوت بین گروه های مداخله و کنترل می تواند اعتماد به پتانسیل t DCS آفلاین را برای کسب مهارت تضعیف نماید در حالی که با سایر ادعاها مبنی بر اینکه جداسازی زمانی وظیفه و تحریک t DCS آندی می تواند اثربخشی تحریک را برای کسب مهارت کاهش دهد سازگارتر است (۱۲). از این نظر نتایج مقایسه ی بین گروهی در این مطالعه مطابق با مطالعات چن و همکاران (۲۰۲۰)، رِیس و همکاران (۲۰۱۵) و استگ و همکاران (۲۰۱۱) می باشد (۱۲-۱۴) و با مطالعاتی نظیر مطالعه ی ویلسون همکاران (۲۰۲۲) که نتایج آن نشان داد t DCS آندی اعمال شده در قشر حرکتی اولیه (M۱)، می‌تواند دقت دستی و ثبات مورد نیاز برای کارهای ظریف را افزایش دهد (۸) و با مطالعه ی ویتمن و همکاران (۲۰۲۰) که گزارش شده تحریک M۱ عملکرد را در طول حرکات دست و انگشت افزایش می دهد (۱۵) متناقض است.

از دلایل تناقض نتایج مطالعه ی حاضر با مطالعه ی ویلسون همکاران (۲۰۲۲) شاید بتوان به تفاوت در وظایف، روند اجرا و نیز تفاوت در عضو هدف اشاره نمود که در مطالعه ی مذکور (۸) برخلاف مطالعه ی حاضر عملکرد برای دست غیرغالب بررسی شده بود، در همین راستا مطالعه ای از بوگیو و همکاران (۲۰۰۶) که تاثیرات t DCS آندی روی M۱ را برای عملکرد دست غالب و غیرغالب بررسی کرده است نیز، افزایش معناداری در عملکرد حرکتی دست غیر غالب و عدم بهبود عملکرد در دست غالب را نشان داده بود (۴۰). در خصوص مطالعه ی ویتمن و همکاران(۲۰۲۰) نیز حضور سالمندان علاوه بر جوانان در نمونه ی مورد بررسی آن مطالعه (۱۵) و نیز تفاوت در روند اجرا می تواند از جمله دلایل تفاوت در نتایج مطالعه ی مذکور با مطالعه ی حاضر باشد. علاوه بر این در مطالعه ی ویتمن و همکاران(۲۰۲۰) از یک جوی استیک برای انجام وظیفه ی مربوط به بررسی عملکرد دست و انگشتان استفاده شده است (۱۵) در صورتی که در مطالعه ی حاضر هدایت بازوی رباتیک توسط آزمودنی ها از طریق چرخاندن سرولوم های کوچک انجام می شد.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

چرخاندن سرولوم به جای استفاده از جوی استیک می تواند وضعیت متفاوتی در دست و انگشتان ایجاد کند که احتمالا باعث می شود مهارت متفاوتی را نیز برای انجام وظیفه نسبت به مطالعه مذکور طلب نماید. ضمنا وظیفه ی مورد بررسی در مطالعه ی ویتمن و همکاران(۲۰۲۰) یک وظیفه ی چرخش دیداری حرکتی است (۱۵) که دارای سطح دشواری متفاوتی نسبت به وظیفه ی طراحی شده در مطالعه ی حاضر می باشد. از آن جایی که سطح دشواری وظیفه که یکی از عناصر زمینه ای آزمایشات می باشد، در مطالعات پیشین (۴۱-۴۳) به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار در تعیین اثرات t DCS گزارش شده است، بنابراین سطوح متفاوت دشواری وظیفه در مطالعه ی ویتمن و همکاران(۲۰۲۰) و مطالعه ی حاضر نیز احتمالا از دلایل تفاوت در نتایج بین این دو مطالعه می باشد.

نکته ی حائز اهمیت در مطالعه ی حاضر این است که به علت حضور هر دو جنسیت (آقا و خانم) در مطالعه ، این احتمال وجود دارد که عامل جنسیت در افزایش یا کاهش تغییرات مشاهده شده ناشی از t DCS اثرگذار بوده باشد. در این راستا برخی از مطالعات پیشین مانند مطالعه ی لاکسو و همکاران (۲۰۱۹) و دیوو همکاران (۲۰۲۱) نشان داده بودند که علیرغم عدم تفاوت معنادار بین t DCS واقعی و ساختگی در سطح گروه ، اندازه و/ یا جهت پاسخ بین افراد متفاوت است و علت این امر را متوجهه تفاوت های فردی دانستند (۴۴, ۴۵) و از طرفی نتایج مطالعاتی مانند مطالعه ی کو و همکاران (۲۰۰۶) و چایب و همکاران (۲۰۰۸) عامل جنسیت را به عنوان یک تفاوت فردی تاثیرگذار در نتایج حاصل از t DCS نشان دادند (۴۶, ۴۷). بنابراین اگر نتایج در سطح بین فردی و نیز با در نظر گرفتن تفاوت های بین جنسیت ها بررسی می شد، این امکان وجود داشت که نتایج متفاوتی حاصل شود.

بعلاوه حجم نمونه نیز فرضیه ی دیگری است که برای عدم مشاهده ی تفاوت آماری معنادار بین گروه ها از نظر میانگین تغییرات در شاخص های عملکرد می توان مطرح نمود. در مطالعات پیشین t DCS نیز به حجم نمونه به عنوان عاملی که می تواند منجر به کاهش یا افزایش در اثرات مشاهده شده و مبهم شدن نتایج شود اشاره شده است (۹, ۴۸, ۴۹). در مطالعه ی حاضر به علت اینکه مقایسه ی ما براساس میانگین تغییرات است و نه براساس تغییرات فردی، این امکان به ویژه برای شاخص هایی که با مقیاس تعداد ثبت شده اند وجود دارد که تقریبا مشابه با آنچه در مطالعه ی دیوو و همکاران (۲۰۲۱) اظهار شده، تغییرات مثبت و منفی در مواردی یکدیگر را خنثی کرده باشند (۴۵) و میزان تغییراتی که باقی مانده است برای معنادار شدن میانگین تغییرات در مقایسه ی بین گروه ها کافی نبوده باشد.

نتیجه گیری

اگرچه براساس نتایج مطالعه ی حاضر نمی توان نتیجه گیری قطعی درخصوص پتانسیل یک جلسه t DCS آندی بر روی M1 در حالت آفلاین داشت اما نمی توانیم کارایی t DCS را در تعدیل آنچه به عنوان شاخص های عملکرد یا شاخص های مهارت حرکتی دست ذکر کردیم انکار کنیم. زیرا تنظیمات متنوعی مانند شکل یا اندازه ی الکترود ، موقعیت الکترود، تعداد جلسات تحریک، شدت و مدت زمان تحریک، فاصله ی زمانی بین تحریک و وظیفه و آنلاین یا آفلاین بودن تحریک در تعامل با مواردی از جمله نوع وظیفه، سطح دشواری وظیفه و تنوع بین فردی، می توانند بر کارایی t DCS تأثیر بگذارند. بنابراین در مطالعات آتی پیشنهاد می گردد تا اثرات تحریکات چند جلسه ای و طولی بر میزان عملکرد روی افراد با ویژگی های کاهش توانایی عملکردی ارزیابی گردد.

محدودیت ها

تکیه بر سیستم نامگذاری ۲۰-۱۰ برای موضعی کردن قشر حرکتی اولیه به جای استفاده از روش هایی مانند TMS برای موقعیت یابی دقیق تر قشر حرکتی اولیه، فقدان معیارهای نوروفیزیولوژیکی، عدم استفاده از روش های تصویربرداری مانند تصاویر تشدید مغناطیسی کارکردی (f MRI) و تصاویر تشدید مغناطیسی ساختاری (s MRI)، عدم در نظر گرفتن تفاوت های فردی، عدم انجام آزمایشات هورمونی برای خانم ها جهت تعیین سطوح هورمونی و فاز دقیق چرخه ی قاعدگی به منظور کنترل اثرات هورمونی از جمله محدودیت های مطالعه ی حاضر بوده است. پیشنهاد می گردد تا از روش هایی مانند TMS به جای سیستم EEG ۲۰-۱۰ برای موقعیت یابی دقیق تر منطقه ی هدف استفاده شود. همچنین انجام آزمایشات هورمونی برای خانم ها جهت تعیین سطوح هورمونی و فاز دقیق چرخه ی قاعدگی می تواند برای مطالعاتی بعدی به عنوان یک معیار ورود در نظر گرفته شود.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

حمایت مالی
این مطالعه حمایت مالی نداشته است.

ملاحظات اخلاقی
قبل از شرکت، رضایت آگاهانه از همه شرکت کنندگان مطالعه اخذ شد. به شرکت کنندگان از محرمانه بودن داده های خود و حق خروج از مطالعه در هر زمان بدون هیچ گونه عواقبی اطمینان داده شد. این مطالعه از دستورالعمل های اخلاقی برای اطمینان از ایمنی، رفاه و حقوق همه شرکت کنندگان پیروی کرد.

کد اخلاق
این مطالعه مطابق با استانداردهای کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران انجام شد. کلیه مراحل انجام شده در این مطالعه شامل شرکت کنندگان انسانی توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران (کد اخلاقی: IR.IUMS.REC.۱۴۰۱,۱۰۲) تایید شد.

مشارکت نویسندگان
فاطمه ضیافتی: جمع آوری جامع داده های مورد نیاز این پژوهش و نوشتن مقاله

محمدصادق قاسمی: نظارت و راهنمایی در طول مطالعه

احسان گروسی: مشارکت در جنبه های مفهومی و عملی مطالعه، طراحی ربات و توسعه وظایف شناختی، نویسنده متناظر و ویرایش مقاله

فاطمه سادات حسینی بهارانچی: تجزیه و تحلیل دقیق آماری داده ها و مشاوره آماری

ایمان شریفی: الزامات فنی و توسعه ای ربات مورد استفاده در این مطالعه

دسترسی آزاد
کپی‌رایت نویسنده(ها) ©2024: این مقاله تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 اجازهٔ استفاده، اشتراک‌گذاری، اقتباس، توزیع و تکثیر را در هر رسانه یا قالبی مشروط بر درج نحوهٔ دقیق دسترسی به مجوز CC، منوط به ذکر تغییرات احتمالی بر روی مقاله می‌داند. لذا به استناد مجوز یادشده، درج هرگونه تغییرات در تصاویر، منابع و ارجاعات یا سایر مطالب از اشخاص ثالث در این مقاله باید در این مجوز گنجانده شود، مگر اینکه در راستای اعتبار مقاله به اشکال دیگری مشخص شده باشد. در صورت درج نکردن مطالب مذکور و یا استفادهٔ فراتر از مجوز بالا، نویسنده ملزم به دریافت مجوز حق نسخه‌برداری از شخص ثالث است.

به‌منظور مشاهدهٔ مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 به نشانی زیر مراجعه شود:

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

REFRENCES

1. Almurib HA, Al-Qrimli HF, Kumar N, editors. A review of application industrial robotic design. 2011 Ninth International Conference on ICT and Knowledge Engineering; 2012: IEEE.
2. Council NR. Virtual reality: scientific and technological challenges: National Academies Press; 1995.
3. Luo J, He W, Yang C. Combined perception, control, and learning for teleoperation: key technologies, applications, and challenges. Cognitive Computation and Systems. 2020;2(2):33-43.
4. Laurikkala M, Suzuki S, Vilkko M, editors. Predicting operator's cognitive and motion skills from joystick inputs. IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society; 2016: IEEE.
5. Purpura DP, McMurtry JG. Intracellular activities and evoked potential changes during polarization of motor cortex. J Neurophysiol. 1965;28(1):166-85.
6. Thair H, Holloway AL, Newport R, Smith AD. Transcranial direct current stimulation (tDCS): a beginner's guide for design and implementation. Front Neurosci. 2017;11:641.
7. Reinhart RM, Cosman JD, Fukuda K, Woodman GF. Using transcranial direct-current stimulation (tDCS) to understand cognitive processing. Attention, Perception, & Psychophysics. 2017;79:3-23.
8. Wilson MA, Greenwell D, Meek AW, Poston B, Riley ZA. Neuroenhancement of a dexterous motor task with anodal tDCS. Brain Research. 2022;1790:147993.
9. Cuypers K, Leenus DJ, van den Berg FE, Nitsche MA, Thijs H, Wenderoth N, et al. Is motor learning mediated by tDCS intensity? PLoS One. 2013;8(6):e67344.
10. Rumpf J-J, Wegscheider M, Hinselmann K, Fricke C, King BR, Weise D, et al. Enhancement of motor consolidation by post-training transcranial direct current stimulation in older people. Neurobiol Aging. 2017;49:1-8.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

11. Patel R, Ashcroft J, Patel A, Ashrafian H, Woods AJ, Singh H, et al. The impact of transcranial direct current stimulation on upper-limb motor performance in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. Front Neurosci. 2019;13:1213.
12. Chen J, McCulloch A, Kim H, Kim T, Rhee J, Verwey WB, et al. Application of anodal tDCS at primary motor cortex immediately after practice of a motor sequence does not improve offline gain. Exp Brain Res. 2020;238:29-37.
13. Reis J, Fischer JT, Prichard G, Weiller C, Cohen LG, Fritsch B. Time-but not sleep-dependent consolidation of tDCS-enhanced visuomotor skills. Cereb Cortex. 2015;25(1):109-17.
14. Stagg C, Jayaram G, Pastor D, Kincses Z, Matthews P, Johansen-Berg H. Polarity and timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation in explicit motor learning. Neuropsychologia. 2011;49(5):800-4.
15. Weightman M, Brittain J-S, Punt D, Miall RC, Jenkinson N. Targeted tDCS selectively improves motor adaptation with the proximal and distal upper limb. Brain Stimul. 2020;13(3):707-16.
16. Sheridan TB. Human–robot interaction: status and challenges. Hum Factors. 2016;58(4):525-32.
17. Parsons HM, Kearsley GP. Robotics and human factors: Current status and future prospects. Hum Factors. 1982;24(5):535-52.
18. Nof SY, Knight Jr JL, Salvendy G. Effective utilization of industrial robots—A job and skills analysis approach. AIIE Transactions. 1980;12(3):216-25.
19. Javaid M, Haleem A, Singh RP, Suman R. Substantial capabilities of robotics in enhancing industry 4.0 implementation. Cognitive Robotics. 2021;1:58-75.
20. Hancock PA, Billings DR, Schaefer KE, Chen JY, De Visser EJ, Parasuraman R. A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. Hum Factors. 2011;53(5):517-27.
21. Chen JY, Haas EC, Barnes MJ. Human performance issues and user interface design for teleoperated robots. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews). 2007;37(6):1231-45.
22. Doisy G, Ronen A, Edan Y. Comparison of three different techniques for camera and motion control of a teleoperated robot. Applied ergonomics. 2017;58:527-34.
23. Farrugia M, Saliba MA. Optimisation of anthropomorphic robot hand design through human manual dexterity testing. 2006.
24. Muñoz Morgado LM. Improving ergonomics in teleoperation. Journal of Ergonomics. 2014;4(3):e125-e.
25. Neves TdC, Garcia PPNS. Use of manual dexterity tests in dental education. Journal of advances in medicine and medical research. 2018;27(12):1-7.
26. Ghasemian M, Taheri H, Saberi Kakhki A, Ghoshuni M. Electroencephalography pattern variations during motor skill acquisition. Perceptual and Motor Skills. 2017;124(6):1069-84.
27. Huysmans MA, De Looze MP, Hoozemans MJ, Van der Beek AJ, Van Dieen JH. The effect of joystick handle size and gain at two levels of required precision on performance and physical load on crane operators. Ergonomics. 2006;49(11):1021-35.
28. de Brouwer AJ, Flanagan JR, Spering M. Functional use of eye movements for an acting system. Trends Cogn Sci. 2021;25(3):252-63.
29. Land MF, Hayhoe M. In what ways do eye movements contribute to everyday activities? Vision Res. 2001;41(25-26):3559-65.
30. Schroeder PA, Plewnia C. Beneficial effects of cathodal transcranial direct current stimulation (tDCS) on cognitive performance. Journal of Cognitive Enhancement. 2017;1:5-9.
31. Robert-Lachaine X, Corbeil P, Muller A, Vallée-Marcotte J, Mecheri H, Denis D, et al. Combined influence of transfer distance, pace, handled mass and box height on spine loading and posture. Applied ergonomics. 2021;93:103377.
32. Mondino M, Bennabi D, Poulet E, Galvao F, Brunelin J, Haffen E. Can transcranial direct current stimulation (tDCS) alleviate symptoms and improve cognition in psychiatric disorders? The World Journal of Biological Psychiatry. 2014;15(4):261-75.
33. Yancosek KE, Howell D. A narrative review of dexterity assessments. Journal of Hand Therapy. 2009;22(3):258-70.
34. Chan T. An investigation of finger and manual dexterity. Perceptual and Motor Skills. 2000;90(2):537-42.
35. Bornheim S, Croisier J-L, Maquet P, Kaux J-F. Proposal of a new transcranial direct current stimulation safety screening tool. Am J Phys Med Rehabil. 2019;98(7):e77-e8.
36. Tiffin J, Asher EJ. The Purdue Pegboard: norms and studies of reliability and validity. J Appl Psychol. 1948;32(3):234.
37. Brito G, Santos-Morales TR. Developmental norms for the Gardner Steadiness Test and the Purdue Pegboard: a study with children of a metropolitan school in Brazil. Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 2002;35:931-49.
38. Poyraz Findik OT, Erdogdu AB, Fadiloglu E. Motor skills in children with specific learning disorder: A controlled study. Dusunen Adam: Journal of Psychiatry & Neurological Sciences. 2022;35(2).
39. Sandrini M, Fertonani A, Cohen LG, Miniussi C. Double dissociation of working memory load effects induced by bilateral parietal modulation. Neuropsychologia. 2012;50(3):396-402.
40. Boggio PS, Castro LO, Savagim EA, Braite R, Cruz VC, Rocha RR, et al. Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]

stimulation. Neurosci Lett. 2006;404(1-2):232-6.
41. Kwon YH, Kang KW, Son SM, Lee NK. Is effect of transcranial direct current stimulation on visuomotor coordination dependent on task difficulty? Neural Regeneration Research. 2015;10(3):463.
42. Wu Y-J, Tseng P, Chang C-F, Pai M-C, Hsu K-S, Lin C-C, et al. Modulating the interference effect on spatial working memory by applying transcranial direct current stimulation over the right dorsolateral prefrontal cortex. Brain Cogn. 2014;91:87-94.
43. Uehara K, Coxon JP, Byblow WD. Transcranial direct current stimulation improves ipsilateral selective muscle activation in a frequency dependent manner. PLoS One. 2015;10(3):e0122434.
44. Laakso I, Mikkonen M, Koyama S, Hirata A, Tanaka S. Can electric fields explain inter-individual variability in transcranial direct current stimulation of the motor cortex? Sci Rep. 2019;9(1):626.
45. Wu D, Zhou Y, Lv H, Liu N, Zhang P. The initial visual performance modulates the effects of anodal transcranial direct current stimulation over the primary visual cortex on the contrast sensitivity function. Neuropsychologia. 2021;156:107854.
46. Kuo M-F, Paulus W, Nitsche MA. Sex differences in cortical neuroplasticity in humans. Neuroreport. 2006;17(16):1703-7.
47. Chaieb L, Antal A, Paulus W. Gender-specific modulation of short-term neuroplasticity in the visual cortex induced by transcranial direct current stimulation. Vis Neurosci. 2008;25(1):77-81.
48. Vergallito A, Feroldi S, Pisoni A, Romero Lauro LJ. Inter-individual variability in tDCS effects: A narrative review on the contribution of stable, variable, and contextual factors. Brain Sciences. 2022;12(5):522.
49. Jones KT, Berryhill ME. Parietal contributions to visual working memory depend on task difficulty. Frontiers in psychiatry. 2012;3:81.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-07-06]

[DOI: 10.66224/ioh.21.1.424]