

Research Paper

The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation Before or During Mirror Visual Feedback on Eye-Hand Coordination in Children With Unilateral Cerebral Palsy



Pegah Farzamfar¹ , *Ali Heirani¹ , Ehsan Amiri² , Mustafa Sedighi³, Daniel Gomes da Silva Machado⁴

1. Department of Motor behavior and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. Department of Exercise Physiology, Exercise Metabolism and Performance lab (EMPL), Faculty of Sport Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.
3. Department of Pediatric Neurology, School of Medicine, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran.
4. Research Group in Neuroscience of Human Movement (NeuroMove), Department of Physical Education, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brazil.



Citation Pegah Farzamfar, Heirani A, Amiri E, Sedighi M, da Silva Machado DG. [The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation Before or During Mirror Visual Feedback on Eye-hand Coordination in Children With Unilateral Cerebral Palsy (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(3):434-447. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.3.3341>

<https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.3.3341>

ABSTRACT

Background and Aims Neuroplasticity refers to the reorganization of new neural pathways. Mirror visual feedback is a complementary neurorehabilitation technique that utilizes neuroplasticity and modern technologies such as transcranial direct current stimulation. This study examines the effect of transcranial direct current stimulation before and during mirror visual feedback on eye-hand coordination in children with unilateral cerebral palsy.

Methods A total of 12 children with unilateral cerebral palsy (mean age: 7.57 ± 2.29 years) participated in this randomized, crossover, double-blind, and within-group experimental design. They were randomly exposed to one of 4 interventions: Aodal-tDCS-offline, sham-tDCS-offline, aodal-tDCS-online, and sham-tDCS-online, with a ONE-week interval. The Beery visual-motor integration test was used to assess eye-hand coordination. Data were analyzed using a two-way repeated measures analysis of variance (4x2 factorial design; 4 experimental conditions and 2 time points).

Results The results showed that eye-hand coordination in offline anodal conditions was significantly higher than in other conditions ($P < 0.05$). Additionally, the simple effect of time indicated that the values of eye-hand coordination in offline anodal conditions had significantly increased ($P < 0.05$). In contrast, in online anodal conditions, it had significantly decreased ($P = 0.003$). The results also showed no significant difference in the results between online and offline sham conditions ($P < 0.05$).

Conclusion The results of this research indicate that the sequential combination of mirror visual feedback with transcranial direct current stimulation (offline) yielded better results than other conditions. This is due to the priming stimulation mechanism, in which previous activities create a more effective response to subsequent exercises. However, the simultaneous combination (online) led to decreased performance related to the interference mechanism. Therefore, considering the priming mechanism by occupational therapists can significantly facilitate improvement in motor performance.

Keywords Visual feedback, Neuroplasticity, Transcranial direct current stimulation, Cerebral palsy

Received: 15 Feb 2025

Accepted: 10 Mar 2025

Available Online: 23 Jul 2025

* Corresponding Author:

Ali Heirani, PhD.

Address: Department Motor behavior and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.

Tel: +98 (918) 8899273

E-Mail: ali.heirani@gmail.com



Copyright © 2025 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Unilateral cerebral palsy is caused by a lesion in the cortical-spinal pathways, leading to motor impairment on the side of the body opposite the hemisphere with the lesion.

Research shows that the eye movements of these children are similar in speed and accuracy to those of healthy children. Still, their hand movements are significantly slower than those of healthy children and even their healthy hands. Therefore, therapists can focus on healthy sensory systems, such as vision. Mirror visual feedback, a non-invasive and relatively new method in neuro-modulation, concentrates on the movements of healthy limbs. Mirror visual feedback can be used as a complementary technique in rehabilitation exercises; alongside it, modern technologies are increasingly employed in planning rehabilitation sessions. Transcranial direct current stimulation is recognized as a non-invasive, cost-effective method with no side effects for treatment, rehabilitation, and exercise. From a temporal perspective, transcranial direct current stimulation is classified into two categories: “online” stimulation (applied during the task) or “offline” stimulation (applied before or after the task). The main objective of this study is to examine the effect of transcranial direct current stimulation before and during mirror visual feedback on eye-hand coordination in children with cerebral palsy.

Methods

This research used a within-group design with a random, double-blind, and controlled trial. A total of 12 participants took part in this study. Children aged 6 to 12 years who were at levels 2 of the gross motor function classification system and 2 or 3 of the manual ability classification system, with normal vision, were selected. In the first session, parents completed questionnaires and informed consent forms. Then, the exercise methods for the participants were explained. In sessions two to five, participants were randomly assigned to one of four intervention conditions: anodal stimulation before mirror visual feedback, sham stimulation before mirror visual feedback, anodal stimulation during mirror visual feedback, and sham stimulation during mirror visual feedback. Each session began with measuring eye-hand coordination, and measurements were taken again after the intervention. A seven-day interval between sessions was considered to prevent brain excitability accumulation, and the duration of each session was specifically determined. The Beery visual-motor integration test was used to assess eye-hand coordination. The data were analyzed using mixed analysis of variance (4 factors for conditions and 2 factors for time).

Results

The analysis of variance results indicated a significant interaction effect between conditions and time, prompting separate examinations of the simple effects. Paired comparisons revealed no significant differences in eye-hand coordination among the four conditions before the interventions (pre-test; $P=0.52$). However, after the interventions (post-test), eye-hand coordination values in the anodal-offline condition were significantly higher than those in the sham-offline, anodal-online, and sham-online conditions ($P<0.001$), with no significant differences among the other conditions ($P>0.001$). Additionally, the simple effect of time showed a significant increase in eye-hand coordination values in the Anodal-Offline condition from the pre-test to the post-test ($P<0.001$). In contrast, the anodal-online condition significantly decreased ($P<0.001$). No significant differences were found in the sham-online and sham-offline conditions from before to after the intervention ($P>0.001$).

Conclusion

This research indicated that the sequential combination of mirror visual feedback with transcranial direct current stimulation (offline) yielded better results than other conditions. This is due to the priming stimulation mechanism, in which previous activities create a more effective response to subsequent exercises. However, the simultaneous combination (online) led to decreased performance, which is related to the interference mechanism; therefore, considering the priming mechanism by occupational therapists can significantly facilitate improvement in motor performance. Using transcranial direct current stimulation as a complementary method in rehabilitation can enhance the effectiveness of treatment. Therefore, occupational therapists and rehabilitation centers can incorporate this strategy and other techniques to maximize the benefits of therapeutic exercises. It is also recommended that future research examine the impact of these exercises on cognitive and behavioral variables and other related factors.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this study, such as the informed consent of the participants, the confidentiality of their information, and their right to leave the study. Ethical approval was obtained from the Research Ethics Committee of [Razi University](#) (IR.RAZI.REC.1402.049). This study was registered by the [Iranian Registry of Clinical Trials](#) (Code: IRCT20230728058946N1).

Funding

This study was extracted from the PhD thesis of Pegah Farzamfar at the Department of Motor Behavior and Corrective Exercises, Faculty of Sports Sciences, [Razi University](#), Kermanshah, Iran. This research received no specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors

Authors' contributions

Conceptualization, design: Pegah Farzamfar, Ali Heirani, Ehsan Amiri , and Daniel Gomes da Silva Machado; Experiments: Pegah Farzamfar; Formal analysis: Pegah Farzamfar, Ali Heirani, and Ehsan Amiri; Initial draft preparation: Pegah Farzamfar, and Ali Heirani ; Review & editing: Ehsan Amiri , Mustafa Sedighi , and Daniel Gomes da Silva Machado; Final approval: All authors.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all participants for their cooperation in this study.



مقاله پژوهشی

آثار تحریک فراجمجه‌ای با جریان مستقیم قبل یا هم‌زمان با بازخورد بینایی آینه بر هماهنگی چشم و دست در کودکان مبتلا به فلج مغزی یک طرفه

پگاه فرزام‌فر^۱، علی حیرانی^{۱*}، احسان امیری^۲، مصطفی صدیقی^۳، دنیل ماچادو^۴

۱. گروه رفتار حرکتی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲. گروه فیزیولوژی ورزش، آزمایشگاه متابولیسم و عملکرد ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳. گروه نورولوژی کودکان، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.
۴. گروه تحقیقاتی در علوم اعصاب حرکت انسان، گروه تربیت بدنی، دانشگاه فدرال ریو گراند دو نورت، ناتال، برزیل.

Use your device to scan and read the article online



Citation Pegah Farzamfar, Heirani A, Amiri E, Sedighi M, da Silva Machado DG. [The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation Before or During Mirror Visual Feedback on Eye-hand Coordination in Children With Unilateral Cerebral Palsy (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(3):434-447. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.3.3341>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.3.3341>

چکیده

مقدمه و اهداف: پلاستیسیته عصبی به سازمادهی مجدد مسیرهای عصبی جدید اشاره دارد. بازخورد بینایی آینه یک تکنیک توانبخشی عصبی مکمل است که همراه با فناوری‌های نوین مانند تحریک فراجمجه‌ای با جریان مستقیم از نوروپلاستیسیته بهره می‌برند. هدف این مطالعه بررسی اثر تحریک فراجمجه‌ای با جریان مستقیم پیش و حین بازخورد بینایی آینه بر هماهنگی چشم و دست در کودکان مبتلا به فلج مغزی یک طرفه است.

مواد و روش‌ها: ۱۲ کودک (میانگین سنی $7/57 \pm 2/29$) مبتلا به فلج مغزی یک طرفه در این مطالعه تصادفی، متقاطع، دوسوکور و با طرح آزمایشی درون گروهی شرکت کردند. آن‌ها به‌طور تصادفی در معرض یکی از چهار شرایط مداخله‌ای قرار گرفتند: ۱. تحریک آندال آفلاین؛ ۲. تحریک شم آفلاین؛ ۳. تحریک آندال آنلاین؛ ۴. تحریک شم آنلاین، با ۱ هفته فاصله. آزمون یکپارچگی بینایی-حرکتی بیری برای ارزیابی هماهنگی چشم و دست استفاده شد. داده‌ها با آنالیز واریانس دواره با اندازه‌گیری‌های تکراری (۴ عامل شرایط و ۲ عامل زمان) تحلیل گردیدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد هماهنگی چشم و دست در شرایط آندال آفلاین به‌صورت معنی‌داری بیشتر از سایر شرایط بود ($P < 0/05$). همچنین، نتایج اثر ساده زمان نشان داد مقادیر هماهنگی چشم و دست در شرایط آندال آفلاین به‌صورت معنی‌داری افزایش یافته بود ($P < 0/05$)، درحالی‌که در شرایط آندال آنلاین به‌طور معنی‌داری کاهش یافته بود ($P = 0/003$). همچنین نتایج نشان داد در شرایط شم آفلاین و شم آنلاین تفاوت معنی‌داری در نتایج مشاهده نشد ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد اعمال متوالی دو مداخله (آفلاین) در مقایسه با سایر شرایط نتایج بهتری به همراه داشت. این امر به‌دلیل مکانیسم تحریک پرایمینگ است که در آن فعالیت‌های قبلی پاسخگویی مؤثرتری به تمرینات بعدی ایجاد می‌کند، اما اعمال هم‌زمان (آنلاین)، به کاهش عملکرد منجر شد که این موضوع به مکانیسم تداخل زمینه‌ای مرتبط است. بنابراین در نظر گرفتن مکانیسم پرایمینگ توسط کار درمانگران می‌تواند به‌طور قابل توجهی بهبود عملکرد حرکتی را تسهیل کند.

کلیدواژه‌ها: بازخورد بینایی، پلاستیسیته عصبی، تحریک فراجمجه‌ای با جریان مستقیم، فلج مغزی

تاریخ دریافت: ۲۷ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲۰ اسفند ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۰۱ مرداد ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر علی حیرانی

نشانی: کرمانشاه، دانشگاه رازی، گروه رفتار حرکتی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی.

تلفن: ۸۸۹۹۲۷۳ (۹۱۸) ۰۹۸

رایانامه: ali.heyrani@gmail.com



Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه

اطلاعاتی مبنی بر سالم بودن هردو عضو دریافت می‌کند. اکنون این روش به‌عنوان عاملی در سازمان‌دهی مجدد قشر مغز پذیرفته شده است [۱۰].

بازخورد بینایی آینه می‌تواند به‌عنوان یک تکنیک مکمل در تمرینات توانبخشی استفاده شود و در کنار آن، فناوری‌های نوین به‌طور فزاینده‌ای برای برنامه‌ریزی جلسات توانبخشی به کار می‌روند. تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم^۵ به‌عنوان یک روش غیرتهاجمی، کم‌هزینه و بدون عوارض جانبی در درمان، توانبخشی و ورزش شناخته شده است [۱۴]. در این روش، جریان الکتریکی مستقیم و کم‌شدت از طریق الکترودهای کوچک که بر روی پوست سر قرار می‌گیرند، به ناحیه قشری منتقل می‌شود و تحریک‌پذیری آن ناحیه را تغییر می‌دهد [۱۵]. تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم وابسته به قطبیت، مکان و زمان می‌باشد. قطبیت و مکان تحریک در کودکان مبتلا به فلج مغزی یک‌طرفه، به گونه‌ای می‌باشد که از آند(آندال) برای افزایش تحریک‌پذیری ناحیه قشر حرکتی اولیه در نیمکره آسیب‌دیده و کاتد (کاتدال) برای کاهش تحریک‌پذیری در ناحیه قشر حرکتی اولیه نیمکره سالم استفاده می‌گردد [۱۶، ۱۷].

تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم از جنبه زمانی به دو دسته تحریک «آنالین» (اعمال تحریک در حین تکلیف) یا «آفلاین» (اعمال تحریک قبل یا بعد از تکلیف) طبقه‌بندی می‌شود [۲، ۱۸]. به‌طوری‌که در تحقیقات مورا و همکاران در شرایط اعمال تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم به‌صورت آنالین نتایج متضادی را از تحقیقات جیلیک و همکاران با اعمال تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم آفلاین نشان داد [۲، ۱۸]. مطالعات گذشته اثر هر دو روش بازخورد بینایی آینه و تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم را به‌طور مستقل بر روی کودکان فلج مغزی یک‌طرفه بررسی کرده‌اند، اما تاکنون هیچ مداخله درمانی ترکیبی انجام نشده است.

همچنین نتایج مطالعات چان^۶ و همکاران نشان داد آموزش استفاده از عضو مبتلا با ترکیب بازخوردهای حسی (بینایی، الکتریکی و غیره)، پروتکل‌های درمان مؤثرتری را برای این بیماران ایجاد می‌کند [۱۹]. بنابراین، با در نظر گرفتن شکاف‌های موجود در مطالعات پیشین، در این پژوهش به دنبال پاسخ به این پرسش می‌باشیم که آیا روش‌های درمانی مذکور تأثیر مضاعفی بر بهبود هماهنگی چشم و دست این کودکان دارند؟ همچنین در تحقیقات مربوط به بررسی عملکرد حرکتی کودکان فلج مغزی یک‌طرفه باتوجه به نتایج متفاوت از تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم در وضعیت‌های آفلاین و آنالین، درک زمان‌بندی بهینه در طراحی پروتکل‌های ترکیبی حائز اهمیت است. بنابراین در این پژوهش به دنبال پاسخ به این پرسش هستیم که اعمال

اختلال فلج مغزی یک‌طرفه^۱ ناشی از ضایعه‌ای در مسیرهای قشری-نخاعی است که به اختلال حرکتی در نیمه‌ای از بدن می‌انجامد که در مقابل نیمکره دارای ضایعه قرار دارد [۱، ۲]. این اختلال تأثیرات منفی بیشتری بر اندام‌های فوقانی نسبت به اندام‌های تحتانی دارد [۳]. ناتوانی عملکردی در اندام‌های فوقانی ناشی از آسیب به قشر حرکتی و مسیر قشری-نخاعی است که حرکات ظریف را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۴]. این افراد غالباً از دست سالم به‌عنوان دست غالب استفاده می‌کنند، حتی زمانی که اختلال در دست مبتلا خفیف باشد؛ این پدیده «عدم استفاده آموخته‌شده»^۲ نامیده می‌شود [۳]. در نتیجه، این کودکان در انجام فعالیت‌هایی که به هماهنگی چند سیستم بدن (هماهنگی دودستی، هماهنگی چشم و دست و غیره) نیاز دارند، دچار مشکل می‌شوند [۵، ۶]. هماهنگی چشم و دست^۳ شامل کنترل حرکات چشم و دست و پردازش اطلاعات بینایی است و به رشد مهارت‌های حرکتی کمک می‌کند. تحقیقات نشان می‌دهد حرکات چشمی این کودکان از نظر سرعت و دقت مشابه کودکان سالم است، اما حرکات دست آن‌ها به‌طور قابل توجهی کندتر از کودکان سالم و حتی دست سالم خودشان است [۷، ۸]. بنابراین، ضعف در هماهنگی چشم و دست می‌تواند مهارت‌های حرکتی و انجام کارهای روزانه را تحت تأثیر قرار دهد و به تأخیر حرکتی منجر شود [۵، ۶].

این محدودیت به دلیل ضعف در پردازش بازخوردهای بینایی، لمسی، حس عمق و حسی حرکتی، به خشکی و ضعف در هماهنگی زمانی بین دستان و کنترل اشیاء در تکالیف دستی منجر می‌شود [۹]. فرزام‌فر و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان تأثیر تمرینات حرکتی با آینه‌درمانی بر مهارت‌های حرکتی درشت دست مبتلا در کودکان همی‌پلژی، افزایش معنی‌داری در نمره عملکرد دست مبتلا که با معیار «جعبه و مکعب» ارزیابی شده بود، مشاهده شد [۱۰]؛ از این رو، درمانگران می‌توانند بر سیستم‌های حسی سالم، مانند بینایی تمرکز کنند [۱۱].

بازخورد بینایی آینه^۴، روشی غیرتهاجمی و نسبتاً جدید در تعدیل عصبی است که بر حرکات اندام‌های سالم تمرکز دارد [۱۲]. در این روش فرد مبتلا در مقابل یک آینه متمایل و موازی با خط میانی بدن می‌نشیند و سطح منعکس‌کننده آینه روبه‌روی اندام سالم قرار می‌گیرد تا مسیر نگاه کردن به اندام مبتلا مسدود شود بیمار باید تا حد امکان هر دو دست را هم‌زمان حرکت دهد و به حرکات دست سالم در آینه توجه کند، این عمل باعث ایجاد توهم بینایی از حرکت دست مبتلا می‌شود [۱۰، ۱۳] و مغز

1. Cerebral Palsy
2. Learned Non – Use
3. Eye-Hand Coordination
4. Mirror Visual Feedback

5. Transcranial Direct Current Stimulation
6. Chan

قرارگیری آزمودنی‌ها در معرض چهار شرایط مختلف (۴ نوع متفاوت از تحریک الکتریکی مغز) از روش مربع لاتین استفاده شد. بدین منظور، ابتدا با استفاده از سایت **رندوم** به صورت تصادفی به هریک از آزمودنی‌ها یک عدد بین ۱ تا ۱۲ به عنوان کد شناسایی داده شد. سپس، حروف انگلیسی A، B، C، D به چهار شرایط مداخله‌ای تخصیص داده شد و یک مربع لاتین به چهار سطر و چهار ستون ایجاد شد. پس از ایجاد مربع لاتین، شرکت‌کننده‌های شماره ۱ تا ۳ در توالی ردیف اول، شرکت‌کننده‌های ۴ تا ۶ در توالی ردیف دوم، شرکت‌کننده‌های ۷ تا ۹ در توالی ردیف سوم و شرکت‌کننده‌های ۱۰ تا ۱۲ در توالی ردیف چهارم قرار گرفتند.

در جلسات دوم تا پنجم، شرکت‌کنندگان به صورت تصادفی در یکی از چهار شرایط مداخله قرار گرفتند: ۱. تحریک آندال پیش از بازخورد بینایی آینه؛ ۲. تحریک شم پیش از بازخورد بینایی آینه؛ ۳. تحریک آندال در حین بازخورد بینایی آینه؛ ۴. تحریک شم در حین بازخورد بینایی آینه.

هر جلسه با اندازه‌گیری هماهنگی چشم و دست آغاز و پس از انجام مداخله، آزمون دوباره اندازه‌گیری شد. شرکت‌کنندگان و ارزیاب از نوع تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم بی‌خبر بودند و به این ترتیب پژوهش به صورت دوسوکور انجام شد. بدین منظور، کاردرمانگر وظیفه اعمال تحریک الکتریکی در چهار جلسه آزمایشی را بر عهده خواهد داشت. به منظور کورسازی^{۱۰} شرکت‌کنندگان، پس از نشستن آنان بر روی صندلی مخصوص، دستگاه تحریک الکتریکی مغز از دید آنان مخفی شده و توسط یک کاور به طور کامل پوشیده شد و الکترودها توسط کاردرمانگر بر روی نواحی مورد نظر قرار داده شدند.

به منظور کورسازی ارزیاب نیز پیش از اعمال مداخله، ارزیاب از آزمایشگاه خارج شده و پس از طی شدن مدت زمان تحریک و برداشته شدن الکترودها و خاموش شدن دستگاه تحریک‌کننده به محل آزمایش برمی‌گردد. همچنین در حالت تحریک شم، طبق پروتکل‌های استاندارد، مدت ۳۰ ثانیه جریان فعال به منظور القای حس مشابه با حالت تحریک فعال بر روی سر القا شده و سپس جریان قطع و تحریک غیرفعال می‌شود. فاصله ۷ روزه بین جلسات برای جلوگیری از تجمع تحریک‌پذیری مغز در نظر گرفته شد و زمان برگزاری هر جلسه به صورت مشخص تعیین شد (**تصویر شماره ۱-ب**).

تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم

تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم به دو روش آندال و شم به کار گرفته شد. برای اعمال تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم آندال یک محرک باتری محور (نورواستیم ۲، مدینا تب گستر، تهران، ایران) با شدت ۱ میلی‌آمپر به مدت ۲۰

تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم در حین بازخورد بینایی آینه (روش آنالین) بر بهبود هماهنگی چشم و دست کودکان فلج مغزی یک‌طرفه، مؤثرتر از شرایط آفلاین است یا خیر؟ بنابراین هدف کلی از انجام این مطالعه بررسی اثر تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم بر روی ناحیه قشر حرکتی اولیه در نیمکره آسیب‌دیده پیش و در حین بازخورد بینایی آینه بر هماهنگی چشم و دست در کودکان فلج مغزی یک‌طرفه می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند راهنمای عملی برای کاردرمانگران در انتخاب مداخلات مناسب برای بهبود هماهنگی چشم و دست در این کودکان باشد.

مواد و روش‌ها

شرکت‌کنندگان

پژوهش حاضر آزمایشی با طرح درون‌گروهی، موازنه متقابل و دوسوکور انجام شد. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور^۷ (نسخه ۳،۱،۹،۲، کیل، آلمان) محاسبه شد: خانواده آزمون = تست‌های F؛ آزمون آماری = آنوا؛ اندازه‌گیری‌های مکرر، درون‌گروهی. احتمال خطا: $\alpha = 0.05$ ؛ توان آماری: $1 - \beta \text{ err prob} = 0.80$ ؛ اندازه اثر $f = 0.4$ (معادل ۶۵٪ در d کوهن) [۲۰]. براساس خروجی نرم‌افزار، تعداد ۱۰ آزمودنی برای این پژوهش مناسب تشخیص داده شدند. با احتساب ریزش ۲۰ درصدی، تعداد ۱۲ آزمودنی در این پژوهش شرکت کردند. کودکان فلج مغزی یک‌طرفه با تشخیص متخصص مغز و اعصاب کودکان در سنین ۶ تا ۱۲ سال که در سطح ۲ سیستم اختلالات حرکتی درشت^۸ (GMFCS)، در سطح ۲ یا ۳ سیستم طبقه‌بندی توانایی دستی^۹ (MACS) و بینایی طبیعی داشتند، انتخاب شدند. کودکان دارای سابقه تشنج، اختلال کمبود توجه-بیش‌فعالی، ایمپلنت فلزی و بیماری خاص حذف شدند. کودکان مبتلا به فلج مغزی یک‌طرفه در کلینیک مغز و اعصاب سپید در کرمانشاه شناسایی و از والدین آن‌ها درخواست شد فرم رضایت‌نامه را امضا کنند. معیارهای خروج شامل عدم همکاری و عدم انجام تکالیف در جلسات مداخله بود.

روش اجرای پژوهش

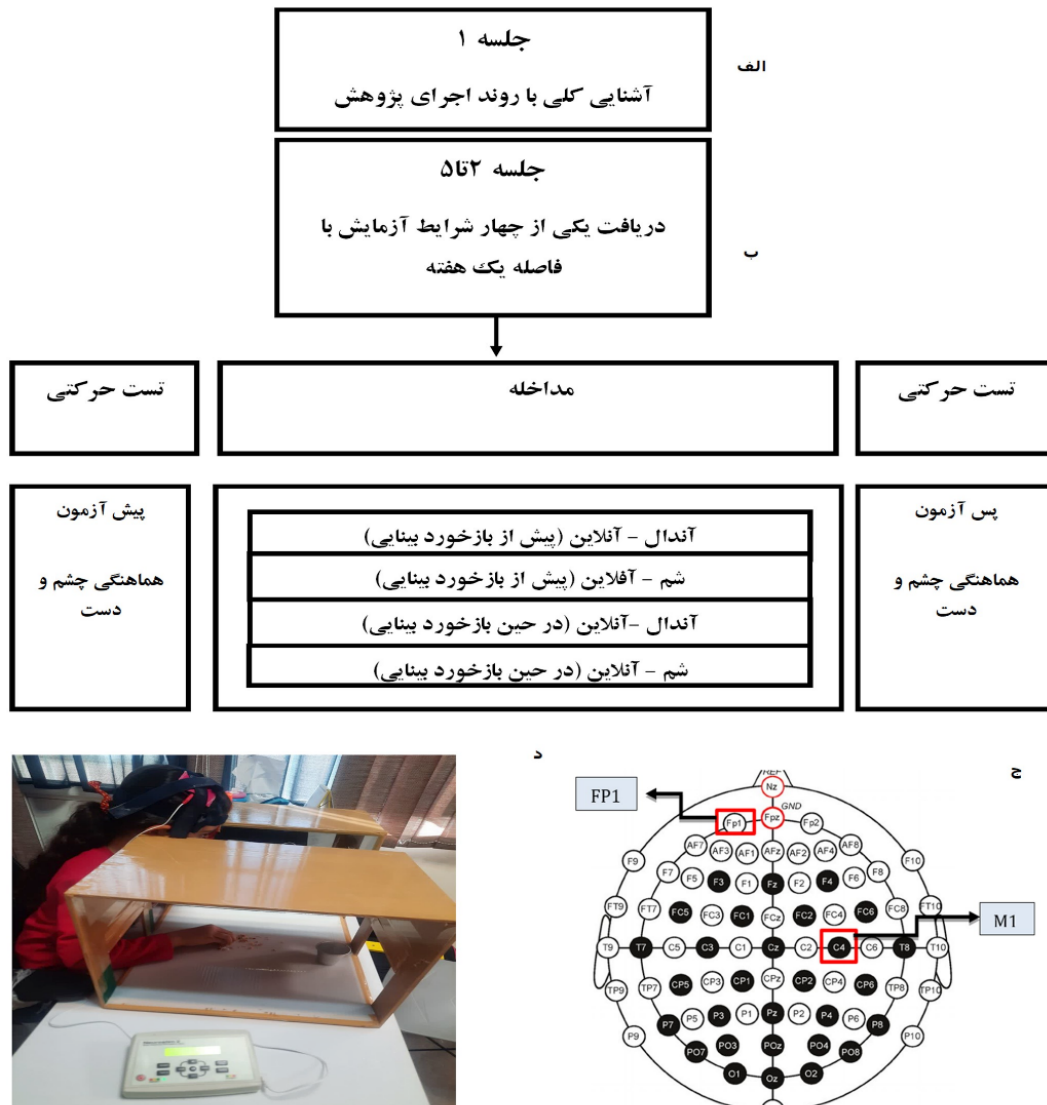
شرکت‌کنندگان در کلینیک مغز و اعصاب سپید کرمانشاه در پنج جلسه شرکت کردند. یک کار درمانگر مداخلات مربوط به بازخورد بینایی آینه و تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم را انجام داد و ارزیابی‌های مربوطه نیز توسط کاردرمانگر دیگری صورت گرفت. در جلسه اول، والدین پرسش‌نامه‌ها و فرم رضایت آگاهانه را تکمیل کردند و روش تمرینات برای آزمودنی‌ها شرح داده شد (**تصویر شماره ۱-الف**). به منظور تصادفی‌سازی ترتیب

7. G*Power

8. Gross Motor Function Classification System (GMFCS)

9. Manual Ability Classification System (MACS)

10. Blinding



طب توانبخشی

تصویر ۱. روند اجرای پژوهش

پژوهش شامل پنج جلسه حضور تمامی شرکت کنندگان بود که با تکمیل پرسش نامه ها و رضایت نامه و آشنایی با روش اجرای پژوهش در جلسه اول آغاز شد (الف). در جلسات ۲ تا ۵، شرکت کنندگان به طور تصادفی به یکی از چهار شرایط مداخله ای اختصاص داده شدند؛ وضعیت ۱ (تحریک آندال آنالین) شامل ۲۰ دقیقه تحریک فراجمعه ای با جریان مستقیم آندال و سپس ۲۰ دقیقه بازخورد بینایی آینه ای بود؛ وضعیت ۲ (تحریک شم آنالین) شامل ۲۰ دقیقه تحریک فراجمعه ای با جریان مستقیم با جریان مستقیم شم و سپس ۲۰ دقیقه بازخورد بصری آینه ای بود؛ وضعیت ۳ (تحریک آندال آنالین) شامل ۲۰ دقیقه تحریک فراجمعه ای با جریان مستقیم آندال همزمان با بازخورد بصری آینه ای بود؛ و وضعیت ۴ (تحریک شم آنالین) شامل ۲۰ دقیقه تحریک فراجمعه ای با جریان مستقیم شم همزمان با بازخورد بصری آینه ای بود (ب). در فرد مبتلا به آسیب در نیمکره راست و اختلال در سمت چپ بدن، محل قرارگیری الکترود آند بر روی قشر حرکتی اولیه راست (C4) و الکترود کاتد بر روی ناحیه سوپرااوربیتال چپ (FP1) قرار گرفت (ج). قرار دادن آینه در طول خط میانه (سطح ساجیتال) بدن بیمار در حین انجام تمرینات سالم در مقابل آینه، ظاهری ایجاد می کند که نشان می دهد دست آسیب دیده در حال حرکت است. برای پیاده سازی بازخورد بصری آینه ای در حین انجام تمرینات با دست سالم، دست سالم درون یک جعبه آینه قرار داده شد که دید مستقیم به دست سالم را مسدود کرد اما دید غیرمستقیم از طریق آینه را مجاز می کرد (د).

الکتروانسفالوگرام ۶۴ کاناله (طبق سیستم بین المللی ۱۰-۲۰) استفاده گردید. برای بهبود عملکرد حرکتی در این کودکان، الکترود آندال بر روی C3 or C4، و الکترود کاتدال روی ناحیه فوق مداری طرف مقابل^{۱۱} (Fp1 or Fp2) قرار گرفت (تصویر شماره ۱ ج). در تحریک فراجمعه ای با جریان مستقیم آندال

دقیقه استفاده شد. شدت و مدت تحریک با توجه به مطالعات قبلی که ایمنی آن را برای کودکان تأیید کرده بود، تعیین شد. دو الکترود کربنی (۵×۵ سانتی متر و ۵×۷ سانتی متر) همراه با پدهای اسفنجی خیس شده در محلول نمکی به عنوان آند و کاتد استفاده شد. الکترودها با تسمه های الاستیک محکم شدند. برای تعیین مکان هدف (قشر حرکتی اولیه) روی پوست سر، از یک کلاه

11. Contralateral Supra Orbital Area

(تحریک آندال)، شدت جریان از ۰/۱ به ۱ میلی آمپر در ۳۰ ثانیه افزایش یافته و سپس به مدت ۲۰ دقیقه ثابت ماند و سپس به آرامی در ۳۰ ثانیه به ۰/۱ میلی آمپر کاهش یافت. برای تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم شش (تحریک شش)، جریان پس از ۳۰ ثانیه قطع شد که به شرکت کنندگان اجازه می‌دهد حس سوزن سوزن شدن اولیه را تجربه کنند بدون اینکه تحریک مداومی وجود داشته باشد [۲۲، ۲۱].

بازخورد بینایی آینه

تمرینات مربوط به بازخورد بینایی آینه در چهار بخش ۵ دقیقه‌ای مجموعاً برای ۲۰ دقیقه به طول انجامید. توالی هر بخش ۵ دقیقه‌ای شامل ۳۰ ثانیه تمرین و ۳۰ ثانیه استراحت و بخش پایانی ۹۰ ثانیه استراحت می‌باشد. برای شروع تمرینات با آینه، بیمار بر روی یک صندلی با ارتفاع متناسب با میز نشسته، سپس جعبه آینه‌ای بر روی میز قرار داده می‌شود، به‌طوری‌که با صفحه ساجیتال بدن بیمار موازی باشد. همچنین وضعیت اندام فوقانی به‌گونه‌ای بود که دست مبتلا در پشت آینه در وضعیتی راحت قرار داده شد، به‌طوری‌که توسط بیمار قابل‌رویت نباشد و دست سالم در وضعیتی مشابه با دست مبتلا اما در جلوی آینه قرار داده شد. ابتدا از بیمار خواسته شد برای مدت ۲ تا ۳ دقیقه، به تصویر ایجادشده از دست سالم در آینه توجه کند و این تصور را در ذهن خود ایجاد کند که تصویری را که در آینه می‌بیند همان تصویر دست مبتلا می‌باشد. پس از اینکه بیمار توانست به این مرحله برسد تمرینات درمانی شروع شد (تصویر شماره ۱-د).

همانگی چشم و دست

در این پژوهش برای ارزیابی همانگی چشم و دست از آزمون یکپارچگی بینایی حرکتی^{۱۲} بیری (۱۹۸۹) استفاده شد. اجرای آزمون با قرار دادن دفترچه آزمون و مداد تراشیده در مقابل کودک روی میز آغاز شد و از وی خواسته شد تا تصویری مطابق با مدل در پایین صفحه الگوبرداری کند. این آزمون شامل ۲۴ شکل هندسی از ساده تا پیچیده است که بر روی هشت صفحه و به ترتیب سختی تنظیم شده، به‌طوری‌که هر صفحه سه شکل دارد. فرم کوتاه آزمون شامل ۱۵ تصویر برای گروه سنی ۲ تا ۸ سال و فرم بلند شامل ۲۴ تصویر برای گروه سنی ۲ تا ۱۸ سال است. در مطالعه حاضر، از فرم بلند برای کودکان ۶ تا ۱۲ سال استفاده شد. برای هر شکل صحیح، یک امتیاز به فرد تعلق می‌گیرد و برای شکل نادرست هیچ امتیازی در نظر گرفته نمی‌شود. نمرات خام آزمون براساس مواد موجود در کتابچه راهنما در دامنه (۰) تا (۲۷) نمره‌گذاری می‌شود که هرچه امتیاز بالاتر باشد، عملکرد بهتر است. فرم‌های این آزمون با رعایت حق کپی و به‌طور مکرر توسط متخصصان کاردرمانی و روان‌شناسان در ایران استفاده

شده است. ضریب همبستگی پایایی بین مشاهده‌گران بین ۰/۵۸ تا ۰/۹۹ و میانگین آن ۰/۹۳ گزارش شده است. آزمون بازآزمون ۰/۹۵ نیز پایایی دارد. در سال ۱۳۹۵، شیخ و اسدی، روایی و پایایی نسخه فارسی ویراست سوم این آزمون را در کودکان ۷ تا ۱۲ سال بررسی کردند و پایایی درونی را ۰/۸۵ و پایایی زمانی آن را بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۷ به دست آوردند و روایی سازه آن نیز تأیید شد [۲۳، ۹].

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تحلیل‌های آماری با نسخه ۲۳ نرم‌افزار آماری SPSS (ساخت شرکت IBM) انجام شد. سطح معنی‌داری برای تمام آزمون‌ها $P < 0/05$ در نظر گرفته شد. از آزمون شاپیرو-ویلک^{۱۳} برای بررسی نرمال بودن نمونه‌ها استفاده گردید. تحلیل توصیفی متغیرهای جمعیتی با میانگین‌ها و انحراف معیار برای متغیرهای نرمال صورت گرفت. همچنین پیش‌فرض همگنی واریانس با آزمون لون^{۱۴} مورد بررسی قرار گرفت. در آمار استنباطی، ابتدا برای بررسی توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک استفاده شد. در صورت نرمال بودن توزیع، آزمون تحلیل واریانس دوراهه با اندازه‌گیری‌های تکراری (مدل 2×4 ؛ عامل شرایط با ۴ سطح و عامل زمان با ۲ سطح) به کار رفت. به‌منظور بررسی اثرات ساده شرایط و زمان به‌صورت جداگانه، از آزمون آنوای یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های تکراری استفاده شد. اصلاح بونفرونی^{۱۵} برای مقایسه‌های جفتی به‌منظور تحلیل بیشتر تعاملات معنی‌دار به کار رفت.

یافته‌ها

در جدول شماره ۱ نتایج حاصل از داده‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها که شامل سن، جنسیت و سمت مبتلا می‌باشد قابل مشاهده است.

میانگین و انحراف معیار نمرات مربوط به همانگی چشم و دست در مراحل پیش‌آزمون، پس‌آزمون مربوط به هر چهار شرایط مداخله در جدول شماره ۲ نمایش داده شده است.

همان‌طور که جدول شماره ۲ نشان می‌دهد، میانگین نمرات همانگی چشم و دست در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون در هر چهار شرایط تغییر یافته است که در ادامه معنی‌داری آن با استفاده از آمار استنباطی بررسی می‌شود (تصویر شماره ۲). قبل از ارائه نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری، پیش‌فرض‌های آزمون‌های پارامتریک مورد سنجش قرار گرفت. نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد پیش‌فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها در متغیر همانگی چشم و دست، در هر چهار شرایط در مراحل زمانی پیش‌آزمون و پس‌آزمون برقرار است ($P > 0/05$). همچنین

13. Shapiro-Wilk Test
14. Levene's test
15. Bonferroni

12. Test of Visual Motor Integration (TVMI)

جدول ۱. مشخصات جمعیت‌شناختی مربوط به آزمودنی‌ها

تعداد	میانگین $\pm$ انحراف معیار	مرد	زن	راست	چپ
۱۲	۷/۵۷ $\pm$ ۲/۲۹	۶	۶	۵	۷

طب توانبخشی

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار نمره هماهنگی چشم و دست

شرایط آزمایش متغیر	میانگین $\pm$ انحراف معیار							
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
هماهنگی چشم و دست	۱۲/۵۰ $\pm$ ۱/۹۵	۱۷/۷۰ $\pm$ ۱/۸۸	۱۲/۸۰ $\pm$ ۲/۱۵	۱۳/۱۰ $\pm$ ۱/۷۹	۱۲/۸۰ $\pm$ ۱/۹۳	۱۱/۶۰ $\pm$ ۲/۱۷	۱۲/۶۰ $\pm$ ۱/۸۹	۱۳/۲۰ $\pm$ ۲/۲۰

طب توانبخشی

می‌کند. در نهایت نتایج بیانگر آن است که اثر تعامل زمان (مراحل اندازه‌گیری) و شرایط (نوع درمان) نیز بر نمرات هماهنگی چشم و دست در این کودکان معنی‌دار است ($P > 0/05$)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نوع درمان دریافتی در مراحل مختلف ارزیابی بر هماهنگی چشم و دست کودکان مبتلا به فلج مغزی یک‌طرفه به میزان ۷۶ درصد تأثیر معنی‌داری داشته است. توان آماری نیز حاکی از دقت بالا و کفایت حجم نمونه می‌باشد (جدول شماره ۳).

همان‌طور که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌گردد، یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری نشان داد اثر اصلی زمان اندازه‌گیری و اثر اصلی شرایط و تعامل زمان اندازه‌گیری با گروه معنادار است. باتوجه به اینکه اثر تعاملی معنادار است، از اثرات اصلی صرف‌نظر می‌گردد و اثر ساده شرایط و زمان به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مقایسه‌های زوجی نشان داد قبل از اعمال مداخلات (پیش‌آزمون) تفاوت معنی‌داری در هماهنگی چشم و دست بین چهار شرایط وجود نداشت ($P = 0/52$)، درحالی‌که پس از اعمال مداخلات (پس‌آزمون) مقادیر هماهنگی چشم و دست در شرایط آندال آفلاین به‌صورت معنی‌داری بیشتر از شرایط شم آفلاین ($P = 0/010$)، شرایط آندال آفلاین ($P = 0/000$) و شرایط شم آفلاین ($P = 0/007$) بود. بین سایر شرایط در پس‌آزمون تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

پیش‌فرض همگنی واریانس با استفاده از آزمون لون مورد سنجش قرار گرفت که نتایج آن معنی‌دار نبود که این یافته‌ها نشان می‌دهد پیش‌فرض همگنی واریانس‌ها در متغیر وابسته رعایت شده است ($P > 0/05$). برای بررسی شرط تقارن داده‌ها، آزمون کرویت ماحلی مورد استفاده قرار گرفت که نتایج نشان داد این آزمون معنی‌دار می‌باشد ($P > 0/05$)؛ بنابراین باتوجه به اینکه یکی از پیش‌فرض‌های اساسی انجام تحلیل واریانس با اندازه‌های مکرر، برقرار بودن آزمون کرویت داده‌ها است؛ بنابراین از تصحیح گرین هاوز-گیسر استفاده شد.

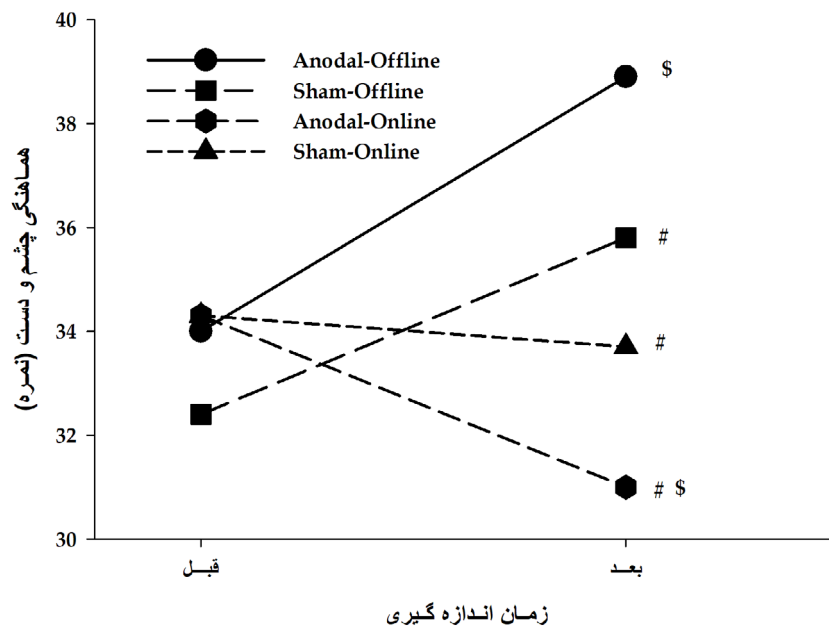
نتایج آزمون واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری و ضرایب F محاسبه‌شده، نشان داد اثرات اصلی زمان تأثیر معنی‌داری بر نمرات هماهنگی چشم و دست کودکان مبتلا به فلج مغزی یک‌طرفه داشته است ($P > 0/05$). اندازه اثر نشان می‌دهد عامل زمان ۶۸ درصد از تفاوت در واریانس‌های نمرات هماهنگی چشم و دست این کودکان را تبیین می‌کند. علاوه بر این، براساس ضریب F محاسبه‌شده، تأثیر عامل شرایط (۴ نوع شرایط دریافت مداخلات) بر نمرات هماهنگی چشم و دست این کودکان معنی‌دار است ($P > 0/05$)؛ بنابراین نتیجه گرفته می‌شود عامل شرایط یا نوع درمان دریافتی نیز بر هماهنگی چشم و دست این کودکان تأثیر معنی‌دار داشته است. اندازه اثر نشان می‌دهد شرایط ۳۲ درصد از تفاوت در نمرات هماهنگی چشم و دست این کودکان را تبیین

جدول ۳. یافته‌های مربوط به تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری برای عملکرد هماهنگی چشم و دست

متغیر	مجموع مجنورات	درجه آزادی	میانگین مجنورات	F	P	اندازه اثر	توان آزمون
زمان	۳۰/۰۱۳	۱	۳۰/۰۱۳	۱۹/۸۴۳	۰/۰۰۲	۰/۶۸	۰/۹۷۶
شرایط	۹۴/۶۳۷	۳	۳۱/۵۴۶	۴/۳۶۳	۰/۰۱۳	۰/۳۲	۰/۸۱۶
شرایط $\times$ زمان	۱۱۴/۶۳۷	۱/۷۳۰	۶۶/۲۴۶	۲۹/۲۸۰	۰/۰۰۰۱	۰/۷۶	۱

طب توانبخشی

هماهنگی چشم و دست



تصویر ۲. میانگین و انحراف معیار نمرات هماهنگی چشم و دست در چهار شرایط
 (#= تفاوت معنی‌دار با آندال آفلاین و \$= تغییرات معنادار از قبل به بعد)

طب توانبخش

هم‌زمان اعمال شدند، به‌طور معنی‌داری تغییرات منفی (۹/۳۸ درصد) به وجود آمد که می‌توان آن را به اثرات تداخلی نسبت داد. نکته قابل توجه این است که در حین اعمال بازخورد بینایی آینه با تحریک کاذب (شم آنالاین و شم آفلاین) هیچ تغییر معنی‌داری در عملکرد هماهنگی چشم و دست مشاهده نشد. این یافته با پژوهش فرزام‌فر و همکاران که تأثیر تمرینات حرکتی در آینه بر مهارت‌های حرکتی درشت در کودکان مبتلا به فلج مغزی یک‌طرفه را بررسی کرده بودند، تضاد دارد که احتمالاً به تک جلسه‌ای بودن مداخلات پژوهش حاضر مربوط می‌شود [۱۰].

تحریک‌پذیری پایین قشر حرکتی در کودکان مبتلا به فلج مغزی یک‌طرفه موجب اختلال در کنترل حرکات می‌شود [۲]. اثر تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم آندال بر قشر حرکتی اولیه باعث افزایش تحریک‌پذیری قشری نخاعی تا ۹۰ دقیقه بعد از تحریک و بهبود انعطاف‌پذیری مغزی می‌گردد [۲۴]. پژوهش‌مورا و همکاران نشان دادند یک جلسه تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم آندال بر قشر حرکتی اولیه در نیمکره آسیب‌دیده این کودکان، بهبود عملکرد حرکتی در اندام فوقانی را به دنبال دارد [۲]. درحالی‌که تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم، عملکرد حرکتی را افزایش می‌دهد، جنبه‌های شناختی را فعال نمی‌کند [۲۶]. سازماندهی مؤثر قشر مغز و بهبود عملکرد حرکتی تنها زمانی اتفاق می‌افتد که هم جنبه‌های

($P > 0.05$). همچنین، نتایج اثر ساده زمان نشان داد در شرایط آندال آفلاین مقادیر هماهنگی چشم و دست از قبل به بعد از اعمال مداخله به‌صورت معنی‌داری افزایش یافته بود ($d = 2/7$)، درحالی‌که در شرایط آندال آنالاین مقادیر هماهنگی چشم و دست از قبل به بعد از اعمال مداخلات به‌صورت معنی‌داری کاهش یافته بود ($d = 0/58$ ، $\Delta = -9/38$ ، $P = 0/03$). همچنین نتایج نشان داد در شرایط شم آنالاین و شم آفلاین تفاوت معنی‌داری در نتایج هماهنگی چشم و دست از قبل به بعد از اعمال مداخله مشاهده نشد (به ترتیب $P = 0/43$ و $P = 0/19$).

بحث

این پژوهش به بررسی تأثیر تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم قبل و هم‌زمان با بازخورد بینایی آینه بر هماهنگی چشم و دست در کودکان مبتلا به فلج مغزی یک‌طرفه پرداخته است. نتایج نشان داد در شرایط آندال آفلاین، نمرات پیش‌آزمون تا پس‌آزمون به‌طور معنی‌داری (۴۱/۶۰ درصد) بهبود یافته است. بنابراین، باتوجه به تفاوت مشاهده‌شده در شرایط، تحریک آندال آفلاین اثر معنی‌داری نسبت به سایر شرایط داشت. به نظر می‌رسد اعمال تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم پیش از بازخورد بینایی آینه می‌تواند به بهبود هماهنگی چشم و دست منجر شود. درمقابل، در شرایط آندال آنالاین که این دو مداخله

بر فعال سازی قشر جلوی مغز^{۱۹} نشان داده‌اند [۳۵]. قشر جلوی مغز نقش مهمی در یادگیری حرکتی و تشکیل حافظه دارد. نظریه‌های یادگیری سه مرحله اکتساب، حفظ و انتقال را متمایز می‌کنند [۳۶]. تحقیقات پورتر و مگیل نشان دادند کاهش تداخل زمینه‌ای به بهبود عملکرد در تمامی سطوح یادگیری حرکتی منجر می‌شود، درحالی‌که افزایش تداخل به کاهش عملکرد در اکتساب و بهبود در مراحل حفظ و انتقال می‌انجامد [۳۷].

مطالعه جین و همکاران بر روی بررسی طولانی مدت اثرات متقابل وابسته به زمان تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم دوگانه و بازخورد بینایی آینه بر روی اندام فوقانی مبتلایان بیمارستان مبتلا به سکته مغزی مزمن نشان داد گروه آندال آنالین بهبود قابل توجهی در مقیاس فوگل مایر در رابطه با دو گروه شم و آندال آفلاین داشت [۳۰]. به نظر می‌رسد ترکیب همزمان تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم و بازخورد بینایی آینه در دوره طولانی تر مؤثرتر و کارآمدتر باشد. شاید یکی از دلایل آن به تک جلسه‌ای بودن پژوهش حاضر نسبت داده شود. باتوجه به مشاهدات برگرفته از مطالعات انجام شده توسط پورتر و مگیل که کاهش عملکرد در مرحله اکتساب همراه با افزایش سطح اجرا در مراحل حفظ و انتقال زمانی که محرکها به طور همزمان اعمال می‌شدند، نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان یک پروتکل اساسی برای اجرای مداخله‌های طولانی مدت با هدف افزایش ظرفیت‌های حرکتی این کودکان باشد.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، ارزیابی هماهنگی چشم و دست در کودکان مبتلا به فلج مغزی اسپاستیک همی‌پلژی (SHCP) بود. یافته‌ها نشان داد مشاهده دست سالم در آینه، یک بازنمایی حرکتی از دست آسیب دیده در بیمار ایجاد می‌کند. افزون بر این، یافته‌ها حاکی از آن است که ترکیب متوالی (آفلاین) بازخورد بینایی آینه‌ای با تحریک مغزی، به دلیل سازوکار تحریک پرایمینگ، در مرحله اجرا مؤثرتر از ترکیب همزمان (آنالین) است. ترکیب آنالین به دلیل سازوکار تداخل، عملکرد را کاهش می‌دهد. بنابراین، توجه کاردرمانگران به سازوکار پرایمینگ می‌تواند عملکرد حرکتی را بهبود بخشد. از آنجاکه این مداخله قبلاً در این جمعیت خاص انجام نشده، یافته‌های این پژوهش مبنایی برای ارتقای عملکرد این کودکان است. توصیه می‌شود یک پروتکل تمرینی آنالین حاد، با در نظر گرفتن نقش زمان در یادگیری حرکتی، ابزاری مؤثر برای بهبود عملکرد اندام فوقانی باشد.

همچنین یکی از محدودیت‌های این پژوهش، مرسوم نبودن استفاده از تحریک مغز جهت درمان این کودکان و عدم پذیرش آن توسط والدین می‌باشد. همچنین معیارهای ورود به پژوهش (مانند نداشتن تشنج)، محدودیت‌هایی در یافتن آزمودنی ایجاد

حرکتی و هم شناختی مدنظر قرار گیرند. بازخورد بینایی آینه، آگاهی فرد از عضو آسیب دیده را افزایش می‌دهد و به ایجاد تصویری حرکتی از عضو مبتلا کمک می‌کند که قشر حرکتی مغز را تحریک می‌کند. نتیجه این عملکرد، بهبود انتقال اطلاعات از مغز به عضلات و بازگشت عملکرد حرکتی است. این بازخورد به فعالیت نورون‌های آینه‌ای در قشر حرکتی اولیه وابسته است که با ارسال ایمپالس به نورون‌های حرکتی، فرمان حرکتی را تسهیل و فعالیت بین نیمکره‌ای را تعدیل می‌کند [۱، ۸۳، ۲۷]. یافته‌ها در مطالعات مختلف نشان داده‌اند ترکیب بازخورد بینایی آینه و تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم، اثرات هم‌افزایی و مثبتی بر بهبود عملکرد حرکتی دارد [۲۸-۳۱].

زمان‌بندی مداخلات تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم نسبت به بازخورد بینایی آینه یکی از عوامل کلیدی در ارزیابی اثربخشی درمان ترکیبی است. باتوجه به نتایج پژوهش حاضر شرایط آندال آفلاین به طور معنی داری به بهبود هماهنگی چشم و دست منجر شد. این نتایج با پژوهش جیکوب و همکاران هم‌راستا می‌باشد که گزارش کردند نرمی حرکت^{۱۶}، هنگامی که تحریک مغز قبل از تمرین حرکتی (آفلاین) اعمال می‌شد بهبود یافت، درحالی‌که هیچ بهبودی در هنگام اعمال تحریک مغز در طول تمرین حرکتی (آنالین) مشاهده نشد [۳۲].

کانگ و همکاران با مکانیسم تحریک پرایمینگ^{۱۷} این نتایج را توجیه کردند. پرایمینگ بیان می‌کند «مغز که توسط فعالیت قبلی تحریک شده، به آموزش‌های بعدی بهتر پاسخ می‌دهد» و پیشنهاد می‌کند فعالیت عصبی تقویت شده قبل از آموزش می‌تواند به فعال سازی طولانی مدت کمک کند [۳۳]. در پژوهش حاضر، در حالت آندال آنالین درحین دریافت بازخورد بینایی آینه (محرک بصری) بود، تحریک فراجمعه‌ای با جریان مستقیم (محرک الکتریکی) نیز اعمال شده و انتظار می‌رفت این ترکیب اثر هم‌افزایی بر عملکرد حرکتی داشته باشد. اما مقایسه نمره هماهنگی چشم و دست در شرایط اعمال همزمان دو مداخله (آندال آنالین) نشان داد این دو محرک باعث تداخل و کاهش عملکرد حرکتی شده است.

این نتایج با یافته‌های آنتال و همکاران همخوانی داشت که گزارش کردند در حین انجام تکلیف شناختی یا حرکتی، اثرات تحریک‌های آندال و کاتدال بر مدولاسیون دامنه پتانسیل فراخوانده حرکتی^{۱۸} از بین می‌رود [۳۴]. این نتایج می‌تواند به درگیری مکانیسم‌های یادگیری متمایز نسبت داده شود. هرچند رقابت بین محرک‌های شناختی-حرکتی در کنترل اندام آسیب دیده به کاهش عملکرد منجر شده است، برخی مطالعات تصویربرداری عصبی تأثیر تداخل شناختی حرکتی را

16. Movement Smoothness
17. Priming Stimulation Mechanism
18. Motor-Evoked Potentials

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی شرکت کنندگان به دلیل همکاری‌شان در این مطالعه تشکر و قدردانی می‌کنند.

نمود. همچنین حجم نمونه محدود به ما اجازه نداد تعیین کنیم آیا شرایط آنلاین در طولانی مدت می‌تواند هماهنگی چشم و دست را بهبود بخشد یا خیر؟ بنابراین، توصیه می‌شود تلاش‌های تحقیقاتی آینده پیامدهای حفظ و انتقال را بررسی کنند [۳۶]. نتایج مستندشده در مجموعه ادبیات موجود در مورد تحریک فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم نشان داده است که تغییر در پارامترهای تحریک مانند تکنیک مورد استفاده، شدت، فرکانس، مکان و مدت تحریک چالش‌های قابل توجهی در تدوین پروتکل مؤثر برای فرایند توانبخشی برای این کودکان ایجاد کرده است.

پروتکل به کاررفته در این پژوهش از نظر امکان‌سنجی، ایمنی و تحمل تحریک فراجمجمه‌ای با جریان مستقیم در کودکان با استقبال خوبی مواجه شد و عارضه جانبی گزارش نشده است. نتایج این مطالعه زمینه‌ساز آزمایش‌های بالینی بزرگتر برای ارزیابی اثربخشی تحریک فرا جمجمه‌ای با جریان مستقیم و توانبخشی، بهره‌گیری از نورویلاستیسیت و مهارت‌های حرکتی به منظور تقویت عملکرد حرکتی است. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، تأثیر این تمرینات بر متغیرهای شناختی و رفتاری و عوامل مرتبط دیگر بررسی شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه رازی در نظر گرفته شده است. این پژوهش تأییدیه کمیته اخلاق دانشگاه رازی (IR RAZI.REC.1402.049) را کسب کرد و مطابق اصول اعلامیه هلسینکی انجام شد. همچنین پژوهش در دفتر ثبت کارآزمایی‌های بالینی ایران (IRCT20230728058946N1) ثبت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از رساله پگاه فرزام‌فر در گروه رفتار حرکتی و حرکات اصلاحی دانشگاه رازی می‌باشد و هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌سازی و طراحی: پگاه فرزام‌فر، احسان امیری، علی حیرانی و دنیل ماچادو؛ آزمایش‌ها: پگاه فرزام‌فر؛ تحلیل رسمی: پگاه فرزام‌فر، احسان امیری و علی حیرانی؛ تهیه پیش‌نویس اصلی مقاله: پگاه فرزام‌فر و علی حیرانی؛ بررسی و ویرایش نسخه خطی: احسان امیری، مصطفی صدیقی و دنیل ماچادو؛ تأیید نسخه نهایی: همه نویسندگان.

References

- [1] Park EJ, Baek SH, Park S. Systematic review of the effects of mirror therapy in children with cerebral palsy. *Journal of Physical Therapy Science*. 2016; 28(11):3227-31. [DOI:10.1589/jpts.28.3227] [PMID]
- [2] Moura RCF, Santos C, Collange Grecco L, Albertini G, Cimolin V, Galli M, et al. Effects of a single session of transcranial direct current stimulation on upper limb movements in children with cerebral palsy: A randomized, sham-controlled study. *Developmental Neurorehabilitation*. 2017; 20(6):368-75. [DOI:10.1080/17518423.2017.1282050] [PMID]
- [3] Palomo-Carrión R, Zuñil-Escobar JC, Cabrera-Guerra M, Barreda-Martínez P, Martínez-Cepa CB. Mirror therapy and action observation therapy to increase the affected upper limb functionality in children with hemiplegia: A randomized controlled trial protocol. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(3):1051. [DOI:10.3390/ijerph18031051] [PMID]
- [4] Potcovaru CG, Salmen T, Chitu MC, Dima V, Mihai MB, Bohltea RE, et al. Cerebral palsy: Review of epidemiology, etiology, clinical features, classification and prevention. *Romanian Journal of Pediatrics*. 2022; 71(S2):18-22. [Link]
- [5] Saavedra S, Karve SJ, Woollacott M, van Donkelaar P. Eye hand coordination in children with cerebral palsy. *Experimental Brain Research*. 2009; 192(2):155-65. [DOI:10.1007/s00221-008-1549-8] [PMID]
- [6] Johor Z, Candra R, Rasyid W, Asnaldi A, Oktarifaldi O, Bakhtiar S. Effect of hand-eye coordination on the capability of children object control. 1st International Conference of Physical Education. Dordrecht: Atlantis Press; 2020. [Link]
- [7] Verrel J, Bekkering H, Steenbergen B. Eye-hand coordination during manual object transport with the affected and less affected hand in adolescents with hemiparetic cerebral palsy. *Experimental Brain Research*. 2008; 187(1):107-16. [DOI:10.1007/s00221-008-1287-y] [PMID]
- [8] Aboelnasr EA, Hegazy FA, Altalway HA. Kinematic characteristics of reaching in children with hemiplegic cerebral palsy: A comparative study. *Brain Injury*. 2017; 31(1):83-9. [DOI:10.1080/02699052.2016.1210230] [PMID]
- [9] Ranjbar Z, Aran Ameri E, Norozi K, Shojae M, Daneshfar A. [The effects of exercise interventions on eye-hand coordination in children with spastic hemiplegic cerebral palsy (Persian)]. *Journal of Disability Studies*. 2020; 10:200. [Link]
- [10] Farzamfar P, Heirani A, Sedighi M. The effect of motor training in mirror therapy on gross motor skills of the affected hand in children with hemiplegia. *Iranian Rehabilitation Journal*. 2017; 15(3):243-8. [DOI:10.29252/nrip.irj.15.3.243]
- [11] Opila-Lehman J, Short MA, Trombly CA. Kinesthetic recall of children with athetoid and spastic cerebral palsy and of non-handicapped children. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 1985; 27(2):223-30. [DOI:10.1111/j.1469-8749.1985.tb03773.x] [PMID]
- [12] Ortega-Martínez A, Palomo-Carrión R, Varela-Ferro C, Bagur-Calafat MC. Feasibility of a home-based mirror therapy program in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Healthcare (Basel)*. 2023; 11(12):1797. [DOI:10.3390/healthcare11121797] [PMID]
- [13] Farzamfar P, Heirani A, Amiri E, Sedighi M, da Silva Machado DG. The effect of transcranial direct current stimulation on m1 with and without mirror visual feedback on range of motion and hand grip strength of the affected upper limb in children with spastic hemiplegic cerebral palsy. *Iranian Journal of Child Neurology*. 2024; 18(4):93-106. [DOI:10.22037/IJCN.V18I4.45110] [PMID]
- [14] Horiba M, Ueki Y, Nojima I, Shimizu Y, Sahashi K, Itamoto S, et al. Impaired motor skill acquisition using mirror visual feedback improved by Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in patients with Parkinson's Disease. *Frontiers in Neuroscience*. 2019; 13:602. [DOI:10.3389/fnins.2019.00602] [PMID]
- [15] Montenegro RA, Midgley A, Massaferrri R, Bernardes W, Okano AH, Farinatti P. Bihemispheric motor cortex transcranial direct current stimulation improves force steadiness in post-stroke hemiparetic patients: A randomized crossover controlled trial. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2016; 10:426. [DOI:10.3389/fnhum.2016.00426] [PMID]
- [16] Lapenta OM, Minati L, Fregni F, Boggio PS. Je pense donc je fais: Transcranial direct current stimulation modulates brain oscillations associated with motor imagery and movement observation. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013; 7:256. [DOI:10.3389/fnhum.2013.00256] [PMID]
- [17] Foerster A, Rocha S, Wiesiolek C, Chagas AP, Machado G, Silva E, et al. Site-specific effects of mental practice combined with transcranial direct current stimulation on motor learning. *The European Journal of Neuroscience*. 2013; 37(5):786-94. [DOI:10.1111/ejn.12079] [PMID]
- [18] Gillick B, Rich T, Nemanich S, Chen CY, Menk J, Mueller B, et al. Transcranial direct current stimulation and constraint-induced therapy in cerebral palsy: A randomized, blinded, sham-controlled clinical trial. *European Journal of Paediatric Neurology*. 2018; 22(3):358-68. [DOI:10.1016/j.ejpn.2018.02.001] [PMID]
- [19] Chan MK, Tong RK, Chung KY. Bilateral upper limb training with functional electric stimulation in patients with chronic stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2009; 23(4):357-65. [DOI:10.1177/1545968308326428] [PMID]
- [20] da Silva TD, Fontes AMGG, de Oliveira-Furlan BS, Roque TT, Lima AII, de Souza BMM, et al. Effect of combined therapy of virtual reality and transcranial direct current stimulation in children and adolescents with cerebral palsy: A study protocol for a triple-blinded randomized controlled crossover trial. *Frontiers in Neurology*. 2020; 11:953. [DOI:10.3389/fneur.2020.00953] [PMID]
- [21] Teymoori H, Amiri E, Tahmasebi W, Hoseini R, Grospretre S, Machado DGDS. Effect of tDCS targeting the M1 or left DLPFC on physical performance, psychophysiological responses, and cognitive function in repeated all-out cycling: A randomized controlled trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2023; 20(1):97. [DOI:10.1186/s12984-023-01221-9] [PMID]

- [22] Ghayebzadeh S, Zardoshtian S, Amiri E, Giboin LS, Machado DGDS. Anodal Transcranial Direct Current Stimulation over the right dorsolateral prefrontal cortex boosts decision making and functional impulsivity in female sports referees. *Life* (Basel). 2023; 13(5):1131. [DOI:10.3390/life13051131] [PMID]
- [23] Niknasab F, Bagherzadeh F, Sheikh M, Moghadamzadeh A, Hominian D. Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Visual-Motor Integration in Children with Developmental Coordination Disorder (DCD). *Neuropsychology*. 2023; 9(33):1-0. [Link]
- [24] Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology*. 2000; 527 Pt 3(Pt 3):633-9. [DOI:10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x] [PMID]
- [25] Goodwill AM, Reynolds J, Daly RM, Kidgell DJ. Formation of cortical plasticity in older adults following tDCS and motor training. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2013; 5:87. [DOI:10.3389/fnagi.2013.00087] [PMID]
- [26] Kristensen MGH, Busk H, Wienecke T. Neuromuscular electrical stimulation improves activities of daily living post stroke: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Rehabilitation Research and Clinical Translation*. 2021; 4(1):100167. [DOI:10.1016/j.arrct.2021.100167] [PMID]
- [27] Cheng CH, Lin SH, Wu CY, Liao YH, Chang KC, Hsieh YW. Mirror Illusion Modulates M1 Activities and Functional Connectivity patterns of perceptual-attention circuits during bimanual movements: A magnetoencephalography study. *Frontiers in Neuroscience*. 2020; 13:1363. [DOI:10.3389/fnins.2019.01363] [PMID]
- [28] von Rein E, Hoff M, Kaminski E, Sehm B, Steele CJ, Villringer A, et al. Improving motor performance without training: the effect of combining mirror visual feedback with transcranial direct current stimulation. *Journal of Neurophysiology*. 2015; 113(7):2383-9. [DOI:10.1152/jn.00832.2014] [PMID]
- [29] Hoff M, Kaminski E, Rjosk V, Sehm B, Steele CJ, Villringer A, et al. Augmenting mirror visual feedback-induced performance improvements in older adults. *The European Journal of Neuroscience*. 2015; 41(11):1475-83. [DOI:10.1111/ejn.12899] [PMID]
- [30] Jin M, Zhang Z, Bai Z, Fong KNK. Timing-dependent interaction effects of tDCS with mirror therapy on upper extremity motor recovery in patients with chronic stroke: A randomized controlled pilot study. *Journal of The Neurological Sciences*. 2019; 405:116436. [DOI:10.1016/j.jns.2019.116436] [PMID]
- [31] Segal N, Pud D, Amir H, Ratmanský M, Kuperman P, Honigman L, et al. Additive analgesic effect of transcranial direct current stimulation together with mirror therapy for the treatment of phantom pain. *Pain Medicine (Malden, Mass.)*. 2021; 22(2):255-65. [DOI:10.1093/pm/pnaa388] [PMID]
- [32] Giacobbe V, Krebs HI, Volpe BT, Pascual-Leone A, Rykman A, Zeiarati G, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) and robotic practice in chronic stroke: The dimension of timing. *NeuroRehabilitation*. 2013; 33(1):49-56. [DOI:10.3233/NRE-130927] [PMID]
- [33] Kang N, Summers JJ, Cauraugh JH. Transcranial direct current stimulation facilitates motor learning post-stroke: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*. 2016; 87(4):345-55. [DOI:10.1136/jnnp-2015-311242] [PMID]
- [34] Antal A, Terney D, Poreisz C, Paulus W. Towards unraveling task-related modulations of neuroplastic changes induced in the human motor cortex. *The European Journal of Neuroscience*. 2007; 26(9):2687-91. [DOI:10.1111/j.1460-9568.2007.05896.x] [PMID]
- [35] Surkar SM, Hoffman RM, Harbourne R, Kurz MJ. Cognitive-motor interference heightens the prefrontal cortical activation and deteriorates the task performance in children with hemiplegic cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2021; 102(2):225-32. [DOI:10.1016/j.apmr.2020.08.014] [PMID]
- [36] Graser JV, Bastiaenen CHG, Keller U, van Hedel HJA. Contextual interference in children with brain lesions: Protocol of a pilot study investigating blocked vs. random practice order of an upper limb robotic exergame. *Pilot and Feasibility Studies*. 2020; 6:156. [DOI:10.1186/s40814-020-00694-y] [PMID]
- [37] Porter JM, Magill RA. Systematically increasing contextual interference is beneficial for learning sport skills. *Journal of Sports Sciences*. 2010; 28(12):1277-85. [DOI:10.1080/0264044.2010.502946] [PMID]