Sport Medicine Studies

Sport Sciences Research Institute of Iran

Quarterly Journal of Sport Medicine Studies

Fall 2023/ Vol. 15/ No. 37/ Pages 75-102

The Effect of TransCranial Direct Stimulation Combined with Neuromuscular Exercises on Dynamic Knee Valgus Angle, Performance and Balance of Elite Martial Artists

M. S. Moshashaei[1], F. Gandomi[1*], E. Amiri[2], N. Maffulli [3,4,5]

1. Sport Injuries and Corrective Exercises Department, Sport Sciences Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. Sport Injuries and Corrective Exercises Department, Sport Sciences Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran.
3. Sport Physiology Department, Sport Sciences Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran.
4. Department of Musculoskeletal Disorder, Faculty of Medicine and Surgery, University of Salerno, Salerno Italy.
5. Centre for Sports and Exercise Medicine, Queen Mary University of London, London.
6. School of Pharmacy and Bioengineering, Keele University School of Medicine, Staffordshire, UK.

Received: 2023/01/21

Accepted: 2023/08/27

Moshashaei, M. S; Gandomi, F; Amiri, E; & Maffulli, N. (2023). The Effect of TransCranial Direct Stimulation Combined with Neuromuscular Exercises on Dynamic Knee Valgus Angle, Performance and Balance of Elite Martial Artists. *Sport Medicine Studies*, 15(37), 75-102. In Persian. DOI: 10.22089/SMJ.2023.14229.1650

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of transcranial direct stimulation (tDCS) in combination with neuromuscular exercises (NME) on knee valgus angle, function and balance of elite martial artists. In this double-blind clinical trial with pre-test and post-test design, 34 martial arts were randomly allocated into two groups: tDCS in combination with NME (n=17) and tDCS (sham) in combination with NME (n=17). In order to determine the dynamic knee valgus, the video of the subjects' moment of landing was analyzed with Kinovea software. Lower extremity function was evaluated by four hopping test and balance were evaluated by Y test. Then, the interventions were implemented for four weeks. After the completion of the interventions, the results of the study were re-examined immediately. Dependent t-test was used for within-group comparisons and independent t-test and covariance analysis were used for between-groups comparisons. The findings showed that NME and tDCS have significant effects on the valgus angle (P=0.0001), 6-meter hopping (P=0.0001), and balance (P=0.004), while NME and tDCS have no significant effects on the single-hopping (P=0.12), triple-hopping (P=0.13), and cross-hopping (P=0.19). Further, NME and tDCS (sham) have significant effects on

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

knee valgus (P=0.0001), 6-meter-hopping (P=0.011), and balance (P=0.009); however, NME and tDCS (sham) haven't significant effects on single-hopping (P=0.83), triple-hopping (P=0.96), crossed-hopping (P=0.53). Additionally, there was no significant difference between groups for all outcome measures (P>0.05). Based on statistical findings, there was no significant difference between groups in knee valgus, function and balance. However, based on clinical findings (MCID and MDC) that tDCS had more effect than Sham on function, it is recommended that more research should be done in this field.

Keywords: Transcranial Direct Stimulation, Knee Valgus, Balance, Martial Arts, Neuromuscular Exercises.

* Corresponding Author: Farzaneh Gandomi, Tel: 09188865350, E-mail: gandomi777@gmail.com, https://orcid.org/ 0000-0002-8607-3803

Extended Abstract

Background and Purpose

Dynamic knee valgus (DKV) is one of the essential risk factors in the occurrence of lower limb injuries in professional athletes. Appropriate exercise strategies to correct this problem can prevent many lower limb injuries. Neuromuscular exercises reduce the risk of DKV by increasing the activity of the internal hamstring muscles and increasing the control of the trunk and pelvis through the modification of the movement pattern and pre-planned strategies. In addition, the mentioned exercises improve the biomechanical variables of the lower limbs and increase performance (improvement of jumping distance and neuromuscular control) in athletes, which can reduce the risk of ACL damage. These exercises include resistance exercises, plyometric, exercises to improve strength and neuromuscular control, proprioception, movement control, modification of movement patterns, and functional biomechanics to reduce the risk of ACL damage (1). On the other hand, the stimulation of the M1 point in the transcranial direct current stimulation (tDCS) can improve muscle excitability by activating the spinal motor neurons (2). Therefore, this study aimed to evaluate the effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) in combination with neuromuscular exercises on dynamic knee valgus, performance, and balance of elite martial artists.

Materials and Methods

This study was conducted on thirty-four martial artists suffering from DKV defect who were selected by purposive sampling and randomly divided into two experimental (neuromuscular training + anodal direct transcranial stimulation = 17) and control (neuromuscular training + transcranial direct stimulation, Sham=17). Both groups received three sessions of neuromuscular training per week for four weeks. The experimental group received real stimulation while the control group received sham stimulation. The dynamic knee valgus angle was determined by frame-by-frame analysis of video images taken from the anterior view at the frontal plane in the jump-landing skill from a 30 cm box in Kinovea software (version 9.0.5). The frame at the moment of landing, or the frame in which the person was at the lowest height (knee flexion), was determined and in this frame, the dynamic knee valgus angle was calculated (3). This angle was determined from the intersection of two lines drawn between the anterior superior iliac spine to the center of the patella and the line drawn from the center of the patella to the midpoint of the ankle (4). One-leg hop, triple hop, cross hop, and 6-meter hop tests were used to check the function of the lower limbs. A 6-meter narrow tape measure (cm) was placed on the floor for single, triple, and crossover trials, and the participant began the trials in a

single-legged standing position on the dominant leg. The distance traveled from the starting line to the subject's heel strike point was measured in the single-leg hopping test. The swing of the upper limb and the stretching of the lower limb were used to move forward and jump forward as much as possible until it landed on the same limb and maintained balance without losing balance or touching the opposite leg (Fig 1) (5). Dynamic balance was measured by Y-test in which, the participant stood with the upper leg in the middle of the Y device, and the movement was done in the anti-clockwise direction (6). The interventions were implemented for four weeks, and study outcomes were reassessed immediately after the completion of the interventions.

Within-group comparison was performed with dependent t-test and between-group comparison was done with independent t-test and one-way analysis of variance (ANCOVA). Minimum clinically important difference and minimum detectable change analysis based on 95% confidence level in the present study, and the minimum clinically important difference (MCID) were evaluated using a distribution-based approach and reliable change index (RCI) while Minimum detectable change (MDC) was evaluated using standard error of measurement. The method of calculating the standard error measurement (SEM) and the equations are given below:

$SEM = SDpre \sqrt{1-rtest}$

$MDC\%95 = 1.96 \times \sqrt{2}\ SEM$

$MCIDRCI = 1.96 \times SDpre \{\sqrt{(1-r_{test})}\}$

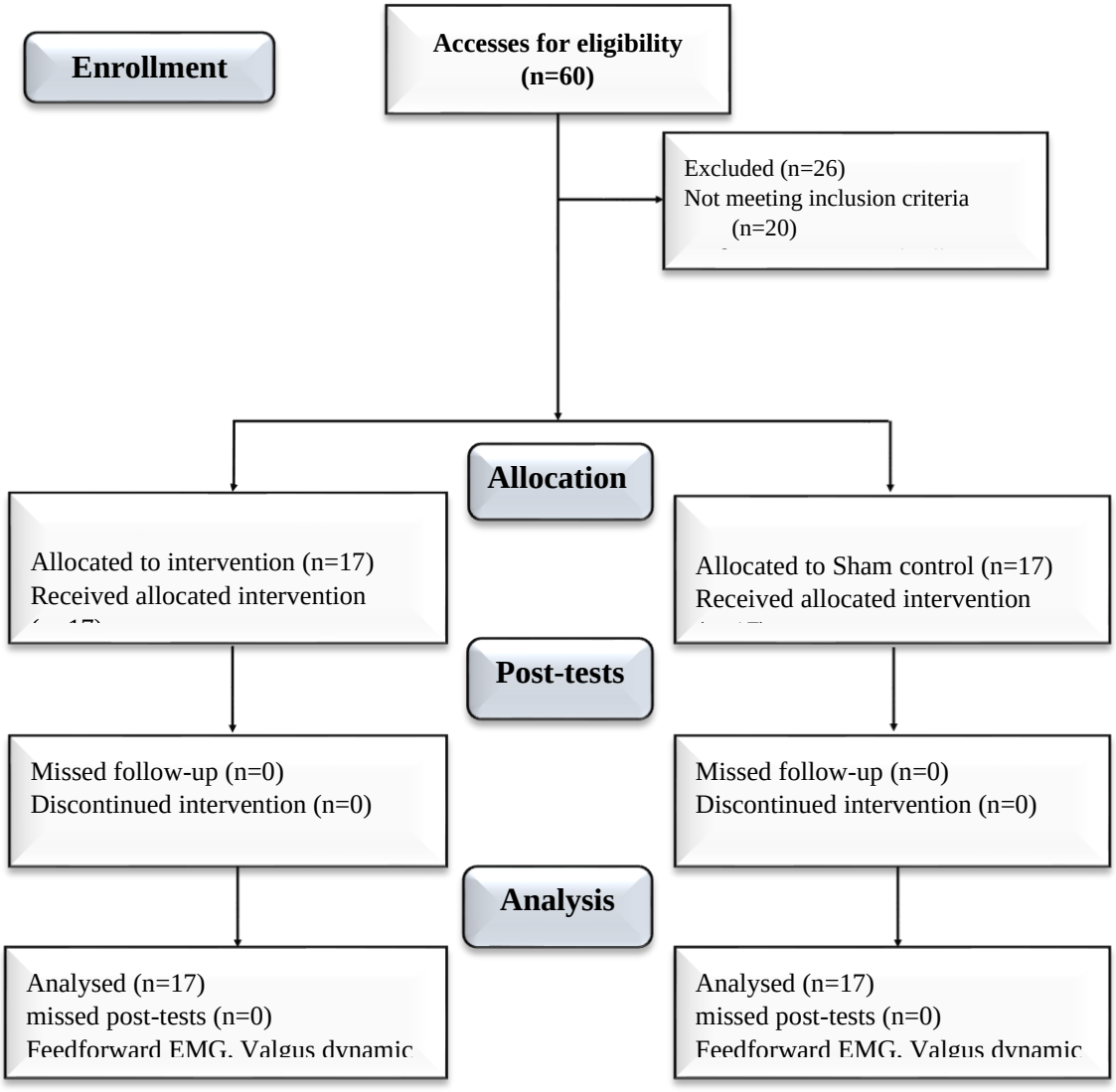


Fig 1. Study flowchart.

The research process was approved by the Ethics Committee in Biological Research of Razi University IR.RAZI.REC.1401.003 and Iran Clinical Trial Center IRCT20220614055164N1.

Results

First, Shapiro Wilk and Levene's tests were used to check the normality and homogeneity of variances. The statistical findings showed that both assumptions were approved ($P<0.05$). The demographic characteristics of the subjects of the two studied groups were investigated using the independent t-test and no significant difference was observed between the groups ($P<0.05$). Within group comparisons indicated that neuromuscular training and tDCS had a significant effect on dynamic knee valgus angle ($P = 0.0001$), 6-meter hopping ($P = 0.0001$), and dynamic balance ($P =$

0.004). However, there was no significant effect on single-leg hopping (P =0.12), triple hopping (P = 0.13), and cross hopping (P = 0.19). Neuromuscular exercises and sham tDCS had a significant effect on a dynamic knee valgus angle (P = 0.0001), 6 - meter hopping (P = 0.011), and balance (P = 0.009); however, Neuromuscular exercises and sham tDCS had no significant effect on the factors of single leg jump (P =0.83), triple hopping (P = 0.96) and cross hopping (P = 0.053). Between-groups statistical comparisons also showed no significant difference between the two groups regarding outcomes (P < 0.05).

Conclusion

No significant difference was found in the statistical results regarding the effect of tDCS stimulation on knee valgus, balance, and performance of athletes between the two groups. Based on the clinical results (minimal clinically important difference & Minimal detectable change), regarding the effect of tDCS stimulation on performance, it is recommended to conduct more detailed studies to investigate the effectiveness of this non-invasive intervention. The present study was conducted with the aim of investigating the effect of transcranial direct stimulation in combination with neuromuscular exercises on dynamic knee valgus angle, performance and balance of elite martial artists, which can be a new window in interdisciplinary studies. Therefore, the findings of this study and similar studies can be the basis on which more clinical tests can be performed with the aim of improving therapeutic samples.

Keywords: Transcranial Direct Current Stimulation, Dynamic Knee Valgus, Balance, Martial Arts, Neuromuscular Exercises.

Article Message

This study is one of the first studies, which has applied tDCS intervention to the field of sports science, especially sports injuries prevention major. The results can bring an interdisciplinary and innovative opportunity in the science of sports injuries prevention for researchers, sports therapists, and athletes.

References

1. Dadfar M, Sheikhhoseini R, Eslami R, Farivar NJMR. The Effects of Corrective Exercise With and Without Visual Feedback on Lower Extremity Biomechanics and Dynamic Balance in Adolescent Female Athletes With Dynamic Knee Valgus: A Pilot Study. 2022;16(1).
2. Dutta A, Krishnan C, Kantak SS, Ranganathan R, Nitsche MAJRn, neuroscience. Recurrence quantification analysis of surface electromyogram supports alterations in motor unit recruitment strategies by anodal transcranial direct current stimulation. 2015;33(5):663-9.
3. Koorosh-fard N, Rajabi R, Shirzad EJAoR. Effect of feedback corrective exercise on knee valgus and electromyographic activity of lower limb muscles in single leg squat.2015;16(2):138-47.
4. Munro A, Herrington L, Carolan MJJosr. Reliability of 2-dimensional video assessment of frontal-plane dynamic knee valgus during common athletic screening tasks. 2012;21(1):7-11.
5. Fadaei Dehcheshmeh P, Gandomi FJSMJ. The Effect of Lumbopelvic Control Disorders on Balance and Lower Extremity Function in Professional Athletes with Frequent Landings: A Single-Blind Cross-Sectional Study. 2021;9(2):145-60.
6. Gribble PA, Tucker WS, White PAJJoat. Time-of-day influences on static and dynamic postural control. 2007;42(1):35.

مطالعات طب ورزشی

پژوهشگاه تربیت‌بدنی

فصلنامه مطالعات طب ورزشی

پاییز ۱۴۰۲، دوره ۱۵، شماره ۳۷، صفحه‌های ۱۰۲-۷۵

اثر یک دوره تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای در ترکیب با تمرینات عصبی–عضلانی بر زاویهٔ ولگوس پویای زانو، عملکرد و تعادل رزمی‌کاران نخبه

مژده سادات مشعشعی[۱]، فرزانه گندمی[۱*]، احسان امیری[۲]، نیکولا مافولی[۳]

۱. گروه آسیب‌شناسی ورزشی و تمرینات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳. گروه اختلالات اسکلتی عضلانی، دانشکده پزشکی و جراحی، دانشگاه سالرنو، سالرنو، ایتالیا

۴. مرکز پزشکی ورزش و ورزش، دانشگاه کوئین مری لندن، لندن

۵. دانشکده داروسازی و مهندسی زیستی، دانشکده پزشکی دانشگاه کیل، استافوردشایر، انگلستان

Moshashaei, M. S; Gandomi, F; Amiri, E; & Maffulli, N. (2023). The Effect of TransCranial Direct Stimulation Combined with Neuromuscular Exercises on Dynamic Knee Valgus Angle, Performance and Balance of Elite Martial Artists. *Sport Medicine Studies*, 15(37), 75-102. In Persian. DOI: 10.22089/SMJ.2023.14229.1650

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی اثربخشی تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) در ترکیب با تمرینات عصبی-عضلانی، بر ولگوس پویای زانو، عملکرد و تعادل رزمی‌کاران نخبه بود. در این کارآزمایی دوسویه‌کور، ۳۴ رزمی‌کار نخبه به‌طور تصادفی به دو گروه (tDCS و تمرینات عصبی-عضلانی (n=۱۷) و tDCS (شَم) و تمرینات عصبی-عضلانی (n=۱۷)، تخصیص یافتند. با تحلیل فیلم آزمودنی‌ها در لحظه فرود، زاویه ولگوس زانو بررسی شد. در پیش‌آزمون، عملکرد با استفاده از چهار تست هاپینگ ارزیابی شد و تعادل پویا با آزمون Y اندازه‌گیری شد. سپس مداخلات به‌مدت چهار هفته اجرا شد و بلافاصله پس از اتمام مداخلات، پیامدهای مطالعه، مجدد بررسی شد. مقایسه‌های درون‌گروهی با آزمون t وابسته و مقایسه‌های بین‌گروهی با آزمون‌های t مستقل و آنالیز کُواریانس انجام شد. یافته‌های درون‌گروهی نشان داد که تمرینات عصبی-عضلانی و tDCS بر زاویه ولگوس (P=۰/۰۰۰۱)، پرش شش‌متری (P=۰/۰۰۰۱) و تعادل (P=۰/۰۰۴) اثر معناداری داشت، اما بر پرش لی تک‌پا (P=۰/۱۲)، پرش سه‌تایی (P=۰/۱۳) و پرش متقاطع (P=۰/۱۹) اثر معناداری نداشت. همچنین تمرینات عصبی-عضلانی و tDCS شَم بر زاویه ولگوس (P=۰/۰۰۰۱)، پرش شش‌متری (P=۰/۰۱۱) و تعادل (P=۰/۰۰۹)، اثر معناداری داشت، اما بر فاکتورهای پرش لی تک‌پا (P=۰/۸۳)، پرش سه‌تایی (P=۰/۹۶) و پرش متقاطع (P=۰/۰۵۳) اثر معناداری نداشت.

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

مقایسه‌های آماری بین‌گروهی نیز نشان داد که بین دو گروه از نظر پیامدهای مطالعه، تفاوت معناداری وجود نداشت (P>۰/۰۵). یافته‌های آماری درخصوص اثرگذاری تحریک tDCS بر ولگوس زانو، تعادل و عملکرد ورزشکاران، بین دو گروه، تفاوت معناداری را نشان نداد؛ با وجود این، براساس یافته‌های کلینیکال (MCID, MDC)، مبنی‌بر اثرگذاری تحریک tDCS بر عملکرد، توصیه می‌شود مطالعات دقیق‌تری با هدف بررسی اثرگذاری این مداخله غیرتهاجمی انجام شود.

واژگان کلیدی: **تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای، ولگوس زانو، تعادل، رزمی‌کار، تمرینات عصبی-عضلانی.**

* Corresponding Author: Farzaneh Gandomi, Tel: 09188865350, E-mail: gandomi777@gmail.com, https://orcid.org/ 0000-0002-8607-3803

مقدمه

آسیب‌های اندام تحتانی شایع‌ترین آسیب‌های ورزشی در حین تمرین و مسابقه هستند (۱)؛ به‌طوری‌که ۶۶ درصد از کل آسیب‌های ورزشی را آسیب‌های اندام تحتانی شامل می‌شود و از این میان، مفصل زانو شایع‌ترین محل بروز این آسیب‌ها است (۲). یکی از شایع‌ترین و مهم‌ترین آسیب‌های زانو، آسیب رباط صلیبی قدامی[1] (ACL) است که معمولاً به دلیل تغییرات ناگهانی در جهت حرکت، ضعف عضلانی و بی‌ثباتی مفصل اتفاق می‌افتد (۳). پارگی رباط صلیبی قدامی، ۲۰ تا ۲۵ درصد از تمام صدمات مربوط به آسیب زانو را شامل می‌شود (۴). رباط صلیبی قدامی، رباط تثبیت‌کننده در زانو بوده که هدف اصلی آن کنترل انتقال قدامی تیبیا و چرخش استخوان درشت‌نی است (۵). این آسیب در رشته‌های رزمی نیز بارها گزارش شده است؛ به‌طوری‌که از هر پنج رزمی‌کار، سه نفر هنگام فرود دچار آسیب‌دیدگی رباط صلیبی قدامی شده‌اند (۶). یکی از رایج‌ترین مکانیسم‌های وقوع آسیب ACL، ولگوس پویای زانو[2](DKV) حین مانورهای ورزشی چون فرود گزارش شده است (۷). ترکیبی از حرکات هم‌زمان آداکشن، چرخش داخلی مفصل ران، آبداکشن زانو، چرخش خارجی استخوان درشت‌نی و انحراف مفصل مچ پا همراه با پرونیشن پا، ولگوس پویا زانوی نامیده می‌شود (۹، ۸). نتایج تحقیقات متعددی نشان می‌دهد که زنان ورزشکار تمایل بیشتری به ولگوس پویای زانو هنگام فرود دارند که این موضوع آن‌ها را بیشتر در معرض خطر ابتلا به آسیب رباط صلیبی قدامی قرار می‌دهد (۱۱، ۱۰). همچنین اختلال ولگوس پویای زانو بر ویژگی‌های بیومکانیکی در طول فعالیت‌های ورزشی تأثیر می‌گذارد (۱۰). در راستای پیشگیری و اصلاح ولگوس پویای زانو در ورزشکاران حرفه‌ای، با هدف پیشگیری از وقوع آسیب‌های زانو، مداخلات متعددی همچون تمرینات عصبی-عضلانی، تمرینات تعادلی، مداخلات فیزیوتراپی و.... انجام شده است (۱۴-۱۲)؛ بااین‌حال تاکنون یافته قاطعی درخصوص اصلاح این مشکل رایج در ورزشکاران حرفه‌ای گزارش نشده است.

یکی از مداخلاتی که در اصلاح ولگوس پویای زانو استفاده شده و نتایج رضایت‌بخشی برای آن گزارش شده است، تمرینات عصبی-عضلانی[3] (NMT) است. یافته‌های پیشین نشان داده‌اند که تمرینات عصبی-عضلانی و حس عمقی در پیشگیری از آسیب‌های زانو و آسیب‌های ACL، شگفت‌آور بوده‌اند (۱۲). تمرینات عصبی-عضلانی با افزایش فعالیت عضلات همسترینگ

1. Anterior Cruciate Ligament (ACL)
2. Dynamic Knee Valgus (DKV)
3. Neuromuscular Training

داخلی، افزایش کنترل تنه و لگن از طریق اصلاح الگوی حرکتی و راهبردهای از پیش برنامه‌ریزی‌شده، موجب کاهش خطر ولگوس پویای زانو می‌شود. به‌علاوه انجام تمرینات مذکور باعث بهبود متغیرهای بیومکانیکی اندام تحتانی و افزایش عملکرد (بهبود مسافت پرش و کنترل عصبی-عضلانی) در ورزشکاران می‌شود که می‌تواند خطر آسیب ACL را کاهش دهد. این تمرینات شامل تمرینات مقاومتی، پلایومتریک، تمریناتی برای بهبود قدرت و کنترل عصبی-عضلانی، بهبود حس عمقی، بهبود کنترل حرکتی، اصلاح الگوهای حرکتی و بیومکانیک عملکردی، با هدف کاهش خطر آسیب ACL است (۱۵). نشان داده شده است که این دسته از تمرینات با بهبود نقایص بیومکانیکی که معمولاً با آسیب همراه است، احتمال آسیب ACL را کاهش می‌دهد (۱۵)؛ بنابراین براساس مطالب ذکرشده و یافته‌های مطلوب مطالعات پیشین، محققان نیز در این مطالعه از تمرینات عصبی-عضلانی استفاده کردند.

یکی دیگر از مداخلاتی که اخیراً مدنظر بسیاری از آسیب‌شناسان ورزشی و متخصصان فیزیوتراپی قرار گرفته است، تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای[1](tDCS) است. تحریک آنودال[2] سبب دپلاریزه شدن و افزایش تحریک‌پذیری، تحریک کاتودال[3] سبب هایپرپلاریزه شدن و کاهش تحریک‌پذیری نورون‌های نواحی هدف می‌شود (۱۶). این مداخله نوعی تحریک مغزی غیرتهاجمی است که در آن جریان الکتریکی کوچک (۰/۵ تا ۲ میلی‌آمپر) بین نواحی قشر مغز اعمال می‌شود (۱۷). ناحیهٔ تحریک‌شده در مغز یکی از مهم‌ترین متغیرهایی است که چگونگی پاسخ سیستم عصبی به تحریک مغز را تعیین می‌کند. دو ناحیه از مغز که بیشترین توجه را به خود جلب کرده‌اند، نواحی قشر حرکتی اولیه[4] (M1) و قشر خلفی-جانبی پیش‌پیشانی[5] (DLPFC) است. به‌طورکلی، نقش ناحیه M1 توسعه برنامه حرکتی و فعال‌سازی نورون‌های حرکتی نخاعی است و عملکرد ناحیه DLPFC بیشتر به برنامه‌ریزی حرکتی، توجه و حافظه کاری مربوط می‌شود (۱۸). ناحیه M1 به دلیل نقش مهم آن که دادن فرمان عصبی به عضلات در حین ورزش است، بیشترین ارتباط را با عملکرد ورزشی دارد (۱۹). اخیراً مشخص شده است که این مداخله در هدف قرار دادن ناحیه عمیق‌تر قشر حرکتی که اندام تحتانی را کنترل می‌کند، مؤثر است (۲۰). یافته‌های تحقیقات پیشین نشان می‌دهند که در اندام تحتانی، tDCS آنودال عملکرد وظایف پیچیده‌ای مانند ردیابی حرکتی ماهرانه، قدرت عضلانی و راه‌رفتن را بهبود می‌بخشد. همچنین کاربرد ۱۵ دقیقه tDCS آندال برای نقطه M1 در طول کار ویزوموتور مچ پا، زمان واکنش انتخابی مچ پا را بهبود می‌بخشد (۱۸). در مطالعه دیگری، اثر تحریک tDCS بر فعالیت عضلات اندام تحتانی و تعادل فوتبالیست‌ها بررسی شد و نتایجی مبنی بر اثرگذاری تحریک tDCS بر سطح فعالیت عضلات گزارش شد (۱۵)؛ بنابراین این احتمال وجود دارد که اضافه‌کردن تحریک مستقیم قشر حرکتی مغز در ناحیه M_1 به تمرینات عصبی-عضلانی در ثبات‌بخشی و اصلاح الگوی ولگوس داینامیک زانو مؤثر باشد و بتواند نتایج درخورتوجهی را بر تحریک عضلات اندام تحتانی و کنترل عصبی-عضلانی در لحظه تماس پا با زمین در ورزشکاران دارای ولگوس پویای زانو بر جای بگذارد. این احتمال نیز وجود دارد که اضافه‌کردن تحریک آنودال tDCS به تمرینات عصبی-عضلانی، سطح فعالیت عضلانی را که ممکن است به دلیل ضعف در فراخوانی منجر به ایجاد ولگوس داینامیک شده باشد، بهبود دهد، ثبات داینامیک مفصل افزایش یابد

1. Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS)
2. Anodal
3. Cathodal
4. Primary Motor Cortex
5. Dorsolateral Prefrontal Cortex

و از وقوع برخی آسیب‌ها در مفصل زانو جلوگیری شود؛ درنتیجه، محققان در این مطالعه با نگاهی پیشگیرانه در زمینه وقوع آسیب‌های زانو، درصدد برآمدند تا به مطالعه اثرگذاری یک دوره دوازده‌جلسه‌ای تحریک جدار جمجمه با جریان مستقیم و تمرینات عصبی-عضلانی، بر زاویه ولگوس زانو، عملکرد و تعادل پویای ورزشکاران رزمی‌کار حرفه‌ای بپردازند.

روش پژوهش

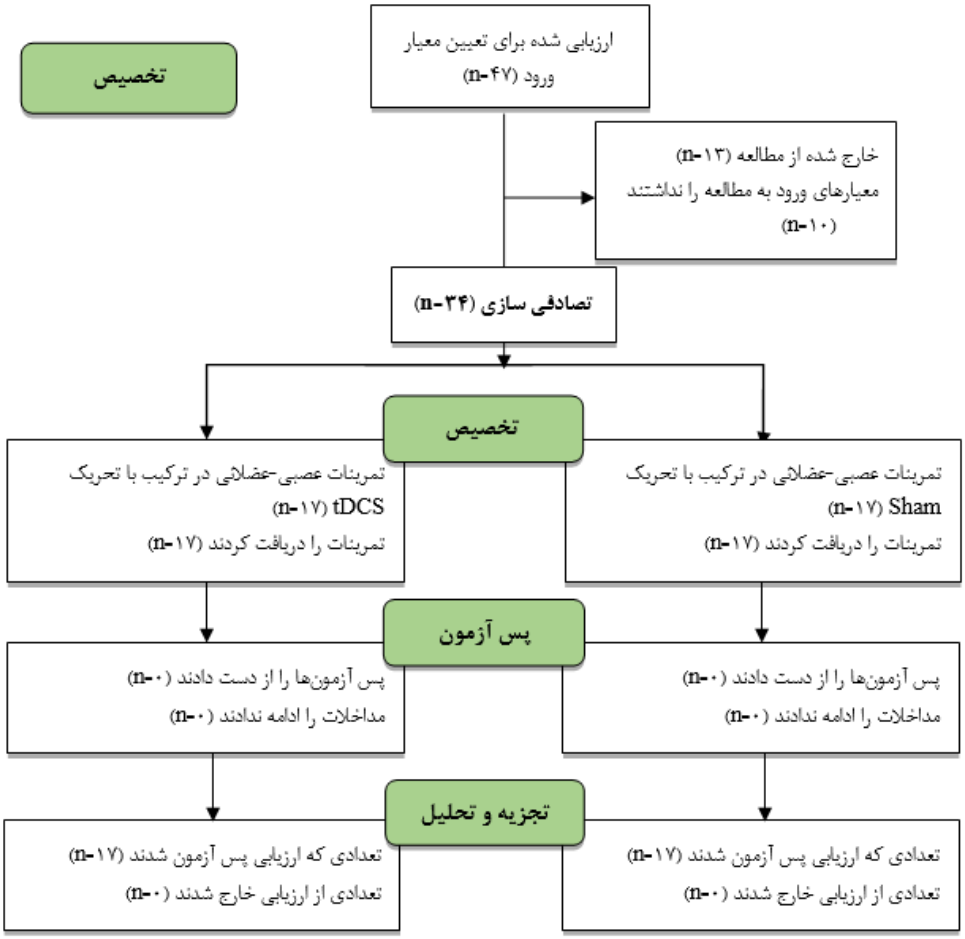
طرح تحقیق حاضر، یک کارآزمایی بالینی تصادفی‌سازی‌شده، دوسویه‌کور با گروه‌های موازی و طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون بود که در آزمایشگاه توان‌بخشی ورزشی و تمرینات اصلاحی دانشگاه دانشگاه رازی در بازه زمانی ۱۴۰۱/۰۵/۱۵ تا ۱۴۰۱/۰۷/۱۵ انجام شد. فرایند انجام تحقیق توسط کمیته اخلاق در پژوهش زیستی دانشگاه رازی IR.RAZI.REC.1401.003 و مرکز کارآزمایی بالینی ایران IRCT20220614055164N1 تأیید شد. این تحقیق مطابق اعلامیه اخلاق در پژوهش Helsinki بود و اعمال آن خطری برای آزمودنی‌های مشارکت‌کننده در تحقیق نداشت. تمام آزمودنی‌های شرکت‌کننده در مطالعه رضایت‌نامه کتبی را امضا کرده و با رضایت کامل در مطالعه شرکت کردند.

شرکت‌کنندگان در این مطالعه از میان رزمی‌کاران نخبه استان که در تیم‌های استانی عضو بودند، به مطالعه دعوت شدند. نمونه آماری شامل ۳۴ زن سالم با نقص والگوس پویای زانو بود. معیارهای ورود آزمودنی‌ها به تحقیق حاضر عبارت بودند از: تمام رزمی‌کاران استان با نقص ولگوس پویای زانو که توسط آزمون پرش تاک شناسایی شدند، زنان دامنه سنی ۱۵ تا ۳۵ سال، شاخص توده بدنی نرمال، سلامت جسمی ورزشکار در زمان مطالعه، حداقل سه سال سابقه حضور مستمر و منظم در تمرینات رزمی (تکواندو،کاراته، وشو)، شرکت‌نکردن در برنامه‌های تمرینی پیشگیری از آسیب در یک سال گذشته، نداشتن سابقه آسیب ACL یا سایر آسیب‌های اندام تحتانی و تنه نیازمند جراحی طی شش ماه گذشته، نبود بدراستایی‌های قابل‌رؤیت در اندام تحتانی و تنه و زاویه والگوس زانوی بیش از ۱۲ درجه (۲۱)؛ بااین‌حال، ورزشکاران دارای آسیب حاد و جراحی در شش ماه گذشته، ناهنجاری‌های آناتومیکی واضح، بیماری‌های عصبی-عضلانی، دریافت مداخلات تقویتی هم‌زمان، سابقه دردهای مزمن زانو، رضایت نداشتن آزمودنی‌ها از شرکت در تحقیق به هر دلیلی، شرکت‌نکردن آزمودنی‌ها در دو جلسه تمرینی متوالی و سه جلسه غیرمتوالی در مداخلات، سبب خروج آزمودنی‌ها از مطالعه شد (شکل شماره یک). تعداد نمونه‌های آماری مطالعه با نرم افزار آماری Gpower 3.1 براساس دابس و همکاران (۲۰۱۹)، با اندازه اثر ۰/۴۶، سطح معناداری ۰/۰۵ و توان آماری ۰/۸۰ و ۱۰ درصد ریزش ۳۰ نفر تعیین شد (۷).

ازآنجاکه این مطالعه طی بیماری همه‌گیری کوید-۱۹ انجام شد، پس از مراجعه هر آزمودنی به آزمایشگاه، در صورت مشاهده علائم غیرطبیعی مانند درجه حرارت بدن بیشتر از ۳۷ یا هیپوکسی کمتر از ۹۳ درصد از مطالعه حذف می‌شدند. بعد از تکمیل فرم‌های رضایت‌نامه کتبی و پرسش‌نامه‌های عمومی، توضیحاتی راجع به مراحل تست‌گیری داده شد. آزمودنی‌ها با چگونگی تحریک الکتریکی مغز آشنا شدند و به‌منظور بررسی نبود واکنش غیرطبیعی به تحریک الکتریکی مغز، دوزهای کوتاهی از تحریک را به‌صورت آزمایشی دریافت کردند. برای تعیین زاویه ولگوس زانو از تست پرش-فرود از روی جعبه ۳۰ سانتی‌متری استفاده شد (۲۲) که از نمای روبه‌رو از روند پرش فرود آزمودنی فیلم‌برداری شد و درنهایت فیلم ضبط‌شده با نرم افزار kinoveia نسخه ۹.۰.۵ ارزیابی شد.

افراد دارای شرایط شرکت در پژوهش، به‌صورت تصادفی به دو گروه تحریک فراجمجمه‌ای در ترکیب با تمرینات عصبی-عضلانی (n=۱۷) و گروه تمرینات عصبی-عضلانی در ترکیب با تحریک فراجمجمه‌ای شَم (n=۱۷) تخصیص یافتند. آزمودنی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Randome number allocation تصادفی شدند. سپس اعداد مربوط به هر نفر و گروه تخصیص داده‌شده در یک برگه نوشته شد و در پاکت بی‌رنگی توسط فردی غیردرگیر در پژوهش قرار داده شد (روش SNOSE[1]). پس از ارزیابی‌ها برای هر فرد، پاکت مربوط به وی باز شد و آزمودنی و ارزیاب متوجه گروه تخصیص‌داده‌شده شدند. در مرحله پیش‌آزمون، بعد از ۱۰ دقیقه گرم‌کردن، عملکرد اندام تحتانی آزمودنی‌ها با آزمون‌های پرش تک‌پا، پرش لی سه‌تایی، پرش لی متقاطع و پرش لی شش‌متر در زمان و تعادل پویا با تست Y ارزیابی شد. سپس هر دو گروه مطالعه به‌مدت چهار هفته، هفته‌ای سه جلسه و هر جلسه ۴۰ دقیقه، تمرینات عصبی-عضلانی را دریافت کردند (۲۳، ۱۷). گروه تجربی علاوه‌بر تمرینات عصبی-عضلانی، هر هفته، سه جلسه بیست‌دقیقه‌ای تحریک tDCS را نیز دریافت کرد؛ بااین‌حال، گروه کنترل فقط تحریک tDCS به‌صورت Sham دریافت کرد. پس از اتمام مداخلات و دوره تمرینی، پیامدهای مطالعه بلافاصله ارزیابی مجدد شدند.

1. Sequentially Numbered, Opaque, Sealed Envelope



شکل ۱- فلوچارت روند مطالعه

Figure 1- Study flow chart

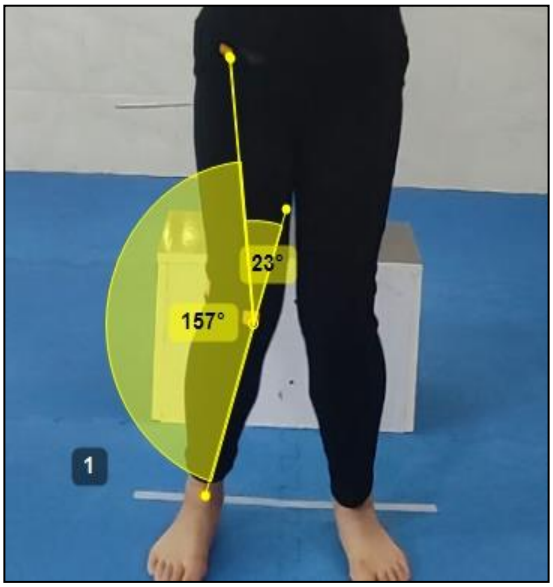
پیامدهای مطالعه

پیامد اولیه

ولگوس زانو

نحوه محاسبه زاویه والگوس بدین صورت بود که با بررسی فریم به فریم تصاویر ویدئویی گرفته‌شده از نمای قدامی (سطح فرونتال) در مهارت پرش-فرود از روی جعبه ۳۰ سانتی‌متری در نرم‌افزار Kinovea نسخه ۹.۰.۵ فریم لحظه فرود مشخص شد؛ یعنی فریمی که در آن فرد در پایین‌ترین ارتفاع (فلکشن زانو) قرار دارد (۲۴، ۲۱). در این فریم، زاویه ولگوس محاسبه شد. این زاویه از تقاطع دو خط ترسیم‌شده بین خار خاصره‌ای قدامی فوقانی به مرکز کشکک و خط ترسیم‌شده از مرکز کشکک به نقطه وسط دو قوزک تعیین شد (۲۵). اگر عدد به‌دست‌آمده کمتر از ۱۸۰ درجه بود، به‌عنوان زاویه ولگوس در نظر گرفته می‌شد. درواقع، این زوایه از تفریق زاویه به‌دست‌آمده از ۱۸۰ درجه به دست آمد (شکل شماره دو). تست پرش-فرود

برای هر آزمودنی سه مرتبه با ۳۰ ثانیه استراحت بین هر فرود ضبط شد و میانگین زوایای سه تست برای تجزیه و تحلیل استفاده شد (اگر زاویه ولگوس پویای زانو بیشتر از ۱۲ درجه بود، فرد با نقص ولگوس در نظر گرفته می‌شد) (۲۵).



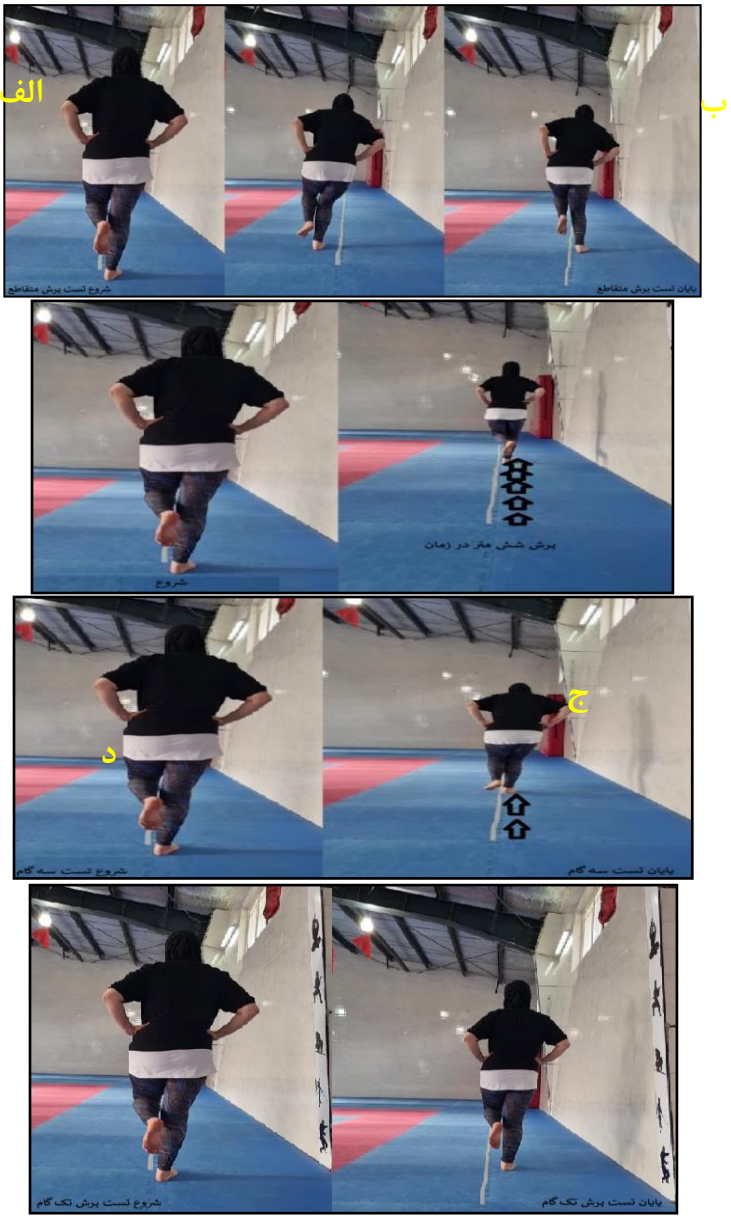
شکل ۲- نحوه محاسبه ولگوس پویای زانو

Figure 2- How to calculate the dynamic valgus of the knee

پیامدهای ثانویه

عملکرد اندام تحتانی

برای بررسی عملکرد اندام تحتانی، از تست‌های پرش لی تک‌پا، پرش لی سه‌تایی، پرش لی متقاطع و پرش لی شش‌متری در زمان استفاده شد. برای این امر، یک نوار باریک مدرج (سانتی‌متر) شش‌متری روی زمین تعبیه شد (۲۶). برای آزمایش‌های تک، سه‌گانه و متقاطع، شرکت‌کننده در وضعیت ایستاده تک‌پا، روی پای برتر تست‌ها را آغاز کرد. در تست پرش تک‌پا، مسافت طی‌شده از خط شروع تا نقطه برخورد پاشنه آزمودنی اندازه‌گیری شد. برای این کار، از نوسان اندام فوقانی و کشش اندام تحتانی برای حرکت به جلو استفاده می‌کرد و تا آنجا که ممکن بود، به جلو پرش می‌کرد تا روی همان اندام فرود آید و بدون از دست دادن تعادل یا تماس پای مقابل تعادل را حفظ می‌کرد. برای آزمون پرش زمان‌دار، هدف پریدن روی تک‌اندام در سریع‌ترین زمان ممکن، در فاصله شش‌متری بود (شکل شماره سه) (۲۷).



شکل ۳- روند انجام تست‌های عملکردی (الف. پرش شش‌متری در زمان، ب. پرش متقاطع، ج. پرش سه گام، د. پرش تک‌پایی) (۲۷)

Figure 3- The process of performance tests (a. six meter jump in time, b. cross jump, c. three step jump, d. single leg jump) (27)

-تست پرش پایی: برای اجرای آزمون پرش تک‌پا، یک نوار باریک شش‌متری روی زمین تعبیه شد. ابتدا آزمودنی روی پای برتر می‌ایستاد؛ به‌طوری‌که انگشت شست پا پشت خط شروع باشد. سپس از او خواسته می‌شد یک بار با حداکثر توان خود به سمت جلو پرش تک‌پایی انجام دهد. سپس محقق فاصله خط شروع تا محل برخورد پاشنه را برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت می‌کرد.

-تست پرش لی سه‌تایی: برای اجرای این آزمون، نوار باریک شش‌متری روی زمین تعبیه شد. آزمودنی روی پای برتر به‌طوری‌که انگشت شست پا پشت خط شروع باشد، می‌ایستاد. سپس از او خواسته می‌شد تا سه بار با حداکثر توان خود به سمت جلو پرش لی را انجام دهد. محقق فاصله این پرش‌ها را از خط شروع تا محل برخورد پاشنه در پرش سوم را برحسب سانتی‌متر اندازهگیری و ثبت می‌کرد.

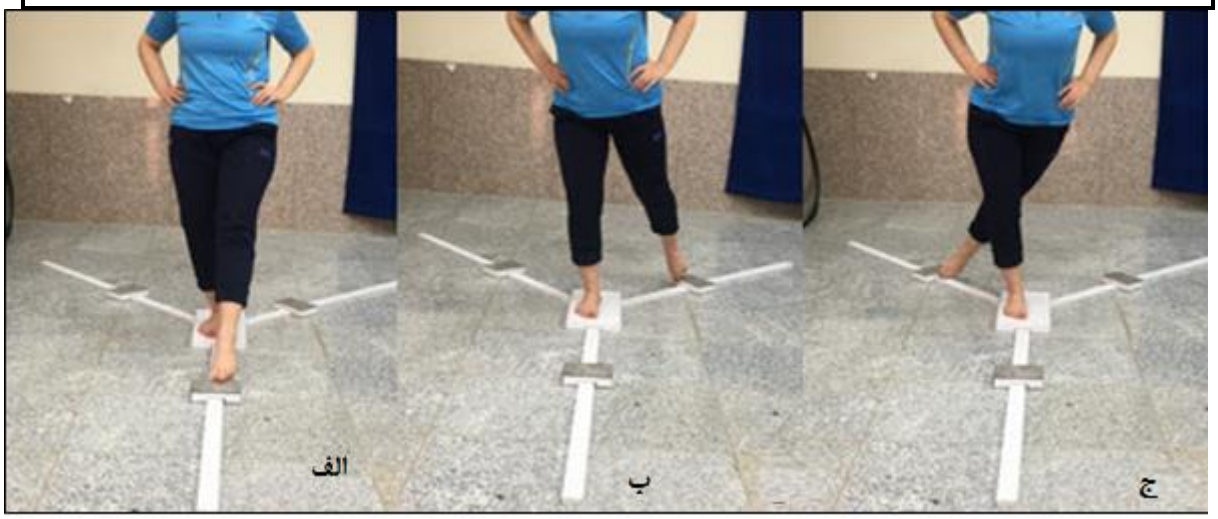
-آزمون پرش لی شش‌متر در زمان: برای اجرای این آزمون، آزمودنی روی پای برتر مسافتی به طول شش متر را با نهایت سرعت به‌صورت لی طی می‌کرد. وقتی پای آزمودنی روی خط پایان می‌رسید، زمان‌سنج متوقف می‌شد و رکود وی با کرنومتری با دقت ۰/۰۱ ثانیه ثبت می‌شد.

-آزمون پرش لی متقاطع: برای اجرای این آزمون، یک نوار باریک شش‌متری روی زمین تعبیه شد. آزمودنی در پشت خط شروع اگر راست‌پا بود، در سمت راست نوار می‌ایستاد و اگر چپ‌پا بود، در سمت چپ نوار می‌ایستاد؛ به‌طوری‌که در هر پرش به سمت دیگر نوار شش‌متری می‌ایستاد. محقق فاصله این پرش‌ها از خط شروع تا محل برخورد پاشنه در پرش سوم را برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت می‌کرد (۲۶).

تعادل پویای Y

دستگاه Y، یک دستگاه تجاری موجود برای اندازه‌گیری تعادل پویا است که از سه جهت (قدامی، خلفی-میانی و خلفی-جانبی) تشکیل شده و به عنوان روشی برای ارزیابی تعادل پویا حمایت شده است. ضریب پایایی این آزمون (۰/۹۱ تا ۰/۹۹) گزارش شده است (۲۸). در این آزمون، فرد با پای برتر وسط Y (زاویه بین دست‌های ۱۳۵، ۱۳۵، ۹۰) می‌ایستد که حرکت در خلاف جهت عقربه‌های ساعت انجام می‌شود. اگر در حین اجرای آزمون، پایی که عمل رسیدن را انجام می‌دهد به زمین برخورد کند یا فرد با دست به زمین بیفتد یا پایی که عمل رساندن را انجام می‌دهد، هنگام لمس متحمل وزن شود، خطا محسوب شده و آزمون دوباره پس از دو دقیقه استراحت تکرار می‌شود (۲۹) (شکل شماره چهار). تمام آزمایش‌ها روی پای برتر انجام شد (۳۰). نمرات براساس طول پا نرمال‌سازی شد. نمره نهایی آزمون از میانگین سه تکرار در هر جهت (۳۱) با استفاده از فرمول زیر به دست آمد (۲۹).

۱۰۰×طول پا/مسافت طی شده در جمع سه جهت (قدامی، خلفی-میانی و خلفی-جانبی) = نمره تست Y



شکل ۴- الف. شاخص قدامی، ب. شاخص خلفی-خارجی و ج. شاخص خلفی-داخلی
Figure 4- a. Anterior index, b. posterior-external index and c. posterior-internal index

مداخلات مطالعه

تمرینات عصبی-عضلانی

در تمرینات عصبی-عضلانی از طیف وسیعی از حالت‌های تمرینی از جمله تمرین مقاومتی، پلایومتریک، ثبات پویا، قدرت مرکزی بدن استفاده شده است (۳۲، ۲۳). آزمودنی‌های هر دو گروه، سه بار در هفته به مدت چهار هفته و هر جلسه به مدت ۶۰ دقیقه تمرین کردند. این برنامه شامل گرم کردن پویای ۱۰ دقیقه‌ای شامل حرکات چندسطحی، هماهنگی، تعادل و دویدن با هدف افزایش دمای بدن بود. پس از گرم کردن پویا، آزمودنی‌ها تمرینات اولیه را با تمرکز بر قدرت عضلانی، قدرت عضلات پایین‌تنه، بالاتنه و ناحیه مرکزی بدن انجام دادند. هدف هر جلسه تمرین، توسعه قابلیت‌های عصبی-عضلانی گروه‌های عضلانی متعدد با استفاده از ترکیبی از تمرینات هماهنگی، پلایومتریک و مقاومتی بود. برای جلوگیری از اصل سازگاری، هر هفته حجم تمرینات به‌تدریج افزایش یافت. برای این منظور، از جرم توده بدن، هالتر، دمبل، نوارهای مقاومتی و صفحات وزن‌دار استفاده شد. آزمودنی‌ها تمرینات را بین سه تا چهار ست ۱۰-۱۵ تایی انجام دادند (۳۲). در جدول شماره یک، ریز تمرینات و در شکل شماره پنج، نمونه‌ای از تمرینات آورده شده است.

جدول ۱- برنامه تمرینات عصبی عضلانی استفاده‌شده در گروه‌های مداخله (۲۳)
Table 1- The program of neuromuscular exercises used in the intervention groups (23)

هفته	جلسه اول				جلسه دوم				جلسه سوم			
	تمرین	ست	تکرار	استراحت (ثانیه)	تمرین	ست	تکرار	استراحت (ثانیه)	تمرین	ست	تکرار	استراحت (ثانیه)
اول	اسکوات پشت	۳	۱۰	۹۰	پرس سینه	۳	۱۰	۹۰	اسکوات پشت	۳	۱۰	۹۰
	قایقی ایستاده باکش	۳	۱۰	۹۰	اسکوات اسپلیت دمبل	۳	هر طرف ۱۰	۹۰	قایقی ایستاده باکش	۳	۱۰	۹۰
	پرش با مانع	۳	۱۰	۹۰	دمبل (اره‌ای)row	۳	هر طرف ۱۰	۹۰	پرس پالوف	۳	هر طرف ۱۵	۹۰
	ضربه‌های شانه‌ای	۳	۱۰	۹۰	پرس پالوف	۳	هر طرف ۱۵	۹۰	پرس سینه	۳	۱۰	۹۰
دوم	اسکوات پشت	۴	۱۰	۹۰	پرس سینه	۴	۱۰	۹۰	پرس سینه	۴	۱۰	۹۰
	کشش بارفیکس	۴	۵ تا ۱۰	۹۰	اسکوات اسپلیت دمبل	۴	هر طرف ۱۰	۹۰	اسکوات پشت	۴	۱۰	۹۰
	پرش با مانع	۴	۱۰	۹۰	دمبل (اره‌ای)row	۴	هر طرف ۱۰	۹۰	پرش با مانع	۴	۱۰	۹۰
	ضربه‌های شانه‌ای	۴	۱۰	۹۰	پرس پالوف	۴	هر طرف ۱۵	۹۰	دمبل (اره‌ای)row	۴	هر طرف ۱۰	۹۰
سوم	اسکوات پشت	۳	۱۵	۹۰	لانج حرکت دمبل	۳	هر طرف ۱۰	۹۰	لانج حرکت دمبل	۳	۱۰	۹۰
	پرس به بالا	۳	۱۰	۹۰	هیپ تراست	۳	۱۰	۹۰	اسکوات پشت	۳	۱۵	۹۰
	لانج پرشی قیچی	۳	هر پا ۱۰	۹۰	TRX پارویی	۳	۱۲	۹۰	هیپ تراست	۳	۱۰	۹۰
	پلانگ از پهلو	۳	هر طرف ۳۰ ثانیه	۹۰	بیرکراو ثابت	۳	۳۰ ثانیه	۹۰	پلانگ از پهلو	۳	هر طرف ۳۰ ثانیه	۹۰
چهارم	اسکوات پشت	۴	۱۲	۹۰	لانج حرکت دمبل	۴	۱۰	۹۰	اسکوات پشت	۴	۱۲	۹۰
	پرس به بالا	۴	۱۰	۹۰	هیپ تراست	۴	۱۰	۹۰	TRXپارویی	۴	۱۲	۹۰
	لانج پرشی قیچی	۴	هر پا۱۰	۹۰	TRX پارویی	۴	۱۲	۹۰	بیرکراو ثابت	۴	۳۰ ثانیه	۹۰
	پهلو پلانگ از	۴	هر طرف ۳۰ ثانیه	۹۰	بیر کراو ثابت	۴	۳۰ ثانیه	۹۰	لانج پرشی قیچی	۴	هر طرف ۱۰	۹۰

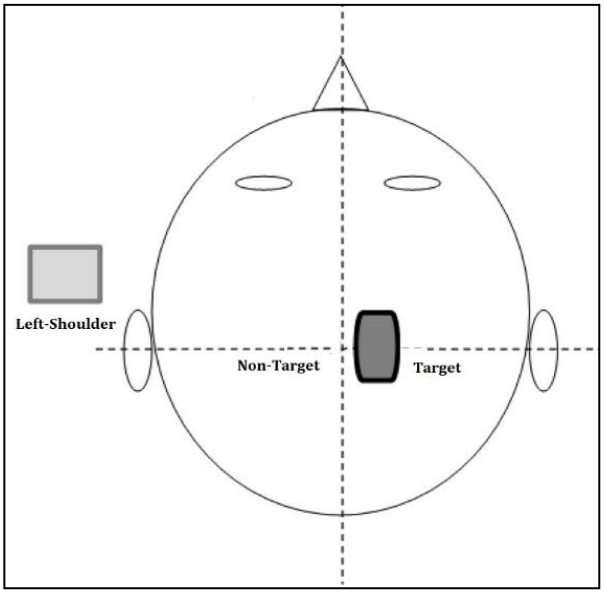
شکل ۵- الف. اسکوات، ب. پرس سینه، ج. هیپ تراست، د. اسکوات اسپلیت دمبل، ر. اره‌ای (دمبل) و ز. پرس به بالا

Figure 5- a. Squat, b. chest press, c. hip thrust, d. dumbbell split squat, r. saw (dumbbell) and g. press up

تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای

به‌منظور تحریک دقیق نواحی هدف در پژوهش حاضر (ناحیهٔ M1) از سیستم نقشه‌برداری مغز بین‌المللی[1] ۱۰-۲۰ و کلاه مخصوص[2] EEG استفاده شد. تصویر سیستم نقشه‌برداری مغز بین‌المللی ۲۰-۱۰ در شکل شماره پنج ارائه شده است. تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای برای تمام آزمودنی‌ها قبل از تمرینات عصبی-عضلانی اجرا شد و بلافاصله پس از دریافت تحریک تمرینات عصبی-عضلانی شروع شد؛ بر این اساس، آزمودنی‌ها در اتاق آرامی که برای این امر در نظر گرفته شده بود، حاضر شدند و به‌مدت ۲۰ دقیقه تحریک tDCS را دریافت کردند. پس از حضور در محل مدنظر از آزمودنی خواسته شد تا روی صندلی راحتی که از قبل در محل مدنظر قرار داده شده بود، بنشینند. سپس برای نصب الکترودها از کلاه مخصوص EEG علامت‌گذاری‌شده استفاده شد و به دنبال آن الکترودها در نواحی علامت‌گذاری‌شده نصب شد. برای تحریک ناحیهٔ M1 راست، الکترود آند در ناحیه FC2 و الکترود کاتد روی شانهٔ سمت چپ قرار داده شد. در حالت تحریک شَم نیز نحوهٔ ثبت الکترودها شبیه به حالت تحریک الکترود آند بود؛ با این تفاوت که از تحریک شم استفاده شد. در این تحریک، جریان الکتریکی به‌مدت ۳۰ ثانیه و به‌منظور ایجاد حالت مشابه با تحریک آند به شکل تدریجی افزایش یافت و سپس به حالت اولیه بازگشت و درعمل تحریکی در نواحی هدف دریافت نشد. پس از نصب الکترودها، آزمودنی‌ها در شرایط نشسته و بدون هیچ‌گونه ارتباط کلامی به‌مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی آنودال را با شدت دو میلی‌آمپر دریافت کردند (شکل شماره شش) (۳۳).

1. International 10-20 system
2. EEG Cap



شکل ۶-محل اتصال الکترودهای آنود و کاتد برای تحریک نقطه M1

Figure 6 - Connection point of anode and cathode electrodes to stimulate point M1

برای تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس[1] نسخه ۲۵ استفاده شد. سطح معناداری و اطمینان برای تجزیه‌وتحلیل همه داده‌ها، به‌ترتیب ۰/۰۵ و فاصله اطمینان ۹۵ درصد در نظر گرفته شد. ابتدا برای اطمینان از نرمال‌بودن توزیع داده‌های مربوط به متغیرها و ویژگی‌های دموگرافیک از آزمون شاپیرو-ویلک و به‌منظور بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. برای مقایسه بین دو گروه از نظر همگن بودن خصوصیات دموگرافیک و متغیرهای مطالعه از آزمون tمستقل استفاده شد. برای مقایسه درون‌گروهی از آزمون t وابسته و به‌منظور بررسی مقایسه‌های بین گروهی از آزمون آماری t مستقل استفاده شد. در مواردی که پیش‌آزمون تفاوت معناداری داشت، آزمون آنالیز کُواریانس برای مقایسه بین‌گروهی به کار رفت.

در مطالعه حاضر، حداقل تفاوت بالینی مهم و حداقل تجزیه‌وتحلیل تغییر قابل‌تشخیص براساس سطح اطمینان ۹۵ درصد و حداقل تفاوت مهم بالینی (MCID[2]) با استفاده از رویکرد مبتنی بر توزیع و شاخص تغییر قابل‌اعتماد (RCI[3]) ارزیابی شد؛ درحالی‌که حداقل تغییر قابل‌تشخیص (MDC[4]) با استفاده از خطای استاندارد اندازه‌گیری ارزیابی شد. روش محاسبه خطای اندازه‌گیری (SEM[5]) و معادلات به‌صورت زیر است:

$SEM = SDpre \sqrt{1-rtest}$

$MDC\%95 = 1.96 \times \sqrt{2}\ SEM$

$MCIDRCI = 1.96 \times SDpre \{\sqrt{(1-r_{test})}\}$

1. SPSS
2. Minimal Clinically Important Difference
3. Reliable Change Index
4. Minimal Detectable Change
5. Standard Error Measurement

نتایج

در این کارآزمایی بالینی، ۴۷ رزمی‌کار نخبه مطالعه شدند که ۳۴ نفر دارای معیارهای ورود به مطالعه بودند و به‌طور تصادفی به دو گروه ۱۷ نفره تجربی و کنترل تخصیص یافتند. تعداد ۱۳ نفر به دلیل نداشتن معیارهای ورود به مطالعه (۱۰ نفر) و مشکلات فردی (۳ نفر) از مطالعه خارج شدند. در فرایند انجام مداخلات و در پس‌آزمون‌ها هیچ ریزش نمونه یا خروج از تحقیق مشاهده نشد.

ابتدا برای بررسی نرمال‌بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک و به‌منظور بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که هر دو پیش‌فرض برقرار بود و داده‌ها توزیع نرمال داشتند و واریانس‌ها همگن بودند (P<۰/۰۵)؛ بنابراین برای بررسی تفاوت‌های درون‌گروهی و بین‌گروهی از آمارهای پارامتری استفاده شد. ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی-های دو گروه مطالعه‌شده با استفاده از آزمون t مستقل بررسی شد و تفاوت معناداری بین گروه‌ها مشاهده نشد (جدول شماره دو).

جدول ۲- ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌های مطالعه (n=۳۴)

Table 2- Demographic characteristics of the study subjects (n=34)

متغیر		سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (متر)	BMI (kg/m^2)	تعداد ساعات ورزش در هفته (ساعت)
میانگین± انحراف استاندارد	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۲۱/۵۲ ± ۵/۷۸	۶۰/۱۲ ± ۸/۸۹	۱/۶۴ ± ۰/۰۵	۲۲/۲۳ ± ۲/۶۵	۵/۳۰ ± ۰/۸۶
	تحریکشم + تمرین (n=۱۷)	۲۲ ± ۴/۸۸	۵۸/۱۷ ± ۹/۵۸	۱/۶۲ ± ۰/۰۵	۲۲/۱۲ ± ۳/۶۲	۵/۴۰ ± ۰/۸۳
P-value		۰/۷۹	۰/۵۴	۰/۳۱	۰/۹۲	۰/۷۳

برای بررسی اثرگذاری مداخلات مطالعه بر فاکتورهای ولگوس زانو، عملکرد و تعادل ورزشکاران در طول چهار هفته، از مقایسه‌های درون‌گروهی با استفاده از آزمون آماری paired sample t-test یا t وابسته استفاده شد که یافته‌ها در جدول شماره سه آمده است.

جدول ۳- مقایسه درون‌گروهی میانگین‌ها در فاکتورهای تعادل و عملکرد اندام تحتانی دو گروه تجربی و کنترل مطالعه

Table 3- Intragroup comparison of averages in balance and lower limb function factors in the two experimental and control groups

متغیر	گروه	پیش‌آزمون میانگین ± انحراف استاندارد	پس‌آزمون میانگین ± انحراف استاندارد	فاصله اطمینان ٪۹۵	P-value
آزمون تعادل پویا (سانتی‌متر)	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۲۰۷/۵۰ ± ۲۷/۶۷	۲۱۸/۵۰ ± ۲۹/۳۱	-۴/۱۳ و -۱۷/۸۸	۰/۰۰۴**
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۲۳۰/۲۴ ± ۲۷/۱۱	۲۳۹/۴۸ ± ۲۳/۵۹	-۲/۶۲ و -۱۵/۸۵	۰/۰۰۹**
جهت قدامی	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۶۰/۱۷ ± ۶/۰۰	۶۱/۷۶ ± ۶/۵۴	۰/۳۶ و -۳/۵۳	۰/۱۰
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۶۲/۲۹ ± ۸/۲۸	۶۳/۳۵ ± ۷/۵۰	۰/۳۹ و -۴/۷۲	۰/۰۶۷
جهت خلفی-خارجی	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۵۹/۵۸ ± ۸/۷۶	۶۳/۰۵ ± ۸/۶۵	-۰/۱۷ و -۶/۷۶	۰/۰۴*
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۶۶/۷۰ ± ۱۱/۹۴	۶۹/۹۴ ± ۱۰/۸۹	-۲/۵۹ و -۰/۵۹	۰/۰۲۰*
جهت خلفی-داخلی	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۵۶/۸۸ ± ۱۰/۷۱	۶۱/۱۷ ± ۱۰/۷۴	-۱/۴۵ و -۷/۱۳	۰/۰۰۵**
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۶۴/۰۰ ± ۸/۸۳	۶۵/۴۷ ± ۱۰/۱۱	-۱/۳۳ و ۰/۸۷	۰/۲۰
پرش تک پا (سانتی‌متر)	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۱۰۳/۲۳ ± ۲۱/۴۵	۱۰۸/۵۲ ± ۱۵/۶۹	۱/۶۵ و-۱۲/ ۲۴	۰/۱۲
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۱۰۸/۱۱ ± ۱۸/۷۳	۱۰۷/۴۷ ± ۲۱/۶۵	۷/۱۱ و -۵/۸۷	۰/۸۳
پرش لی سه‌تایی (سانتی‌متر)	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۳۰۷/۷۳ ± ۶۴/۹۰	۳۱۸/۳۵ ± ۶۷/۳۹	۳/۷۳ و -۲۶/۰۸	۰/۱۳
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۳۳۴/۲۳ ± ۶۰/۹۷	۳۳۴/۰۰ ± ۵۷/۶۰	۱۱/۱۶ و -۱۰/۶۹	۰/۹۶
پرش لی متقاطع (سانتی‌متر)	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۲۵۸/۷۰ ± ۵۴/۹۹	۲۷۴/۶۴ ± ۶۲/۶۳	۸/۹۸ و -۴/۸۶	۰/۱۹
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۲۵۴/۶۴ ± ۳۸/۰۰	۲۷۰/۴۷ ± ۴۴/۳۰	۰/۲۰ و -۳۱/۸۵	۰/۰۵۳
لی شش متر در زمان (ثانیه)	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۳/۴۸ ± ۰/۵۹	۲/۹۴ ± ۰/۵۶	۰/۷۲ و ۰/۳	۰/۰۰۰۱**
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۳/۳۲ ± ۰/۵۷	۳/۰۵ ± ۰/۶۰	۰/۴۷ و ۰/۰۷	۰/۰۱۱*
ولگوس زانو	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۱۵/۰۵ ± ۱/۸۱	۱۱ ± ۲/۸۹	۵/۱۷ و ۲/۹۴	۰/۰۰۰۱**
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۱۵/۸۲ ± ۲/۹۸	۱۲/۷۰ ± ۳/۲۹	۴/۲۰ و ۲/۰۲	۰/۰۰۰۱**

** معناداری در سطح ۰/۰۵، * معناداری در سطح ۰/۰۱

یافته‌های آزمون t وابسته برای مقایسه تغییرات درون‌گروهی میانگین‌ها نشان داد که گروه تحریک فراجمجمه‌ای در ترکیب با تمرین در فاکتورهای پرش لی شش‌متری در زمان (P=۰/۰۰۰۱ و$t_{۱۶}$=۶/۰۱)، تست تعادل پویای Y (P=۰/۰۰۴ و $t_{۱۶}$=-۳/۳۹)، جهت خلفی-خارجی (P=۰/۰۴ و $t_{۱۶}$=-۲/۲۳) و خلفی-داخلی (P=۰/۰۰۵ و $t_{۱۶}$=-۳/۲۰) در مقایسه با قبل از مداخله توانست تغییرات معناداری را ایجاد کند. فاکتورهای دیگر تست عملکردی همچون پرش تک‌پا، پرش سه گام و پرش متقاطع، با وجود تغییرات چشمگیر از نظر آماری معنادار نبود (P>۰/۰۵) (جدول شماره سه).

به‌علاوه، یافته‌های آزمون t وابسته برای مقایسه تغییرات درون‌گروهی میانگین‌ها نشان داد که گروه تحریک شَم در ترکیب با تمرین در تست‌های پرش لی شش متر در زمان (P=۰/۰۰۰۱ و $t_{۱۶}$=۶/۰۱) تعادل پویای Y (P=۰/۰۰۴ و $t_{۱۶}$=-۳/۳۹) و جهت خلفی-خارجی (P=۰/۰۲۰ و$t_{۱۶}$=-۲/۵۹) در مقایسه با قبل از مداخله توانست تغییرات معناداری را ایجاد کند، اما فاکتورهای دیگر تست‌های عملکرد همچون پرش تک‌پا، پرش سه گام و پرش متقاطع از نظر آماری معنادار نبود (P>۰/۰۵) (جدول شماره سه).

جدول ۴- مقایسه بین‌گروهی متغیرهای ولگوس زانو، تعادل و عملکرد بین گروه‌های مطالعه

Table 4- Intergroup comparison of knee valgus, balance and performance variables between study groups

متغیر	گروه	پس‌آزمون میانگین ± انحراف استاندارد	فاصله اطمینان ۹۵٪	P-value
پرش تک‌پا (سانتی‌متر)	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۱۰۸/۵۲ ± ۱۵/۶۹	۱۴/۲۷ و ۱۲/۱۵-	۰/۸۷
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۱۰۷/۴۷ ± ۲۱/۶۵		
پرش لی سه‌تایی (سانتی‌متر)	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۳۱۸/۳۵ ± ۶۷/۳۹	۲۸/۱۵ و ۵۹/۴۴-	۰/۴۷
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۳۳۴ ± ۵۷/۶۰		
پرش لی متقاطع (سانتی‌متر)	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۲۷۴/۶۴ ± ۶۲/۶۳	۴۲/۰۸ و ۳۳/۷۲-	۰/۸۲
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۲۷۰/۴۷ ± ۴۴/۳۰		
لی شش متر در زمان (ثانیه)	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۲/۹۵ ± ۰/۵۶	۰/۳۰ و ۰/۵۰-	۰/۶۱
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۳/۰۵ ± ۰/۶۰		
ولگوس زانو	تحریک فراجمجمه + تمرین (n=۱۷)	۱۱ ± ۲/۸۹	۰/۴۶ و ۳/۸۷-	۰/۶۱
	تحریک شَم + تمرین (n=۱۷)	۱۲/۷۰ ± ۳/۲۹		

** معناداری در سطح ۰/۰۵، * معناداری در سطح ۰/۰۱

در این مطالعه، آن دسته از فاکتورهایی که مقایسه میانگین آن‌ها در پیش آزمون تفاوت معناداری نداشت، میانگین پس‌آزمون آن‌ها توسط آزمون t مستقل مقایسه شد. یافته‌ها نشان داد که دو گروه تمرین و تحریک فراجمجمه‌ای در مقایسه با گروه

تمرین و تحریک شم، در هیچ‌کدام از فاکتورهای عملکرد و ولگوس زانو تفاوت معناداری نداشتند (P>۰/۰۵) و تنها در فاکتور تعادل در شاخص خلفی-خارجی تفاوت معناداری داشتند (P=۰/۰۰۴ و$t_{۱۶}$=-۳/۳۹) (جدول شماره چهار).

ازآنجاکه نمرات تعادل کل و شاخص خلفی-داخلی تعادل در پیش‌آزمون بین گروه‌ها تفاوت معناداری داشت، از آزمون آنالیز کُواریانس با درج پیش‌آزمون به‌عنوان متغیر مداخله‌گر، برای مقایسه بین‌گروهی استفاده شد. بعد از تعدیل اثر متغیر پیش-آزمون، بین گروه‌ها از نظر نمرات تعادل کل، تفاوت معناداری مشاهده نشد (P=۰/۸۵ و $F_{۲و۳۱}$=۰/۰۹۷). همچنین بین دو گروه پس از تعدیل نمره تعادل خلفی-داخلی، تفاوت معناداری دیده نشد (P=۰/۲۲ و $F_{۲و۳۱}$=۱/۵۶).

یافته‌های کلینیکی در مواردی که گروه‌های تجربی و مداخله اثرگذاری یکسانی بر پیامدهای مطالعه دارند، بسیار اهمیت دارد؛ بنابراین برای بررسی مقایسه اثربخشی کلینیکال مداخلات مطالعه، نتایج حداقل تفاوت‌های کلینیکی حائز اهمیت (MCID) و حداقل تغییرات قابل‌تشخیص (MDC) محاسبه شد (جدول شماره پنج).

جدول ۵- نتایج مقادیر MCID و MDC برای متغیرهای مطالعه‌شده (n=۳۴)

Table 5- MCID and MDC values of study variables (n=34)

متغیرها	SD pretest (Intervention groups)	Δ Score (tDCS)	Δ Score (Sham)	SEM	MDC%95	MCID (RCI)
ولکوس زانو (درجه)	۲/۴۶	۱/۸۱	۰/۳۱	۰/۱۷	۰/۴۶	۰/۳۳
پرش تک‌پا (سانتی‌متر)	۱۹/۹۸	-۵/۷۶	۲/۹۲	۱/۳۹	۳/۸۱	۲/۷۴
پرش سه گام (سانتی‌متر)	۶۳/۵۱	۲/۴۹	-۳/۳۷	۴/۴۴	۱۲/۱۸	۸/۷۱
پرش متقاطع (سانتی‌متر)	۴۶/۵۹	۷/۶۴	۶/۳	۳/۲۶	۰/۰۱۹	۶/۳۹
پرش شش متر (ثانیه)	۰/۵۸	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱۹	۰
تعادل (سانتی‌متر)	۲۹/۳۴	۱/۶۴	-۳/۵۲	۰/۷۳	۲/۰۲	۱۷/۲۵

Δ score, (mean $_{pretest}$ – mean $_{posttest}$); SEM, standard error of measurement; $MDC_{\%95}$, minimal detectable change; MCID, minimal clinically important difference.

نشان دهنده اثربخشی کلینیکال مداخلات مطالعه است و همان‌طورکه مشاهده می‌شود، گروه tDCS در مقایسه با گروه Sham اثربخشی کلینیکالی بهتری در فاکتورهای عملکردی داشت. درواقع، هرچه دلتای نمرات پیش‌آزمون هر گروه از مقدار MCID بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده اثر کلینیکالی بیشتر است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به شیوع زیاد آسیب‌های اندام تحتانی به‌خصوص مفصل زانو در میان ورزشکاران رزمی‌کار، به‌کارگیری استراتژی‌های هدفمند و کاربردی می‌تواند بر پیشگیری از وقوع آسیب‌های زانو اثرگذار باشد؛ بنابراین هدف این پژوهش، بررسی اثر یک دوره تحریک فراجمجمه‌ای در ترکیب با تمرینات عصبی-عضلانی بر زاویه ولگوس زانو، عملکرد و تعادل پویای رزمی‌کاران نخبه بود.

یافته‌های این مطالعه نشان داد که هر دو گروه تمرینات عصبی-عضلانی در ترکیب با تحریک فراجمجمه‌ای و تمرینات عصبی-عضلانی در ترکیب با تحریک شَم، پس از یک دوره چهارهفته‌ای توانست بر بهبود درجه ولگوس پویای زانو در لحظه فرود،

عملکرد ورزشکاران و تعادل پویا اثر مثبت و معناداری بر جای بگذارد. این یافته را می‌توان به اثرگذاری تمرینات عصبی-عضلانی نسبت داد که به‌طور مشترک در بین هر دو گروه تجربی و کنترل اعمال شده بود. تمریناتی که در این مطالعه به‌عنوان تمرین عصبی-عضلانی استفاده شد، بر اصلاح ایمبالانس‌های عضلانی و تمرینات مقاومتی و پلایومتریک تمرکز داشت. در تحقیقات پیشین فرض این بود که تمرینات عصبی-عضلانی با بهبود مهارت‌های حرکتی ورزشکاران می‌تواند خطر آسیب‌ها را کاهش دهد (۳۵، ۳۴). این احتمال وجود دارد که استفاده از تمرینات پلایومتریکی که در این مطالعه به کار گرفته شده بود، توانسته باشد با اعمال فشارهای انفجاری، بیومکانیک اندام تحتانی را بهبود بخشیده باشد. همچنین تمریناتی که در این مطالعه استفاده شد (اسکوات، اسکوات اسپلیت[1]، لانچ، هیپ‌تراست[2]، بیر کراو ثابت[3]، لانژ پرشی قیچی و...) بر بهبود تقویت عضلات مفصل ران، کنترل لگن و حرکات زانو در صفحه فرونتال و ولگوس زانو که با آسیب‌های زانو در ارتباط‌اند، تمرکز داشت. این نتایج یافته‌های پژوهش میِر[4] و همکاران را تأیید می‌کند؛ به‌طوری‌که آن‌ها از پروتکل تمرین عصبی-عضلانی متشکل از تمرینات مقاومتی، پلایومتریک و تعادلی برای بهبود ثبات داینامیک زانو استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که تمرینات عصبی-عضلانی توانسته است زنان ۱۴ تا ۱۶ سال را قادر سازد تا به‌طور معناداری زاویه فلکشن زانو در حین فرود از روی یک جعبه ۳۰ سانتی‌متری را بهبود بخشند (۳۵). یافته‌های این مطالعه، نتایج پژوهش هیوت[5] و همکاران را نیز تأیید کرد. آن‌ها نشان دادند، زنان ورزشکاری که تمرینات عصبی-عضلانی دریافت کردند، در مقایسه با زنانی که تمرین نداشتند، ثبات پویای زانوی بیشتری داشتند (۳۶). آن‌ها در مطالعه اپیدمیولوژیک دیگری، اثر تمرینات عصبی-عضلانی بر میزان آسیب‌دیدگی زانوی زنان ورزشکار را بررسی و گزارش کردند که تمرینات پلایومتریک همراه با تمرینات مقاومتی مکمل، به‌طور چشمگیری آسیب‌های جدی زانو ازجمله آسیب‌های ACL را در بازیکنان والیبال، فوتبال و بسکتبال نوجوانان کاهش می‌دهد (۳۷). یافته‌های تحقیقات بناتو[6] و همکاران (۲۰۱۸)، هاپر[7] و همکاران (۲۰۱۷)، یاماموتو[8] و همکاران (۲۰۱۵)، مایر و همکاران (۲۰۰۴) و مایر و همکاران (۲۰۱۳)، همگی در راستای یافته‌های مطالعه حاضر، مبنی‌بر اثرگذاری تمرینات عصبی-عضلانی بر بهبود عملکرد اندام تحتانی و پیشگیری از وقوع آسیب است. یافته‌های مطالعه حاضر مبنی‌بر اثرگذاری تمرینات عصبی-عضلانی بر تعادل پویای در گروه تجربی و کنترل، می‌تواند دلیلی بر اثرگذاری تمرینات ذکرشده در هر دو گروه باشد. تعادل پویا در این مطالعه به‌وسیله تست تعدیل‌شده Y بررسی شد که آزمون ثبات عملکردی است و الگوهای حرکتی استفاده‌شده در این آزمون در زنجیره حرکتی بسته روی می‌دهد. اجرای موفق این آزمون نیازمند کنترل عصبی-عضلانی اندام تحتانی است تا بدن بتواند ثبات دینامیکی را در زنجیره حرکتی به وجود آورد (۳۸، ۲۶). علاوه بر آن، تمرینات عصبی-عضلانی متمرکز بر تقویت سیستم عضلانی لگن و زانو در این مطالعه (اسکوات، اسکوات اسپلیت، لانژ، هیپ تراست، بیر کراو ثابت، لانژ پرشی قیچی و...) احتمالاً توانسته است با کنترل لگن هنگام عمل رسیدن آزمودنی‌ها در تست Y، عملکرد تعادلی آزمودنی‌ها را بهبود بخشیده باشد. این احتمال با اشاره به این است که اکثر محققان بر تمرینات عصبی-عضلانی همانند تمرینات ثبات

1. Split Squats
2. Hip Thrusts
3. Weighted Bear Crawl Hold
4. Myer
5. Hewett
6. Bonito
7. Hopper
8. Yamato

ناحیه مرکزی بدن و تمرینات قدرتی پیچیده‌ای چون اسکوات تمرکز کردند (۳۹). همچنین در این مطالعه مشخص شد که هر دو گروه تجربی و کنترل، ورزشکاران در برخی تست‌های عملکردی بهبود معناداری داشتند. این یافته را می‌توان به ماهیت برخی تمرینات به‌کارگرفته در پروتکل تمرینات عصبی-عضلانی نسبت دارد که حاوی تمرینات مقاومتی بود. علاوه بر آن، به‌کارگیری تمریناتی چون پلایومتریک در پروتکل استفاده‌شده احتمالاً توانسته است توان انفجاری عضلات اندام تحتانی را بهبود دهد و درنهایت به بهبود عملکرد اندام تحتانی آزمودنی‌ها منجر شده باشد؛ به‌طوری‌که برخی تحقیقات نشان داده‌اند که تمرینات پلایومتریک یا تمرینات مقاومتی می‌توانند سرعت را بهبود بخشند (۳۵). در مطالعه حاضر نیز تنها تستی که بهبودی معناداری را نشان داد، پرش لی در زمان بود که در آن سرعت نیز اهمیت دارد.

یافته‌های آماری این مطالعه تفاوت معناداری را بین دو گروه تحقیق از نظر فاکتورهای بررسی‌شده نشان نداد؛ بااین‌حال حداقل تفاوت‌های کلینیکی (MCID) حاکی از اثربخشی بیشتر گروه تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای در مقایسه با گروه Sham در فاکتورهای ولگوس پویای زانو، پرش متقاطع و پرش تک‌پا بود. در پژوهش حاضر، نقطه M1 آزمودنی‌ها تحریک شد. به‌طورکلی، نقش ناحیه M1 توسعه برنامه حرکتی و فعال‌سازی نورون‌های حرکتی نخاعی است. به دلیل نقش مهم آن، که دادن فرمان عصبی به عضلات در حین ورزش است، بیشترین ارتباط را با عملکرد ورزشی دارد (۱۹، ۱۸). مطالعات قبلی نشان دادند که افزایش تحریک‌پذیری قشر M1 ناشی از tDCS می‌تواند فرکانس شلیک نورون‌ها را تغییر داده، تکانه‌های عصبی به عضلات را افزایش دهد و فراخوانی واحدهای حرکتی را تقویت کند (۴۰). این امر می‌تواند نشان دهد که احتمالاً تقویت فراخوانی نورون‌های حرکتی توانسته است کنترل عصبی-عضلانی برای ثبات‌بخشی زانو در لحظه فرود را بهبود دهد؛ بنابراین ولگوس داینامیک زانو در گروه تجربی که تحریک فراجمجمه‌ای داشت، بهبودی بیشتری داشته است. اخیراً مشخص شده است که این مداخله در هدف قرار دادن نواحی عمقی‌تر قشر حرکتی که اندام تحتانی را کنترل می‌کند، مؤثر است (۲۰)؛ به‌طوری‌که کمالی و همکاران در مطالعه‌ای اثر تحریک M1 بر عملکرد ورزشکاران بدن‌ساز را بررسی و گزارش کردند که تحریک فراجمجمه‌ای نقطه M1 می‌تواند عملکرد کلی ورزشکاران بدن‌ساز را بهبود بخشد (۴۱). در این راستا، گرند پیرن وای[1] و همکاران نیز نشان دادند که تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای بر عملکرد ورزشکاران اثرگذار است و می‌تواند عملکرد آن‌ها را بهبود بخشد (۴۲). در حوزه اثر مطالعات tDCS بر پیشگیری از آسیب‌های ورزشی، تنها مطالعه بروس و همکاران یافت شد که نشان دادند تحریک جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر بی‌ثباتی مزمن مچ پا اثرگذار است (۱۷)؛ با وجود این، در دامنه مطالعات محققان در حوزه پیشگیری از آسیب‌های زانو، تحقیقی پیدا نشد.

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر یک دوره تحریک مستقیم فراجمجمه‌ای در ترکیب با تمرینات عصبی-عضلانی بر زاویه ولگوس پویای زانو، عملکرد و تعادل رزمی‌کاران نخبه انجام شد که می‌تواند دریچه جدیدی در مطالعات بین‌رشته‌ای باشد؛ بنابراین نتایج این مطالعه و مطالعات مشابه می‌تواند پایه‌ای باشد که براساس آن آزمایش‌های بالینی بیشتری با هدف اصلاح نمونه‌های توان‌بخشی انجام شود. هر مطالعه‌ای بی‌نقص نیست و با محدودیت‌هایی همراه است. محدودیت‌هایی که محققان در این مطالعه با آن‌ها روبه‌رو بودند شامل محدودشدن جنسیت آزمودنی‌ها به خانم‌ها بود که به دلایل محدودیت‌های شرعی، دانشجوی زن قادر به جمع‌آوری داده‌ها از نمونه‌های مرد نبود. حذف این محدودیت یا انجام آن در نمونه‌های آقا می‌تواند

1. Grandparent

نتایج متفاوتی را نشان دهد. همچنین کنترل‌نشدن وضعیت خواب آزمودنی‌ها در شب قبل از تست‌ها، کم‌خوابی یا بدخوابی آزمودنی‌ها می‌تواند بر عملکرد تست‌ها که در روز آزمون در صبح‌ها اجرا می‌شد، اثرگذار باشد.

پیام مقاله

پژوهش حاضر یکی از نخستین پژوهش‌هایی است که مداخله tDCS را به حوزه علوم ورزشی به‌ویژه آسیب‌شناسی ورزشی وارد کرده است. یافته‌های این مقاله می‌تواند دریچه‌ای بین‌رشته‌ای و نوآورانه را در علم آسیب‌شناسی ورزشی برای محققان، درمانگران ورزشی و ورزشکاران بگشاید.

تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشجو است. نویسندگان از تمام ورزشکاران شرکت‌کننده در مطالعه و مربیان و مسئولان آزمایشگاه توان‌بخشی دانشگاه و همچنین کمیته اخلاق در پژوهش زیستی دانشگاه رازی که برای انجام مطالعه محققان را همراهی کردند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

1. Bulat M, Can NK, Arslan YZ, Herzog W. Musculoskeletal simulation tools for understanding mechanisms of lower-limb sports injuries. Curr Sports Med Rep. 2019;18(6):210-6.
2. Padua DA, DiStefano LJ, Hewett TE, Garrett WE, Marshall SW, Golden GM, Shultz SJ, Sigward SM. National Athletic Trainers' Association position statement: prevention of anterior cruciate ligament injury. J Athl Train. 2018;53(1):5-19.
3. Hatamzadeh M, Hassannejad R, Sharifnezhad AJB, Engineering B. A new method of diagnosing athlete's anterior cruciate ligament health status using surface electromyography and deep convolutional neural network. Biocybern Biomed Eng. 2020;40(1):65-76.
4. Suzuki M, Ishida T, Samukawa M, Matsumoto H, Ito Y, Aoki Y, et al. Knee extensor rate of torque development after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autografts in young female athletes. 2021. 10.21203/rs.3.rs-617559/v1
5. Price MJ, Tuca M, Cordasco FA, Green DWJCoip. Nonmodifiable risk factors for anterior cruciate ligament injury. Curr Opin Pediatr. 2017;29(1):55-64.
6. Ryu S, Lee T-kJM. Biomechanical parameters that may influence lower limb injury during landing in taekwondo. Medicina. 2021;57(4):373.
7. Llurda-Almuzara L, Perez-Bellmunt A, Labata-Lezaun N, López-de-Celis C, Canet-Vintró M, Cadellans-Arroniz A, et al. Relationship between lower limb EMG activity and knee frontal plane projection angle during a single-legged drop jump. Phys Ther Sport**.** 2021;52:13-20.
8. Wilczyński B, Zorena K, Ślęzak DJIJoER, Health P. Dynamic knee valgus in single-leg movement tasks. Potentially modifiable factors and exercise training options: a literature review. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(21):8208.
9. Wilczyński B, Wąż P, Zorena K, editors. Impact of three strengthening exercises on dynamic knee valgus and balance with poor knee control among young football players: a randomized controlled trial. Healthc. 2021:558.
10. Dadfar M, Soltani M, Novinzad MB, Raahemifar KJSR. Lower extremity energy absorption strategies at different phases during single and double-leg landings with knee valgus in pubertal female athletes. Sci Rep. 2021;11(1):1-10.
11. Neamatallah Z, Herrington L, Jones RJPTiS. An investigation into the role of gluteal muscle strength and EMG activity in controlling HIP and knee motion during landing tasks. Phys Ther Sport. 2020;43:230-5.

12. Dargo L, Robinson KJ, Games KE. Prevention of knee and anterior cruciate ligament injuries through the use of neuromuscular and proprioceptive training: an evidence-based review. Journal of Athletic Training. 2017;52(12):1171-2.
13. Hadzovic M, Ilic P, Lilic A, Stankovic M. The effects of a knee joint injury prevention program on young female basketball players: a systematic review. Journal of Anthropology of Sport and Physical Education. 2020;4(1):51-6.
14. Pérez-Gómez J, Adsuar JC, Alcaraz PE, Carlos-Vivas J. Physical exercises for preventing injuries among adult male football players: a systematic review. Journal of Sport and Health Science. 2022;11(1):115-22.
15. Hopper AJ, Haff EE, Joyce C, Lloyd RS, Haff GGJFip. Neuromuscular training improves lower extremity biomechanics associated with knee injury during landing in 11–13 year old female netball athletes: A randomized control study. Front Physiol. 2017;8:883
16. Okano AH, Fontes EB, Montenegro RA, Farinatti PdTV, Cyrino ES, Li LM, et al. Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. J Sports Med. 2015;49(18):1213-8.
17. Bruce AS, Howard JS, Van Werkhoven H, McBride JM, Needle ARJMSSE. The effects of transcranial direct current stimulation on chronic ankle instability. Med Sci Sports Exerc. 2020;52(2):335-44.
18. Lattari E, Campos C, Lamego MK, Legey S, Neto GM, Rocha NB, et al. Can transcranial direct current stimulation improve muscle power in individuals with advanced weight-training experience? J Strength Cond Res. 2020;34(1):97-103.
19. Angius L, Hopker JG ,Marcora SM, Mauger ARJEjoap. The effect of transcranial direct current stimulation of the motor cortex on exercise-induced pain. Eur J Appl Physiol. 2015;115(11):2311-9.
20. Sivaramakrishnan A, Tahara-Eckl L, Madhavan SJNl. Spatial localization and distribution of the TMS-related 'hotspot'of the tibialis anterior muscle representation in the healthy and post-stroke motor cortex. Neurosci Lett. 2016;627:30-5.
21. Herrington L, Munro AJPTiS. Drop jump landing knee valgus angle; normative data in a physically active population. Phys Ther Sport. 2010;11(2):56-59.
22. Herrington LJTJoS, Research C. Knee valgus angle during landing tasks in female volleyball and basketball players. J Strength Cond Res. 2011;25(1):262-6.
23. Dobbs IJ, Oliver JL, Wong MA, Moore IS, Myer GD, Lloyd RSJJoS, et al. Effects of a 4-week neuromuscular training program on movement competency during the back-squat assessment in pre–and post–peak height velocity male athletes. J Strength Cond Res. 2021;35(10):2698-705
24. Koorosh-fard N, Rajabi R, Shirzad EJAoR. Effect of feedback corrective exercise on knee valgus and electromyographic activity of lower limb muscles in single leg squat. Arch Rehabil . 2015;16(2):138-47 [In Persian]
25. 25 Munro A, Herrington L, Carolan MJJosr. Reliability of 2-dimensional video assessment of frontal-plane dynamic knee valgus during common athletic screening tasks. J Sport Rehabil. 2012;21(1):7-11.
26. Fadaei Dehcheshmeh P, Gandomi FJSMJ. The effect of lumbopelvic control disorders on balance and lower extremity function in professional athletes with frequent landings: a single-blind cross-sectional study. Sadra Medical Journal. 2021;9(2):145-60.
27. Schmitt LC, Paterno MV, Hewett TEJjoo, therapy sp. The impact of quadriceps femoris strength asymmetry on functional performance at return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. J Orthop Sports Phys Ther. 2012;42(9):750-9.
28. Coughlan GF, Fullam K, Delahunt E, Gissane C, Caulfield BMJJoat. A comparison between performance on selected directions of the star excursion balance test and the Y balance test. J Athl Train. 2012;47(4):366-371.
29. Gribble PA, Tucker WS, White PAJJoat. Time-of-day influences on static and dynamic postural control. J Athl Train. 2007;42(1):35.
30. Robinson RH, Gribble PAJAopm, rehabilitation. Support for a reduction in the number of trials needed for the star excursion balance test. Arch Phys Med Rehabil. 2008;89(2):364-70.

31. Fitzgerald D, Trakarnratanakul N, Smyth B, Caulfield BJjoo, therapy sp. Effects of a wobble board-based therapeutic exergaming system for balance training on dynamic postural stability and intrinsic motivation levels. J Orthop Sports Phys Ther. 2010;40(1):11-9.
32. Dadfar M, Sheikhhoseini R, Eslami R, Farivar NJMR. The effects of corrective exercise with and without visual feedback on lower extremity biomechanics and dynamic balance in adolescent female athletes with dynamic knee valgus :a pilot study. Mod Rehabil. 2022;16(1):31-44 [In Persian]
33. Grosprêtre S, Grandperrin Y, Nicolier M, Gimenez P, Vidal C, Tio G, et al. Effect of transcranial direct current stimulation on the psychomotor, cognitive, and motor performances of power athletes. Sci Rep. 2021;11(1):1-13.
34. Chappell JD, Limpisvasti O. Effect of a neuromuscular training program on the kinetics and kinematics of jumping tasks. The American Journal of Sports Medicine. 2008;36(6):1081-6.
35. Myer GD, Ford KR, Palumbo OP, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2005;19(1):51-60.
36. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FRJTAjosm. Plyometric training in female athletes: decreased impact forces and increased hamstring torques. Am J Sports Med. 1996;24(6):765-73.
37. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FRJTAjosm. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. Am J Sports Med. 1999;27(6):699-706.
38. Hoseini M, Minonejad H, Rajabi RJRoB, Actiuity P. The influence of soccer specific fatigue in different ambient temperatures on balance and performance of soccer players with functional ankle instability. Res Biosci Physic Acti. 2016;3(4):1-10. [In Persian]
39. Filipa A, Byrnes R, Paterno MV, Myer GD, Hewett TEJJoo, therapy sp. Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. J Orthop Sports Phys Ther. 2010;40(9):551-8.
40. Dutta A, Krishnan C, Kantak SS, Ranganathan R, Nitsche MA. Recurrence quantification analysis of surface electromyogram supports alterations in motor unit recruitment strategies by anodal transcranial direct current stimulation. Restorative Neurology and Neuroscience. 2015;33(5):663-9.41
41. Kamali AM, Saadi ZK, Yahyavi SS, Zarifkar A, Aligholi H, Nami M. Transcranial direct current stimulation to enhance athletic performance outcome in experienced bodybuilders. PloS One. 2019;14(8):e0220363.
42. Grandperrin Y, Grosprêtre S, Nicolier M, Gimenez P, Vidal C, Haffen E, et al. Effect of transcranial direct current stimulation on sports performance for two profiles of athletes (power and endurance) (COMPETE): a protocol for a randomised, crossover, double blind, controlled exploratory trial. JMR. 2020;21(1):1-14.