Kharazmi University

Research in Sport Medicine and Technology

Print ISSN: 2252 - 0708 Online ISSN: 2588 - 3925

Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

Effects Of 10-Session Dual Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) On Professional Swimmers Performance, Mental Toughness And Perceived Exertion

Mina Khantan [1] | Behrouz Abdoli [2*] | Alireza Farsi [3]

1. Department of Cognitive and Behavioral Science and Technology in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Department of Cognitive and Behavioral Science and Technology in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3. Department of Cognitive and Behavioral Science and Technology in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Corresponding Author: Behrouz Abdoli, b-abdoli@sbu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2024/09/17
Revised: 2025/06/17
Accepted: 2025/06/17

Keywords:
Brain Stimulation, Performance, Psychological Preparation, Professional Athlete, Mental Toughness.

How to Cite:
Mina Khantan, Behrouz Abdoli, Alireza Farsi. **Effects Of 10-Session Dual Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) On Professional Swimmers Performance, Mental Toughness And Perceived Exertion**. *Research In Sport Medicine and Technology*, 2025: 23(30): 26-44.

ABSTRACT

Aim: Transcranial direct current stimulation (tDCS) is one of the newest methods in order to improve the athletic performance and mental preparation of professional athletes. In this study, we investigated the effects of 10-session unihemispheric concurrent dual-site anodal-tDCS (a-tDCS) of the primary motor cortex (M1) and dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC), on swimming performance, mental toughness (MT) and perceived exertion.

Methods: 20 male professional swimmers (Age: 19.00±2.86 yrs) were randomly divided into tDCS (n=10) and sham (n=10) groups. On the first day, the Mental Toughness Questionnaire (SMTQ), next day, the 100-meter freestyle swimming performance test, and the rate of perceived exertion scale (RPE) were evaluated as pre-tests. From the third day, 10 sessions of tDCS were applied, each session a current of 2mA for 20 min, half an hour after the usual swimming exercise, three days a week. 48 hrs following 10th session of tDCS, evaluations were repeated. ANCOVA was used for statistical analysis.

Result: After 10 sessions of tDCS, swimming performance improved significantly; The total MT score increased significantly and no significant change was observed in RPE.

Conclusion: Based on this, multi-session tDCS combined with regular training is recommended to improve swimmers performance and psychological aspects that could be considered as a brain conditioning method to increase mental toughness and sports performance.

Published by Kharazmi University, Tehran, Iran. Copyright(c) The author(s) This is an open access article under e: CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

پژوهش در طب ورزشی و فناوری
شاپا چاپی: ۲۲۵۲-۰۷۰۸ شاپا الکترونیکی: ۳۹۲۵-۲۵۸۸
Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

اثر ۱۰ جلسه تحریک دوگانه الکتریکی مغز (tDCS) بر عملکرد، سرسختی ذهنی و فشار ادراک‌شده شناگران حرفه‌ای

مینا ختتان [۱] | بهروز عبدلی [۲*] | علیرضا فارسی [۳]

۱. دکتری رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲. استاد گروه علوم رفتاری، شناختی و فناوری ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳. استاد گروه علوم رفتاری، شناختی و فناوری ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: بهروز عبدلی b-abdoli@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله:
نوع مقاله: علمی–پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷
ویرایش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷

واژه‌های کلیدی:
تحریک مغز، عملکرد، آمادگی روانی، ورزشکار حرفه‌ای، سرسختی ذهنی.

ارجاع:
مینا ختتان، بهروز عبدلی ، علیرضا فارسی. **اثر ۱۰ جلسه تحریک دوگانه الکتریکی مغز (tDCS) بر عملکرد، سرسختی ذهنی و فشار ادراک‌شده شناگران حرفه‌ای.** *پژوهش در طب ورزشی و فناوری*. ۱۴۰۴: ۲۳(۳۰):۴۴-۲۶

چکیده

مقدمه و هدف: تحریک جریان مستقیم فرا جمجمه‌ای (tDCS) از جدیدترین روش‌ها جهت ارتقای عملکرد ورزشی و آمادگی روانی ورزشکاران حرفه‌ای است. در پژوهش حاضر، اثرات ۱۰ جلسه tDCS آندال، دوگانه هم‌زمان در یک نیمکره مغز، در نواحی قشر حرکتی اولیه (M1) و قشر پیش‌پیشانی پشتی (DLPFC) را بر عملکرد شنا، سرسختی ذهنی و فشار ادراک‌شده بررسی کردیم.

روش: ۲۰ شناگر حرفه‌ای مرد (سن: ۲/۸۶±۱۹/۰۰ سال) به‌صورت تصادفی به دو گروه tDCS (n=۱۰) و شاهد (n=۱۰) تقسیم شدند. روز اول، پرسش‌نامه سرسختی ذهنی (SMTQ)، روز بعد آزمون عملکرد ۱۰۰ متر شنای آزاد و مقیاس فشار ادراک‌شده (RPE) به‌عنوان پیش‌آزمون مورد ارزیابی قرار گرفتند. از روز سوم، ۱۰ جلسه tDCS، هر جلسه به مدت ۲۰ دقیقه و شدت ۲ میلی‌آمپر، نیم ساعت پس از تمرین متداول شنا، سه روز در هفته اعمال شد. ۴۸ ساعت پس از دهمین جلسه tDCS، ارزیابی‌ها تکرار شدند. تجزیه‌وتحلیل آماری با ANCOVA انجام شد.

یافته‌ها: پس از ده جلسه tDCS، عملکرد شنا به‌طور معنی‌داری بهبود یافت؛ نمره کل سرسختی ذهنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و تغییر معناداری در RPE مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری نهایی: بر این اساس، tDCS چند جلسه‌ای همراه با تمرینات متداول برای بهبود عملکرد شناگران و جنبه‌های روان‌شناختی توصیه شده که می‌تواند به‌عنوان یک روش آماده‌سازی مغزی برای بالا بردن سرسختی ذهنی و عملکرد ورزشی در نظر گرفته شود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

Extended Abstract

Background and purpose

Transcranial direct current stimulation (tDCS) is one of the newest methods in order to improve the athletic performance and mental preparation of professional athletes. This method is a non-invasive brain-modulating technique that applies a weak electrical current to the scalp. Some studies have confirmed the positive effects of this technique on athletes' performance. Different areas of the brain can be stimulated, the primary motor cortex (M1) is more related region to exercise performance and the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) is more related to executive function and control of cognitive processes. Studies reported different effects of M1 stimulation on performance such as reaction time, endurance performance and isometric contractions. Also DLPFC stimulation showed effects on time to exhaustion, rate of perceived exertion and mental fatigue. Some studies stimulated two regions of brain, simultaneously. They reported that concurrent dual-site a-tDCS has long lasting and more corticospinal excitability compared to each region stimulation alone. M1 and DLPFC simultaneous stimulation in the left hemisphere showed better cognitive performance and endurance performance. In addition, numbers of tDCS sessions could be an important factor. Therapeutic studies showed more positive effects after multi sessions of stimulation. While most of the studies investigated one session stimulation's effects. In swimming, single session of M1 tDCS showed no effects on athletes' performance and rate of perceived exertion. Also, one session of DLPFC tDCS following mental fatigue, caused no change in swimming performance. Moreover, psychological preparation has an important role in athletes' success. Higher scores of athletes' mental toughness, leads to more achievements in competitions. Swimmers with higher mental toughness level showed better performance. Therefore, in this study, we investigated the effects of 10-session unihemispheric concurrent dual-site anodal-tDCS (a-tDCS) of the primary motor cortex (M1) and dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC), on swimming performance, mental toughness (MT) and perceived exertion.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

Methods

Participants were the Iran national level elite swimmers in all sprints events, and they were engaged in regular training more than 8 sessions a week. They participated in most of the competitions at regional and national levels for more than 11 years. The number of participants required for this study was estimated with a sample size calculation, using G*Power Software version 3.1.9.2. Results of mixed ANOVA, with an alpha error probability of 0.05 and effect size (f = 0.7) and also, 0.95 (1-β) power, showed at least 20 participants were required to achieve this effect. According to the Edinburgh Handedness Inventory all participants were right-handed. Participants self-reports showed no psychiatric or neurological disease, seizures, metallic head implants. They reported no use of medications in the relevant questionnaire. Athletes or their parents (in cases under 18 years old) signed the written consent to the study. Current study was approved by the Ethics Committee of Shahid Beheshti University (Code: IR.SBU.REC.1402.177), Tehran, Iran and conducted in accordance with the declaration of Helsinki.

After participants were familiarized with the experimental procedure, in the first day, they filled out the 14-item of the sport mental toughness questionnaire (SMTQ) as pretest. This questionnaire provides a total score of sports mental toughness and three subscales; Confidence, Constancy, and Control. SMTQ is a valid brief questionnaire. In the second day, swimming performance were measured as pretest. Following the swimming test, rate of perceived exertion (RPE) was measured. The study is a randomized, sham-controlled trial. Participants were divided in to tDCS (n=10) and sham (n=10) groups, according to their last 100-meters records and they were blinded to their group. First they warmed-up as their coach designed, then according to their last 100-meters records, they were divided into couples with the most nearest records to perform competitively with their fastest possible pace throughout the swimming tests. Two experienced coaches recorded participants swimming time, using digital stopwatches (Casio HS-80, Hubei, China). All the Participants performed 100-meter swimming (freestyle) tests in Azadi Sports Complex indoor swimming pool (50 m) the air temperature was 29 C and the water temperature was 26.5 C at 8.00 am. Rate of

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

perceived exertion (RPE) was measured using Borg 0–10 scale. Participants were first introduced to how to report RPE on a printed sheet; On the sheet, colored bands were drawn from 0 to 10, with 10 different colors, " no exertion at all " to " no exertion at all " written against each number. Immediately after the 100 meters swimming performance test, participants chose one of the scale numbers on the corresponding sheet by pointing their finger. In the following 10 sessions, tDCS or sham group were applied three days a week (once a day) in a random order. Two days after the last tDCS session, swimming performance and RPE was measured again as post-test. The day after swimming post-test, they filled SMTQ again as post-test.

To apply Transcranial direct current stimulation (tDCS), two-channel brain stimulator (NeuroStim 2, Medina Tebgostar, Tehran, Iran) was used. To stimulate M1 and DLPFC regions simultaneously, the left hemispheric concurrent dual-site anodal tDCS montage was used. According to the 10–20 international electroencephalographic electrode systems, anode electrodes were located over left M1 (C3) and DLPFC (F3). Cathode electrodes were placed vertically over the contralateral supraorbital (F4 and Fp2) region. Anode electrodes were 5×4 cm^2 and cathode electrodes were 9 × 4 cm^2 and all electrodes covered by saline-soaked surface sponge (NaCl 140 mmol dissolved in Milli-Q water). In tDCS group, the stimulation current intensity of 2 mA was for 20 minutes with 30 s ramping up at the start and 30 s falling at the end of the stimulation. In sham group or not real tDCS condition, the current ramped up 30 s at the start and then no current was applied till the end of 20 minutes, this protocol have been used to make the stimulation blind [22]. The day after swimming pre-test, participant received 10 sessions of tDCS, one time a day, and three days a week randomly. Each tDCS session was at half an hour after the usual swimming exercise,

Results

Performance: ANCOVA was used for statistical analysis. After 10 sessions of tDCS, swimming performance improved significantly ($F=_{1,16}=4.59$; P=0.048; ES=0.22; OP=0.52) in tDCS group (am post: 57.93±1.74 sec; am pre: 58.8±1.75 sec) compared to sham group (am post: 58.82±1.89 sec; am pre: 58.93±2.3 sec; CI: 0.008-0.155).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

SMTQ: Total mental toughness score of tDCS group (post: 43.4±5.46; pre: 39.3±6.70) after 10 sessions of tDCS was significantly ($F_{1,16}$=4.67, P=0.046, ES=0.226, OP=0.529) higher than sham group (post: 42.66±5.54; pre: 42.66±5.91; CI: 0.06: 6.30), and constancy (P=0.078), confidence (P=0.320) and control (P=0.115) scores in tDCS group increased insignificantly.

RPE: After 10 sessions of tDCS, the rate of perceived exertion exactly after 100 meters swimming in tDCS group compared to sham group, did not changed significantly (P>0/05).

Discussion

The results of the present study showed that 10 sessions of dual-site M1 and DLPFC tDCS could significantly improve the performance of 100 meters freestyle swimming of professional male swimmers. Researchers showed that 10 sessions of tDCS of M1 region improved rowing performance, which is in line with this study. In mentioned research and some other studies used brain imaging to investigate the effect of tDCS on the performance of professional athletes, they reported a morphological mechanism of brain adaptations as well as brain neuroplasticity as the cause of performance improvement. Also, in 800 meters swimming, applying one session of tDCS did not show a significant change in swimming performance. However, single session of tDCS, improved the performance of professional male in 200m swimming and in 50m swimming it showed a reduction in the negative effects of mental fatigue on performance. The use of several sessions of tDCS is due to the positive effects of tDCS often appear after multi sessions. In addition, the simultaneous stimulation of M1 and DLPFC regions in left hemisphere has shown long lasting effects on learning than stimulation of each region alone.

Since, sports psychologists believe in importance of psychological factors in the athletes success, and mental toughness is one of the most important mental skills that are effective in the success of athletes; therefore, the increase in mental toughness in this study, can be one of the reasons of improving swimmers' performance. There was no significant change or difference in the rate of perceived exertion. According to previous researches, which reported a decrease in RPE following tDCS, it seems that RPE

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

changes are more decisive in endurance exercises. This could be a reason why RPE did not change significantly as 100 meters swimming is considered as a speed swimming. Studies showed one session of tDCS did not have significant effect on swimmers RPE, which is in line with the results of the present study.

Conclusion

Based on our results, multi-session dual-site tDCS combined with regular training is recommended to improve swimmers performance and psychological aspects that could be considered as a brain conditioning method to improve the mental toughness and sports performance.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

مقدمه

با توجه به رقابت بسیار نزدیک بین ورزشکاران نخبه، مربیان ورزشکاران نخبه همواره به دنبال راه‌کارهای نوآورانه برای ارتقای عملکرد از طریق عوامل جسمانی و شناختی هستند، حتی اگر این پیشرفت بسیار کوچک باشد (۱). همان‌طور که علاوه بر تمرین جسمانی در جهت ارتقای عوامل جسمانی و عملکرد ورزشکار از مکمل‌ها باید استفاده کرد؛ علاوه بر تمرینات ذهنی، در جهت ارتقای عوامل روانی و شناختی یا به‌طور خلاصه ارتقای کارکرد مغز ورزشکار نیز می‌توان از ابزارهای ایمن موجود در این زمینه استفاده کرد. با توجه به اهمیت مغز برای موفقیت در رویدادهای رقابتی، یکی از این ابزارهای ایمن و کم‌هزینه و قابل‌حمل، دستگاه کوچکی است که باعث ایجاد تحریک الکتریکی از طریق جمجمه می‌شود. در این راستا tDCS[1] به‌عنوان یک تکنیک کارافزا[2] جدید، اثرات مثبت بر عملکرد ورزشکار را تصدیق کرده است (۲).

تحریک الکتریکی فرا جمجمه‌ای یک تکنیک تعدیل عصبی است که جریان مستقیم با شدت پایین را به سلول‌های مغزی القا می‌کند که باعث تحریک یا مهار هدفمند خودانگیختهٔ فعالیت عصبی می‌شود. در رسانه‌ها، از تکنیک تحریک مغزی برای ارتقای عملکرد ورزشی، با عنوان دوپینگ مغزی یاد شده است. در این فناوری که یک روش غیرتهاجمی تحریک مغز است، از جریان‌های الکتریکی مستقیم ضعیف (معمولاً ۱ تا ۲ میلی‌آمپر) از طریق الکترودهای اسفنجی آغشته به آب و نمک روی پوست سر استفاده می‌شود (۳). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تحریک آندی و کاتدی tDCS می‌تواند به‌طور هم‌زمان تحریک‌پذیری قشر مغز را در نواحی هدف، تحریک یا سرکوب کند (٤). این فناوری پیش‌ازاین، به‌صورت گسترده در درمان اختلالات روانی عصبی از جمله افسردگی (٥)، درد مزمن (٦)، آلزایمر (۷) و برخی دیگر از بیماری‌ها مانند پارکینسون (۸)، سکته (۹) و همچنین تأثیر بر تنظیم اشتها در افراد دچار اضافه وزن (۱۰) مورد مطالعه قرارگرفته است.

در دهه‌های اخیر نتایج پژوهش‌های بسیاری نشان داده است که tDCS می‌تواند برای ورزشکاران رشته‌های مختلف در جهت ارتقای عملکرد مورداستفاده قرارگرفته و به‌طور مثال باعث بهبود قدرت عضلانی، استقامت و عوامل شناختی شده است (۱۱ و ۱۲). همچنین پژوهش‌ها نشان داده‌اند که tDCS برای ارتقای عملکرد ذهنی و جسمانی در ورزش از طریق تعدیل تحریک‌پذیری قشر مغز درگیر در واکنش‌های فیزیولوژیکی و شناختی به کار می‌رود (۱۳). به‌هرحال برخی دیگر از مطالعات، ارتقای عملکرد ورزشی بعد از tDCS را به کاهش ادراک خستگی نسبت دادند (١٤).

با توجه به فرآیند پیچیده‌ای که در مغز وجود دارد، نواحی مختلفی از مغز می‌تواند در فرآیند تنظیم و محدودسازی تمرینات ورزشی نقش داشته باشد؛ برای مثال، مشخص‌شده است که ناحیه قشر حرکتی اولیه (M1[3]) به دلیل نقشی که در اجرای حرکتی دارد، بیشترین ارتباط با عملکرد ورزشی را دارد (۱۵). افزایش تحریک‌پذیری قشر نخاعی M1 توسط

1. Transcranial Direct Current Stimulation
2. Ergogenic
3. Primary Motor Cortex

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

a-tDCS[1] اثرات مثبتی بر کاهش زمان واکنش (۱۶)، بهبود عملکرد استقامتی و افزایش حداکثر انقباضات ایزومتریک دارد (۱۷). علاوه بر این، قشر پیش پیشانی پشتی (DLPFC[2]) ناحیه دیگری است که در عملکرد اجرایی و کنترل فرآیندهای شناختی نقش دارد و همان‌طور که در مطالعات گزارش‌شده است، a-tDCS این منطقه می‌تواند عملکرد استقامتی و کارکرد شناختی را بهبود بخشد و میزان فشار ادراک‌شده (RPE[3]) ناشی از فعالیت را کاهش دهد (۱۸ و ۱۹) و اثرات منفی خستگی ذهنی را کاهش دهد (۲۰). در سال‌های اخیر، برای به دست آوردن حداکثر مزایا، پژوهشگران اثرات a-tDCS را در دو ناحیه M1 و DLPFC، به‌طور هم‌زمان در یک نیمکره مغز[4] بررسی کرده‌اند (۲۳-۲۱). این تکنیک دوگانه تحریک مغزی، سطح بالاتر و اثرات ماندگارتر تحریک‌پذیری قشر نخاعی (۲۳)، ارتقای عملکرد شناختی و استقامتی (۲۱) و افزایش در توانایی کسب مهارت (۲۲) را نشان داده است.

همچنین، برخی از مطالعات نشان داده‌اند که تجویز چند جلسه‌ای tDCS، اثرات مثبت بیشتر و ماندگارتری دارد (۳۵ و ۳۶). بااین‌حال، اغلب مطالعات اثرات حاد (یک جلسه) tDCS را بر عملکرد ورزشی بررسی کرده‌اند که برخی از آن‌ها اثرات مثبت گزارش کرده‌اند (۲۰ و ۲۴) و برخی دیگر تغییرات مثبتی مشاهده نکرده‌اند (۲۵ و ۲۶).

در برخی از ورزش‌ها مانند شنا، ورزشکاران در طول یک روز، در بیش از یک رویداد به رقابت می‌پردازند؛ بنابراین، ثبات و بازیابی عملکرد بین رویدادها یا مراحل مختلف یک رویداد (نیمه‌نهایی و نهایی) برای موفقیت شناگران حیاتی است؛ مانند بسیاری از رشته‌های ورزشی، شنای ۱۰۰ متر آزاد نیز به دلیل سرعتی بودن، علاوه بر آمادگی بدنی بالا نیاز به آمادگی روانی بالایی دارد. در این زمینه نیز برخی پژوهش‌ها اثر یک جلسه tDCS را بر عملکرد شنا را بررسی کرده‌اند. اعمال تحریک در DLPFC سمت چپ، اثرات منفی خستگی ذهنی بر عملکرد شنای ۵۰ متر شناگران حرفه‌ای مرد را کاهش داده است (۲۰). همچنین یک جلسه tDCS در ناحیه M1 باعث بهبود عملکرد شنای ۲۰۰ متر شناگران حرفه‌ای مرد شد (۲۷) اما در شنای ۸۰۰ متر آزاد، تحریک قشر گیجگاهی سمت چپ، تغییری در عملکرد یا RPE شناگران حرفه‌ای مرد نشان نداد (۲۶)، همچنین در ورزشکاران نخبه رشته سه‌گانه مردان، تحریک ناحیه M1، تغییر معناداری در عملکرد شنای ۸۰۰ متر آزاد نشان نداد، اما باعث بهبود حالت خلقی[5] آن‌ها شد (۲۵).

علاوه بر این، اکثر مربیان ورزشی معتقدند که پیروزی در برابر حریفی با توانایی‌های فیزیکی مشابه بیش از ۵۰ درصد به آمادگی روانی بستگی دارد. در این راستا، سرسختی ذهنی (MT[6]) با سطوح عملکرد در رشته‌های ورزش مختلف، همبستگی مثبت نشان داده است (۲۸). سرسختی ذهنی یک توانایی و مهارت برای مقابله با سختی‌ها و چالش‌ها در زندگی است و ورزشکاری که دارای ویژگی سرسختی ذهنی باشد، به هنگام مواجهه با سختی‌ها یا شکست در مسابقات به‌راحتی تسلیم نمی‌شود و تمام تلاش خود را برای موفقیت به کار می‌گیرد. ورزشکارانی که نمرات بالاتری در MT

1. Anodal tDCS
2. Dorsolateral Prefrontal Cortex
3. Rate of Perceived Exertion
4. Unihemispheric
5. Mood State
6. Mental Toughness

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

دارند، عموماً در رقابت‌هایی با سطوح بالاتر شرکت می‌کنند، نتایج بهتری به دست می‌آورند و عملکرد بهتری دارند (۲۹). جالب اینکه، شناگرانی که ازنظر ذهنی، سرسخت‌تر هستند، نسبت به هم‌تیمی‌های خود با نمره MT پایین‌تر، نتایج بهتری کسب کردند (۳۰).

همچنین، میزان فشار (تقلای) ادراک‌شده (RPE)، به‌عنوان یک عامل روان‌شناختی-فیزیولوژیک[1] یکی از روش‌های متداول برآورد شدت فعالیت است که در آن افراد میزان درک خود از سخت بودن کاری را که انجام می‌دهند، گزارش می‌کنند. ازآنجایی‌که ادراک از تقلا یک عامل محدودکننده برای تحمل فشار ناشی از تمرین یا رقابت می‌تواند باشد، بنابراین کاهش RPE در یک فعالیت معین می‌تواند به‌عنوان عامل ارتقای عملکرد ورزشی در نظر گرفته شود (۳۵). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که tDCS در ناحیه M1 و یا DLPFC می‌تواند کاهش RPE را در تمرینات ایزومتریک (۳۶)، مقاومتی (۲۸ و ۳۷) و استقامتی (۲۷ و ۳۸) در پی داشته باشد. این در حالی است که برخی پژوهش‌ها، تغییر معنی‌دار RPE را در پی تحریک مغزی، مشاهده نکرده‌اند (۳۹ و ۴۰).

ازاین‌رو، با توجه به اهمیت مغز انسان و آمادگی روانی ورزشکاران برای موفقیت در رویدادهای رقابتی، از جمله شنای ۱۰۰ متر آزاد؛ و اینکه اثر ۱۰ جلسه tDCS بر عملکرد شناگران تاکنون بررسی نشده است، لذا، پژوهش حاضر اثر ۱۰ جلسه تحریک دوگانه الکتریکی مغز (tDCS) بر عملکرد، سرسختی ذهنی و فشار ادراک‌شده شناگران حرفه‌ای را به‌عنوان بخشی از فرآیند آماده‌سازی مغزی[2] با افزایش ظرفیت‌های شناختی و روان‌شناختی به ورزشکاران در دستیابی به عملکرد بهتر، بررسی کرده است.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر به روش نیمه تجربی در دو گروه تجربی (tDCS) و شاهد (شم) به‌صورت پیش‌آزمون و پس‌آزمون اجرا شد. جامعه آماری پژوهش شامل ۲۰ شناگر مرد حرفه‌ای (سن: ۱۹±۲/۸۶ سال، قد: ۱/۸۱±۰/۰۵ متر و وزن ۷۴/۷۴±۸/۳۰ کیلوگرم) بود که به‌صورت داوطلبانه در این پژوهش شرکت کردند (جدول ۱). با توجه به اینکه، اثرات تعدیل‌کننده tDCS بر تحریک‌پذیری قشر نخاعی در جمعیت چپ‌دست و مختلط نسبت به افراد راست‌دست تفاوت متوسطی دارد (۳۱)؛ به استناد پرسش‌نامه دست برتری ادینبورگ[3] (۳۲)، همه شرکت‌کنندگان راست‌دست بودند. بر اساس اظهارات شرکت‌کنندگان در پرسش‌نامه‌ی مربوط به سلامتی، هیچ سابقه بیماری عصبی، روان‌پزشکی و مصرف داروها گزارش نشد. ورزشکاران و والدین آن‌ها (در موارد زیر ۱۸ سال) از روند کار مطلع شدند و رضایت‌نامه کتبی را امضا کردند. این مطالعه به تأیید کمیته اخلاق دانشگاه شهید بهشتی (کد: IR.SBU.REC.1402.177) تهران رسید و ملاحظات اخلاقی پژوهش بر اساس اعلامیه هلسینکی رعایت شد.

1. Psychophysiological
2. Brain Conditioning
3. Edinburgh Handedness Inventory

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

جدول ۱. ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها

	شاهد (n=۱۰)	tDCS (n=۱۰)	کل(n=۲۰)
سن (سال)	۱۹/۳۳±۳/٤٦	۱۸/۷±۲/۳۵	۱۹±۲/۸٦
سابقه شنا (سال)	۱۱/٤٤±۳/۰٤	۱۱/۲±۱/۹۳	۱۱/۳۱±۲/٤٥
قد (متر)	۱/۸۲±۰/۰٦	۱/۸۰±۰/۰۵	۱/۸۱±۰/۰۵
وزن (کیلوگرم)	۷۵/۳٦±۹/۷٤	۷٤/۱۸±۷/۲۷	۷٤/۷٤±۸/۳۰
BMI (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۲/۵۹±۱/۸۷	۲۲/۸۰±۱/٤۱	۲۲/۷۰±۱/٦۰
درصد چربی کل بدن	۱۵/۹۳±۲/٤۷	۱٦/۵۹±۳/۹۱	۱٦/۲۷±۳/۲۳
درصد عضلانی بدن	۳٦/۱۷±۱/۳۵	۳۵/۸۸±۲/۷۷	۳٦/۰۲±۲/۱٦

بعد از جلسه آشنایی و امضای رضایت‌نامه‌ها، در روز اول، شرکت‌کننده‌ها پرسش‌نامه سرسختی ذهنی SMTQ[1] را به‌عنوان پیش‌آزمون تکمیل کردند. شیرد و همکاران در سال ۲۰۰۹ پرسشنامه سرسختی ذهنی ورزشی را طراحی کردند. هدف این پرسشنامه سنجش میزان سرسختی ذهنی است و دارای ۱٤ سؤال است که نمره کلی سرسختی ذهنی و سه خرده مقیاس اطمینان، پایداری و کنترل را ارزیابی می‌کند. منظور از اطمینان باور به خود و توانایی‌ها در شرایط سخت و تحت‌فشار همچون ورزش رقابتی است. پایداری به مفهوم اراده ورزشکار برای شرکت در تمرینات سخت، خسته نشدن و تسلیم نشدن است همچنین کنترل یعنی من به‌عنوان یک ورزشکار اگر در شرایط سخت قرار بگیرم، می‌توانم موقعیت و شرایطم را کنترل کنم و بهترین عملکرد را از خودم نشان دهم، در واقع فرد به نقش خودش در کنترل شرایط بیشتر از محیط باور دارد و خودش را مسئول اتفاقات پیش رو می‌داند. هر سؤال دارای ۵ گزینهٔ پاسخ بر اساس مقیاس لیکرت (از کاملاً نادرست تا کاملاً درست) است و جمع نمرات سه خرده مقیاس برابر با نمره کل سرسختی ذهنی است (۳۳).

روز بعد، آزمون عملکرد شنای ۱۰۰ متر آزاد را به‌عنوان پیش‌آزمون انجام دادند. به این صورت که پس از گرم کردن استانداردی که توسط مربی اعلام شد، شناگران به‌صورت دونفره که رکوردهای نزدیک به هم داشتند، با شنیدن صدای بوق شروع، ۱۰۰ متر شنای آزاد را اجرا می‌کردند و زمان آن‌ها توسط دو مربی با سابقه با استفاده از کورنومتر دیجیتال (کاسیو HS–۸۰، هوبی، ساخت چین) ثبت می‌شد. جهت اطمینان از حداکثر تلاش آزمودنی‌ها از رقابت دو نفر با رکورد نزدیک و تأکید مربی بر نتیجه آزمون به‌عنوان رکوردگیری دوره‌ای استفاده شد. ضمناً همگرایی رکوردها با بهترین رکورد قبلی شناگران، تأییدی بر این موضوع بود. همه شرکت‌کننده‌ها، آزمون شنا را در استخر سرپوشیده ۵۰ متر ورزشگاه آزادی (دمای هوا ۲۹ درجه سانتی‌گراد و دمای آب ۲٦/۵ درجه سانتی‌گراد) بین ساعت ۸ الی ۹ صبح انجام دادند.

جهت ارزیابی ادراک از فشار، از مقیاس ۱۰–۰ امتیازی بورگ استفاده شد. شناگران ابتدا با نحوه گزارش RPE بر روی برگه پرینت گرفته شده، آشنا شدند؛ روی برگه، نوارهای رنگی به ترتیب از ۰ تا ۱۰، با ۱۰ رنگ متفاوت کشیده شده بود

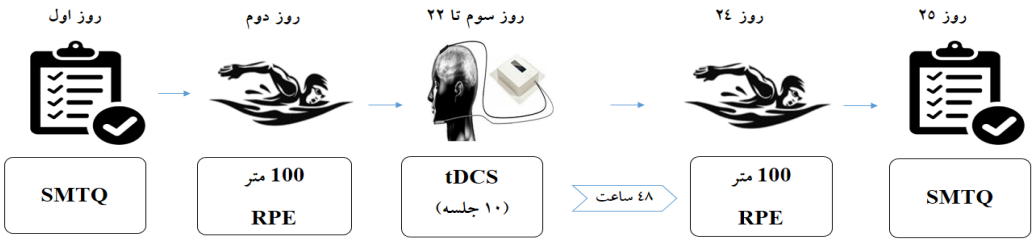
1. Sport Mental Toughness Questionnaire

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

که مقابل هر عدد شدت فشار از "بسیار بسیار سبک" تا "بسیار بسیار شدید" نوشته شده بود. بلافاصله پس از آزمون عملکرد ۱۰۰ متر شنا، شرکت‌کننده‌ها با اشاره انگشت خود یکی از اعداد مقیاس را روی برگه مربوطه انتخاب می‌کردند. در ادامه، شرکت‌کننده‌ها به‌صورت تصادفی هدفمند (با توجه به آخرین رکوردهای ۱۰۰ متر شنای آزادشان و یا رکورد پیش‌آزمون) به دو گروه tDCS (n=10) و شاهد (n=10) تقسیم شدند. پس‌ازآن ۱۰ جلسه tDCS (سه روز در هفته) با استفاده از دستگاه تحریک مغزی دو کاناله (نوروسیم ۲، ساخت شرکت مدیا طب‌گستر، تهران، ایران) اعمال شد. برای تحریک از روش tDCS آندی، دوگانه، هم‌زمان در یک نیمکره مغزی، در دو ناحیه M1 و DLPFC استفاده شد (۲۳). بر اساس تقسیم‌بندی ۲۰-۱۰ سیستم‌های الکترود الکتروانسفالوگرافی بین‌المللی، الکترودهای آند (٤ ×٥ سانتی‌متر) بر روی ناحیه DLPFC (F3) چپ و M1 (C3) چپ قرار گرفتند و الکترودهای کاتد (٤×٩ سانتی‌متر) در ناحیه پیشانی سمت مخالف قرار گرفتند. هر چهار الکترود داخل پدهای آغشته شده به سالین (۱٤۰ میلی‌مول نمک حل‌شده در آب) قرار گرفتند. با توجه به اینکه در طول این پژوهش، شرکت‌کننده‌ها تمرینات روزانه و متداول خود را انجام می‌دادند، نیم ساعت پس از پایان تمرین شنا، در اتاقی نزدیک محل تمرین tDCS اعمال می‌شد. گروه تجربی، هر جلسه به مدت ۲۰ دقیقه با شدت ۲ میلی‌آمپر توسط دو الکترود به‌طور هم‌زمان تحریک شدند که در ۳۰ ثانیه ابتدا و انتها، جریان به ترتیب افزایش و کاهش تدریجی داشت. گروه شاهد نیز کاملاً مشابه با گروه tDCS، هر جلسه به مدت ۲۰ دقیقه توسط الکترودها در دو ناحیه ذکر شده به دستگاه متصل بودند، درحالی‌که فقط ۳۰ ثانیه اول و ۳۰ ثانیه آخر تحریک انجام می‌شد و بین آن جریان قطع می‌شد؛ این کار باعث شبیه‌سازی تحریک در گروه شاهد می‌شد (۲۳). برای بررسی اثرات جانبی tDCS، از جمله احساس خارش، سوزش و غیره، شرکت‌کننده‌ها هر بار پس از دریافت تحریک، مقیاس مربوطه را تکمیل می‌کردند.

٤۸ ساعت پس از آخرین جلسه tDCS، شرکت‌کننده‌ها، آزمون شنا و RPE را به‌عنوان پس‌آزمون تکرار کردند و فردای آن روز پرسش‌نامه SMTQ را مجدداً تکمیل نمودند. در طول اجرای پروتکل همه شناگرها تمرینات متداول خود را انجام می‌دادند (شکل ۱).



شکل ۱. خلاصه پروتکل پژوهش.

روش آماری

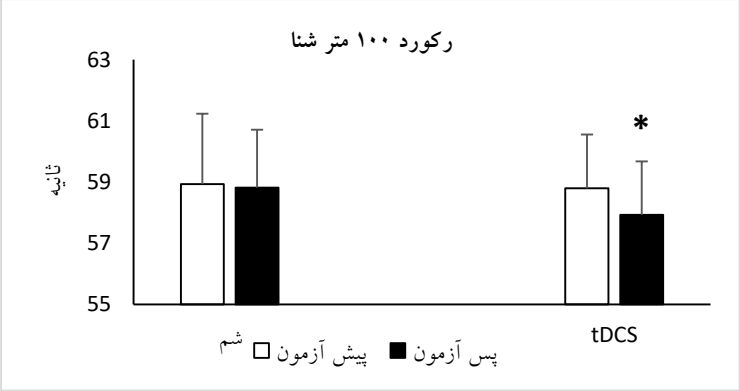
پس از بررسی طبیعی بودن داده‌ها از طریق آزمون شاپیروویلک تغییرات و تفاوت‌ها در شاخص‌های مورد بررسی قبل و بعد گروه تجربی با در نظر گرفتن گروه شاهد در پژوهش از طریق تحلیل آنکووا در نرم‌افزار SPSS نسخه ٢٤ مورد

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

بررسی قرار گرفت. همچنین نتایج توصیفی به‌صورت میانگین و انحراف استاندارد ارائه شد. برای تشریح دقیق‌تر نتایج تحلیل آماری، اندازه اثر، توان آماری مشاهده‌شده و دامنه اطمینان تفاوت‌ها و میزان F نیز گزارش شد. سطح معنی‌داری ۵ درصد به‌عنوان آلفای تحلیل‌ها در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

عملکرد: نتایج تحلیل آنکوا نشان داد که عملکرد شناگران گروه tDCS (پیش‌آزمون: ۵۸,۸±۱,۷۵ پس‌آزمون: ۵۷,۹۳±۱,۷٤ ثانیه) پس از اجرای ۱۰ جلسه تحریک الکتریکی در مقایسه با گروه شاهد (پیش‌آزمون: ۵۸,۹۳±۲,۳ پس-آزمون: ۵۸,۸۲±۱,۸۹ ثانیه. CI: 0.008-0.155) به‌طور معنی‌داری ($F=_{1,16}=4.59$; P=0.048; ES=0.22; OP=0.52) بهبود یافته است.



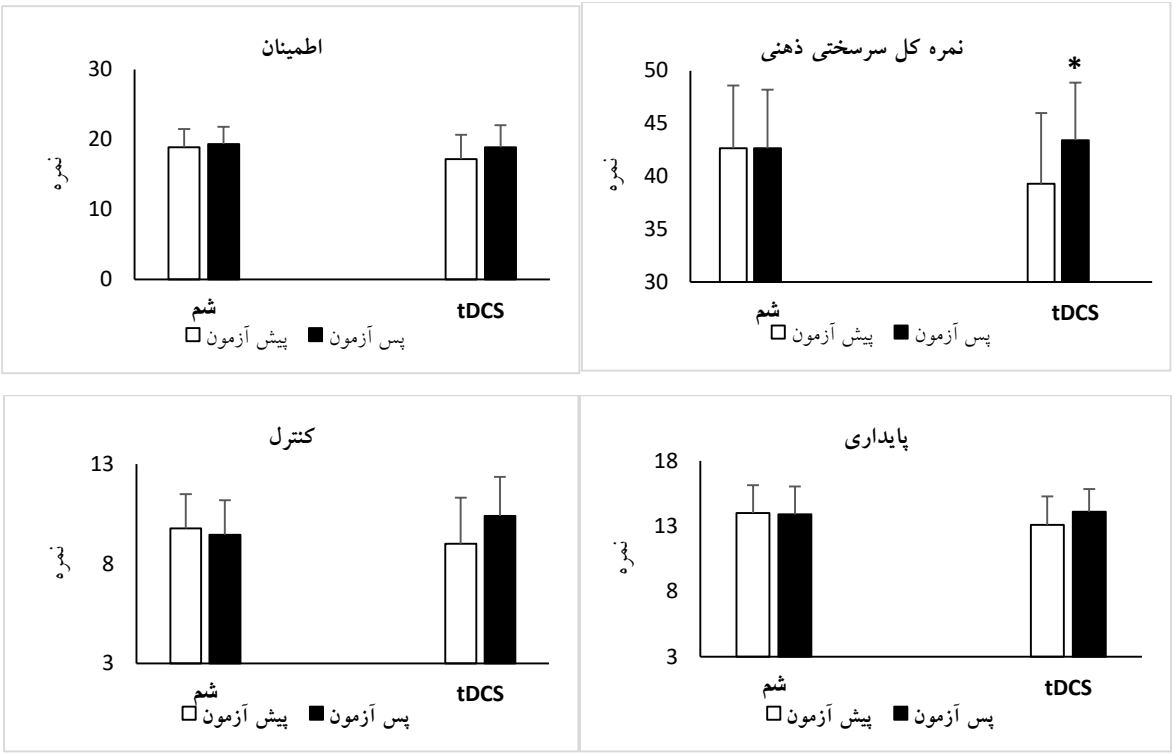
شکل ۲. رکورد ۱۰۰ متر شنا گروه tDCS و شاهد پس از ۱۰ جلسه tDCS.

*= تفاوت معنی‌دار با پیش‌آزمون.

سرسختی ذهنی: نتایج تحلیل آنکووا نشان داد که نمره کل سرسختی ذهنی در گروه tDCS (پیش‌آزمون:39.3±6.7 ؛ پس‌آزمون: 43.4±5.46) به‌طور معنی‌داری ($F_{1,16}=4.67$, P=0.046, ES=0.226, OP=0.529) بالاتر از گروه شاهد (پیش‌آزمون: 42.66±5.91؛ پس‌آزمون:42.66±5.5 ؛ CI: 0.06: 6.30) بود. بااین‌حال، در سه خرده مقیاس اطمینان (P=0.32)، پایداری (P=0.078) و کنترل (P=0.11) تفاوت معنی‌داری بین دو گروه شاهد و tDCS وجود نداشت (شکل ۳).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

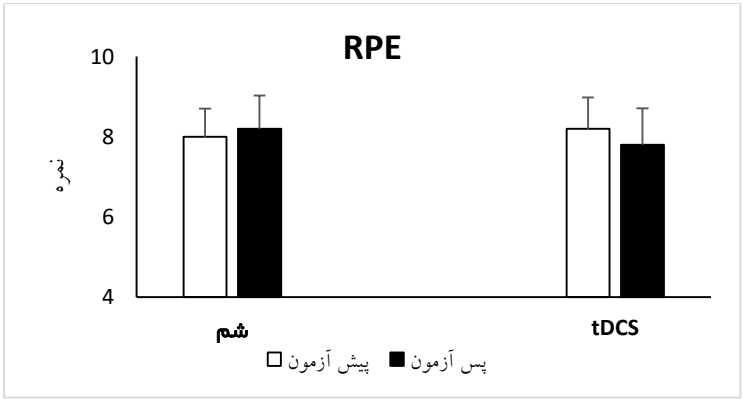
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]



شکل ۳. نمودار نمره کل سرسختی ذهنی (A) و خرده مقیاس‌های آن پس از اجرای ۱۰ جلسه tDCS.

*=تفاوت معنی‌دار با پیش‌آزمون

RPE: نتایج تحلیل آنکووا نشان داد که هیچ تغییر معناداری (P>۰/۰۵) در میزان RPE بلافاصله پس از آزمون‌های شنای ۱۰۰ متر در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه tDCS نسبت به گروه شاهد وجود نداشت (شکل ٤).



شکل ٤. تغییرات RPE پس از ۱۰ جلسه tDCS.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ۱۰ جلسه tDCS، به‌طور معناداری موجب ارتقای عملکرد ۱۰۰ متر شنای آزاد شناگران مرد حرفه‌ای شد که این موضوع استفاده از تحریک مغزی به‌عنوان روش کمکی در کنار تمرینات متداول ورزشکاران حرفه‌ای در سال‌های اخیر را تأیید می‌کند. پژوهش‌های متعددی اثر یک جلسه tDCS را بر عملکرد ورزشی بررسی کرده‌اند؛ اما اثر ۱۰ جلسه tDCS بر عملکرد شنا تاکنون بررسی نشده است. در پژوهش اِمآ و همکاران (۲۰۲۲)، نشان دادند که ۱۰ جلسه tDCS ناحیه M1 موجب ارتقای عملکرد ۲۰۰۰ متر روئینگ شد که همسو با یافته پژوهش حاضر است؛ لازم به ذکر است که این مطالعه گروه شاهد نداشت و نیمی از ۱۲ روئر با شدت جریان ۲ میلی‌آمپر و نیمی دیگر ۱ میلی‌آمپر تحریک دریافت کردند (۳٤). در پژوهش امآ و برخی پژوهش‌هایی که برای بررسی اثر tDCS بر عملکرد ورزشکاران حرفه‌ای از تصویربرداری مغزی استفاده کرده بودند، یک سازوکار ریخت‌شناختی از سازگاری‌های مغز و همچنین نوروپلاستیسیته مغزی را عامل این بهبود عملکرد گزارش کردند (۳٦-۳٤). همچنین در شنای ۸۰۰ متر، اعمال یک جلسه tDCS تغییر معناداری در عملکرد شنا نشان نداد (۲۵ و ۲٦)؛ اما اعمال یک جلسه tDCS در شنای ۲۰۰ متر، بهبود عملکرد شناگران مرد حرفه‌ای (۲۷) و در شنای ۵۰ متر کاهش اثرات منفی خستگی بر عملکرد را نشان داد (۲۰). با توجه به نتایج پژوهش‌ها، در شناهای سرعتی، یک جلسه tDCS ممکن است بر عملکرد مؤثر باشد؛ اما در مسافت‌های طولانی‌تر، به نظر می‌رسد، تعداد جلسات tDCS بیشتر (۳٦ و ۳۷) و یا دوگانه بودن تحریک هم‌زمان ناحیه M1 و DLPFC بتواند مؤثرتر باشد.

با توجه به اینکه tDCS اساساً برای بهبود و درمان بیماری‌های مرتبط با مغز و شرایط روانی بیماران طراحی و گسترش یافته است. ازاین‌رو، پژوهش‌هایی که در حوزه درمانی چندین جلسه tDCS اعمال کرده بودند، اثرات مثبتی را گزارش کردند؛ برای مثال، در درمان افسردگی، تحریک ناحیه DLPFC، باعث افزایش معنادار ماده خاکستری مغز بر پایه اثر نوروپلاستیسیته این راهبرد شده است (۳٦). این نتایج می‌تواند تأیید مناسبی برای علت استفاده از چندین جلسه tDCS باشد چراکه، اثرات مثبت tDCS غالباً پس از چندین جلسه نمایان می‌شود و اثرات بیشتر و ماندگارتری را نشان داده است (۳٦ و ۳۷). علاوه بر این، تحریک هم‌زمان دو ناحیه M1 و DLPFC نیمکره چپ مغز نسبت به تحریک M1 به‌تنهایی و یا گروه شاهد، اثر ماندگارتری را بر یادگیری نشان داده است (۲۲). همچنین تحریک هم‌زمان دو ناحیه M1 و DLPFC نیمکره چپ مغز نسبت به تحریک دوگانه سایر ناحیه‌های مغزی، اثرات بیشتر و ماندگارتری را بر تحریک-پذیری قشر نخاعی نشان داد (۲۳). در مطالعه‌ای دیگر، یک جلسه tDCS، به‌صورت دوگانه هم‌زمان M1 و DLPFC تفاوت معنی‌داری در پردازش درد نشان نداد؛ بنابراین با توجه به پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد تعداد جلسات و دوگانه بودن tDCS، در کنار هم می‌تواند مؤثرتر واقع شود.

یکی دیگر از نتایج مهم پژوهش حاضر افزایش معنادار نمره سرسختی ذهنی است. ازآنجایی‌که روانشناسان ورزشی معتقد هستند که اثر عوامل روان‌شناختی در موفقیت ورزشکاران بین ۵۰ تا ۹۰ درصد است و سرسختی ذهنی نیز یکی از مهم‌ترین مهارت‌های روانی چندوجهی است که در موفقیت ورزشکاران مؤثر است؛ بنابراین، این افزایش در سرسختی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

ذهنی می‌تواند یکی از دلایل اصلی بهبود رکورد شناگران باشد. با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی اثر tDCS را بر سرسختی ذهنی به‌ویژه در ورزش‌هایی مثل دوی ۴۰۰ متر و شنای ۱۰۰ متر که بنیاد لاکتیکی آن‌ها اهمیت تحمل لاکتات و تحمل فشار و بنابراین سرسختی ذهنی را دوچندان کرده است، بررسی نکرده است؛ نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در این زمینه پیشگام و راهگشا باشد.

همچنین، با توجه به ارتباط معنادار سرسختی ذهنی و افسردگی، اضطراب و استرس (۳۸)، سطوح بالای سرسختی ذهنی می‌تواند منجر به کاهش این موارد و در نتیجه ارتقای عملکرد ورزشکاران شود. بعلاوه سرسختی ذهنی با بهزیستی مرتبط با ورزش، ارتباط معنادار مثبتی داشته (۳۹ و ۴۰) و به‌طورکلی ورزشکاران با سرسختی ذهنی بالاتر قادر هستند تحت شرایط استرس‌آور که طبیعت ورزش حرفه‌ای و قهرمانی است، به برتری دست یابند. نتایج این پژوهش‌ها همسو با پژوهش حاضر است مبنی بر اینکه، افزایش نمره سرسختی ذهنی به‌عنوان یک عامل روان‌شناختی مهم، می‌تواند باعث ارتقای عملکرد ورزشی شود. بعلاوه، با توجه به تأثیر مثبت تحریک الکتریکی مستقیم مغزی بر بهبود سطوح لاکتات ورزشکاران (۴۱)، به نظر می‌رسد، در پژوهش حاضر، یکی از سازوکارهای فیزیولوژیک مهم ارتقای عملکرد شنا همراه با بهبود سرسختی ذهنی بهبود لاکتات تولیدی و تحمل لاکتات باشد.

در پایان، تغییر معنی‌داری در میزان فشار ادراک‌شده مشاهده نشد. با توجه به پژوهش‌های پیشین که بر اثر اعمال tDCS، کاهش RPE گزارش شده بود، به نظر می‌رسد، تغییرات RPE در تمرینات استقامتی تعیین‌کننده‌تر باشد (۱۹). در پژوهش حاضر که بررسی عملکرد شنای ۱۰۰ متر بود و جزو شناهای سرعتی محسوب می‌شود، این شاخص تغییر معنی‌داری نداشت. در پژوهش پنا و همکاران (۲۰۲۱)، اثر یک جلسه tDCS بر عملکرد شنای ۸۰۰ متر، تغییر معنی‌داری در RPE نشان نداد (۲۶ و ۲۵) که با نتایج پژوهش حاضر همسو است. در مجموع، بهبود عملکرد شنا در این پژوهش نمی‌تواند به دلیل کاهش درک از فشار باشد و به نظر می‌رسد که سازوکارهای دیگری در این زمینه دخیل هستند.

نتیجه‌گیری

ازآنجایی‌که به سقف رسیدن عملکرد جسمانی ورزشکاران پدیده عامی است، به نظر می‌رسد که مداخله تحریک جریان مستقیم فرا جمجمه‌ای (tDCS) به‌نوبه خود می‌تواند به‌عنوان بخشی از فرایند آماده‌سازی مغزی با افزایش ظرفیت‌های شناختی و روان‌شناختی به ورزشکاران در دستیابی به عملکرد بهتر کمک کند.

References

1. Perrey, S. (2023). Probing the Promises of Noninvasive Transcranial Electrical Stimulation for Boosting Mental Performance in Sports. Brain Sciences, 13(2), 282. Doi: 10.3390/brainsci13020282
2. Edwards D J et al. (2017). Transcranial direct current stimulation and sports performance. Frontiers in Human Neuroscience, **11**:243-247. Doi: 10.3389/fnhum.2017.00243
3. Liu, X., Yang, X., Hou, Z., Ma, M., Jiang, W., Wang, C., ... & Yuan, Y. (2019). Increased interhemispheric synchrony underlying the improved athletic performance of rowing athletes by transcranial direct current stimulation. Brain imaging and behavior, 13, 1324-1332. Doi: 10.1007/s11682-018-9948-3

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

4. Reis, J., & Fritsch, B. (2011). Modulation of motor performance and motor learning by transcranial direct current stimulation. Current Opinion in Neurology, 24(6), 590–596. 10. Doi:10.1097/WCO.0b013e32834c3db0.
5. Meron, D., Hedger, N., Garner, M., & Baldwin, D. S. (2015). Transcranial direct current stimulation (tDCS) in the treatment of depression: Systematic review and meta-analysis of efficacy and tolerability. Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 57, 46–62. Doi:10.1016/j.neubiorev.2015.07.012.
6. Antal, A., & Paulus,W. (2010). Transcranial magnetic and direct current stimulation in the therapy of pain. Schmerz, 24(2), 161–166. Doi:10.1007/s00482-010-0899-x
7. Boggio, P. S., Valasek, C. A., Campanhã, C., Giglio, A. C. A., Baptista, N. I., Lapenta, O. M., & Fregni, F. (2011). Non-invasive brain stimulation to assess and modulate neuroplasticity in Alzheimer's disease. Neuropsychological Rehabilitation, 21(5), 703–716. Doi:10.1080/09602011.2011.617943
8. Benninger, D. H., Lomarev, M., Lopez, G., Wassermann, E. M., Li, X., Considine, E., & Hallett, M. (2010). Transcranial direct current stimulation for the treatment of Parkinson's disease. Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 81(10), 1105–1111. Doi: 10.3389/fneur.2021.794784
9. Bolognini, N., Vallar, G., Casati, C., Latif, L. A., El-Nazer, R.,Williams, J., et al. (2011). Neurophysiological and behavioral effects of tDCS combined with constraint-induced movement therapy in poststroke patients. Neurorehabilitation and Neural Repair, 25(9), 819–829. Doi: 10.1177/1545968311411056.
10. Montenegro, R. A., Okano, A. H., Cunha, F. A., Gurgel, J. L., Fontes, E. B., & Farinatti, P. T. V. (2012). Prefrontal cortex transcranial direct current stimulation associated with aerobic exercise change aspects of appetite sensation in overweight adults. Appetite, 58(1), 333–338. Doi: 10.1016/j.appet.2011.11.008
11. Lattari, E., Rosa Filho, B. J., Junior, S. J. F., Murillo-Rodriguez, E., Rocha, N., Machado, S., & Neto, G. A. M. (2020). Effects on volume load and ratings of perceived exertion in individuals' advanced weight training after transcranial direct current stimulation. The Journal of Strength & Conditioning Research, 34(1), 89-96. Doi: 10.1519/JSC.0000000000002434
12. Angius, L., Mauger, A. R., Hopker, J., Pascual-Leone, A., Santarnecchi, E., & Marcora, S. M. (2018). Bilateral extracephalic transcranial direct current stimulation improves endurance performance in healthy individuals. Brain stimulation, 11(1), 108-117. Doi: 10.1016/j.brs.2017.09.017
13. Foerster, A., Rocha, S., Wiesiolek, C., Chagas, A. P., Machado, G., Silva, E., et al. (2013). Site-specific effects of mental practice combined with transcranial direct current stimulation on motor learning. European Journal of Neuroscience. 37, 786–794. Doi: 10.1111/ejn.12079
14. Tahan, A., & Farsi, A. (2022). The effect of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCs) in muscle and mental fatigue conditions on the proprioception of knee joint position. Journal of Sports Psychology. (Persian). Doi:10.29252/MBSP.2022.225592.1100
15. Machado, D., Unal, G., Andrade, S. M., Moreira, A., Altimari, L. R., Brunoni, A. R., et al. (2019). Effect of transcranial direct current stimulation on exercise performance: a systematic review and meta-analysis. Brain Stimul. 12, 593–605. Doi: 10.1016/j.brs.2018.12.227
16. Drummond NM, Hayduk-Costa G, Leguerrier A, Carlsen AN. Effector-independent reduction in choice reaction time following bi-hemispheric transcranial direct current stimulation over motor cortex. PLoS One. 2017 Mar 6;12(3):e0172714. Doi: 10.1371/journal.pone.0172714
17. Alix-Fages, C., Romero-Arenas, S., Castro-Alonso, M., Colomer-Poveda, D., Río-Rodriguez, D., Jerez-Martínez, A., ... & Márquez, G. (2019). Short-term effects of anodal transcranial direct current stimulation on endurance and maximal force production: a systematic review and meta-analysis. Journal of clinical medicine, 8(4), 536. Doi: 10.3390/jcm8040536
18. Hertrich, I., Dietrich, S., Blum, C., & Ackermann, H. (2021). The Role of the Dorsolateral Prefrontal Cortex for Speech and Language Processing. Frontiers in human neuroscience, 15, 645209. Doi: 10.3389/fnhum.2021.645209
19. Etemadi, M., Amiri, E., Tadibi, V., Grospretre, S., Valipour Dehnou, V., & Machado, D. G. D. S. (2023). Anodal tDCS over the left DLPFC but not M1 increases muscle activity and improves psychophysiological responses, cognitive function, and endurance performance in normobaric

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

hypoxia: a randomized controlled trial. BMC neuroscience, 24(1), 25. Doi: 10.1186/s12868-023-00794-4
20. Nikooharf Salehi, E., Jaydari Fard, S., Jaberzadeh, S., & Zoghi, M. (2022). Transcranial direct current stimulation reduces the negative impact of mental fatigue on swimming performance. Journal of Motor Behavior, 54(3), 327-336. Doi: 10.1080/00222895.2021.1962238
21. Banaei, P., Tadibi, V., Amiri, E., & Machado, D. G. D. S. (2023). Concomitant dual-site tDCS and dark chocolate improve cognitive and endurance performance following cognitive effort under hypoxia: a randomized controlled trial. Scientific Reports, 13(1), 16473. Doi: 10.1038/s41598-023-43568-y
22. Talimkhani, A., Abdollahi, I., Mohseni-Bandpei, M. A., Ehsani, F., Khalili, S., & Jaberzadeh, S. (2019). Differential effects of unihemispheric concurrent dual-site and conventional tDCS on motor learning: A randomized, sham-controlled study. Basic and clinical neuroscience, 10(1), 59. Doi: 10.32598/bcn.9.10.350
23. Vaseghi, B., Zoghi, M., & Jaberzadeh, S. (2015). The effects of anodal-tDCS on corticospinal excitability enhancement and its after-effects: conventional vs. unihemispheric concurrent dual-site stimulation. Frontiers in human neuroscience, 9, 533. Doi.org/10.3389/fnhum.2015.00533
24. Maudrich, T., Ragert, P., Perrey, S., & Kenville, R. (2022). Single-session anodal transcranial direct current stimulation to enhance sport-specific performance in athletes: A systematic review and meta-analysis. Brain Stimulation. Doi: 10.1016/j.brs.2022.11.007
25. Valenzuela, P. L., Amo, C., Sánchez-Martínez, G., Torrontegi, E., Vázquez-Carrión, J., Montalvo, Z., ... & de la Villa, P. (2019). Enhancement of mood but not performance in elite athletes with transcranial direct-current stimulation. International journal of sports physiology and performance, 14(3), 310-316. Doi: 10.1123/ijspp.2018-0473
26. Penna, E. M., Filho, E., Campos, B. T., Ferreira, R. M., Parma, J. O., Lage, G. M., ... & Prado, L. S. (2021). No effects of mental fatigue and cerebral stimulation on physical performance of master swimmers. Frontiers in Psychology, 12, 656499. Doi: 10.3389/fpsyg.2021.656499
27. Ali Molaei., Sedigheh Hosseinpour Delavar., Mehran Ghahramani., Reza Jabbari., Mohammad Jalilvand.(2020). The Effect of Water Immersion and Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS) during Recovery Period on Changes in Blood Lactate and Subsequent Performance of Swimmers. Research in sport medicine and technology. 18 (20):49-58. (Persian). Doi: 10.29252/jsmt.18.20.49
28. Guszkowska, M., & Wójcik, K. (2021). Effect of mental toughness on sporting performance: Review of studies. Baltic Journal of Health and Physical Activity, 13(7), 1. Doi:10.29359/BJHPA.2021.Suppl.2.01
29. Cowden, R. G. (2017). Mental toughness and success in sport: A review and prospect. The Open Sports Sciences Journal, 10(1). Doi:10.2174/1875399X01710010001
30. Beattie, S., Alqallaf, A., & Hardy, L. (2017). The effects of punishment and reward sensitivities on mental toughness and performance in swimming. International Journal of Sport Psychology. Doi:10.7352/IJSP.2017.48.246
31. Schade, S., Moliadze, V., Paulus, W., & Antal, A. (2012). Modulating neuronal excitability in the motor cortex with tDCS shows moderate hemispheric asymmetry due to subjects' handedness: a pilot study. Restorative neurology and neuroscience, 30(3), 191-198. Doi: 10.3233/RNN-2012-110175
32. Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. Neuropsychologia, 9(1), 97-113. Doi: 10.1016/0028-3932(71)90067-4
33. Sheard, M., Golby, J., & Van Wersch, A. (2009). Progress toward construct validation of the Sports Mental Toughness Questionnaire (SMTQ). European Journal of Psychological Assessment, 25(3), 186-193. Doi:10.1027/1015-5759.25.3.186
34. Ma, M., Xu, Y., Xiang, Z., Yang, X., Guo, J., Zhao, Y., Hou, Z., Feng, Y., Chen, J., & Yuan, Y. (2022). Functional whole-brain mechanisms underlying effects of tDCS on athletic performance of male rowing athletes revealed by resting-state fMRI. Frontiers in psychology, 13, 1002548. Doi: 10.3389/fpsyg.2022.1002548
35. Wang, J., Lu, M., Fan, Y., Wen, X., Zhang, R., Wang, B., et al. (2016). Exploring brain functional plasticity in world class gymnasts: a network analysis. Brain Structure & Function. 221, 3503–3519. Doi: 10.1007/s00429-015-1116-6

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]

36. Jog, M. A., Anderson, C., Kubicki, A., Boucher, M., Leaver, A., Hellemann, G., ... & Narr, K. (2023). Transcranial direct current stimulation (tDCS) in depression induces structural plasticity. Scientific reports, 13(1), 2841. Doi.org/10.1038/s41598-023-29792-6
37. Ke, Y., Liu, S., Chen, L., Wang, X., & Ming, D. (2023). Lasting enhancements in neural efficiency by multi-session transcranial direct current stimulation during working memory training. npj Science of Learning, 8(1), 48. Doi.org/10.1038/s41539-023-00200-y
38. KALININ, R., BALÁZSI, R., PÉNTEK, I., & HANȚIU, I. (2021). Relationship between mental toughness, stress, anxiety and depression. Studia Universitatis Babeș-Bolyai Educatio Artis Gymnasticae, 17-24. Doi:10.24193/subbeag.66(1).02
39. Bird, M. D., Simons, E. E., & Jackman, P. C. (2021). Mental toughness, sport-related well-being, and mental health stigma among national collegiate athletic association division I student-athletes. Journal of Clinical Sport Psychology, 15(4), 306-322. Doi:10.1123/jcsp.2020-0043
40. Gerber, M., Best, S., Meerstetter, F., Walter, M., Ludyga, S., Brand, S., ... & Gustafsson, H. (2018). Effects of stress and mental toughness on burnout and depressive symptoms: A prospective study with young elite athletes. Journal of Science and Medicine in Sport, 21(12), 1200-1205. Doi: 10.1016/j.jsams.2018.05.018
41. Angius, L., Santarnecchi, E., Pascual-Leone, A., & Marcora, S. M. (2019). Transcranial direct current stimulation over the left dorsolateral prefrontal cortex improves inhibitory control and endurance performance in healthy individuals. Neuroscience, 419, 34-45. Doi: 10.1016/j.neuroscience.2019.08.052

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.30.2.0]