

# The Effect of Transcranial Electrical Stimulation on Athletic Performance Optimization: Systematic review, Meta- Analysis, and Proposing a Theoretical Model

Amin Amini\*, Mohammad Vaezmousavi

Department of Artificial Intelligence and Cognitive Sciences, Imam Hossein University, Tehran, Iran

## Article Info:

Received: 13 June 2021

Revised: 15 Sep 2021

Accepted: 23 Oct 2021

## ABSTRACT

**Introduction:** Transcranial direct- current stimulation is a nerve modulation technique that induces low- intensity direct current to brain cells that stimulate or inhibit spontaneous neural activity. In recent decades, the use of electrical stimulation has been used as an effective method to improve the cognitive, psychological, and physical performance of athletes. In this study, using meta- analysis, the effectiveness of extracranial electrical stimulation on optimizing athletes' performance was investigated. **Materials and Methods:** The present study is a systematic review and meta-analysis research model. In the first phase of the study, all Persian and English studies on the effectiveness of Transcranial direct- current stimulation on athlete's performance were systematically reviewed (N=474), and among them, studies with meta- analysis criteria were reviewed by Meta- Analysis Basics and Applications (N=26). In the second stage, a specific intervention model for athletes was developed based on various components affecting performance. **Results:** The results showed the effect size (ES) of transcranial direct- current stimulation (Cohen's  $d=1.187$ ) is large according to Cohen's table (Cohen's  $D>0.8$ ). Therefore, transcranial direct- current stimulation improves the performance of athletes. In the second stage, the factors affecting the performance of athletes following transcranial direct- current stimulation were developed in the form of a specific intervention model for athletes. **Conclusion:** The findings of this meta- analysis showed a large ES for transcranial direct- current stimulation on athletic performance optimization.

## Keywords:

1. Cognition
2. Cortical Excitability
3. Athletic Performance

\*Corresponding Author: Amin Amini

Email: [amini.a@ut.ac.ir](mailto:amini.a@ut.ac.ir)

# تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران؛ یک مرور نظام‌مند، فراتحلیل و پیشنهاد یک الگوی نظری

امین امینی\*، سید محمد کاظم واعظ موسوی

گروه هوش مصنوعی و علوم شناختی، دانشگاه امام حسین، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

پذیرش: ۱ آبان ۱۴۰۰

اصلاحیه: ۲۴ شهریور ۱۴۰۰

دریافت: ۲۳ خرداد ۱۴۰۰

## چکیده

**مقدمه:** تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای یک تکنیک تعدیل عصبی است که جریان مستقیم با شدت پایین را به سلول‌های مغزی القا می‌کند که باعث تحریک یا مهار خودانگیخته‌ی فعالیت عصبی می‌شود. در دهه‌های اخیر استفاده از تحریک الکتریکی به‌عنوان روشی مؤثر در بهبود عملکرد شناختی، روانی و جسمانی ورزشکاران استفاده شده است. در این پژوهش، با استفاده از فراتحلیل به بررسی اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران پرداخته شد. **مواد و روش‌ها:** پژوهش حاضر، مطالعه‌ی مروری از نوع فراتحلیل می‌باشد. در مرحله‌ی اول پژوهش، تمامی پژوهش‌های فارسی و انگلیسی انجام‌شده در زمینه‌ی اثربخشی تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر عملکرد ورزشکاران، مرور نظام‌مند شدند (۴۷۴ مطالعه) و از میان آن‌ها، پژوهش‌های دارای ملاک‌های فراتحلیل، توسط نرم‌افزار جامع فراتحلیل بررسی شدند (۲۶ مطالعه). در مرحله‌ی دوم، یک الگوی مداخله‌ای ویژه ورزشکاران بر اساس مؤلفه‌های مختلف تأثیرگذار بر عملکرد، تدوین شد. **یافته‌ها:** یافته‌های پژوهش نشان داد که میزان اندازه‌ی اثر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای (Cohen's  $d=1/187$ ) طبق جدول کوهن ( $Cohen's\ d>0/8$ ) زیاد می‌باشد، لذا تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای با بهبود عملکرد ورزشکاران مرتبط است. در مرحله‌ی دوم، عوامل اثرگذار بر بهبود عملکرد ورزشکاران به‌دنبال تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای، در قالب یک الگوی مداخله‌ای ویژه ورزشکاران تدوین شد. **نتیجه‌گیری:** یافته‌های این فراتحلیل اندازه‌ی اثر بزرگ تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای را بر بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران نشان داد.

## واژه‌های کلیدی:

- ۱- ادراک
- ۲- تحریک پذیری قشر مغز
- ۳- عملکرد ورزشی

\*نویسنده مسئول: امین امینی

پست الکترونیک: a.amini2087@gmail.com

## مقدمه

این تغییرات هم در افراد غیر ورزشکار و هم در ورزشکاران که در طول برنامه‌های آموزشی خود از tDCS استفاده کرده‌اند مشاهده شده است (۲۶-۲۹، ۲۳، ۲۰). لذا این احتمال وجود دارد که tDCS یک منبع مؤثر ارگونومیک برای بهبود کارکردهای شناختی، روانشناختی و فیزیولوژیکی مؤثر بر افزایش آمادگی بدنی، شناختی و رفتاری جهت بهبود عملکرد ورزشکاران باشد. بنابراین کاربرد تحریک جریان مستقیم (tDCS) از استفاده محدود آزمایشگاهی به جامعه گسترده‌تر منتقل شده است. این شکل از تحریک غیرتهاجمی مغز در برخی از آزمایش‌های کنترل شده بر روی حیوان و انسان، طی تقریباً پنج دهه، برای تعدیل فیزیولوژی مغز، کارکردهای شناختی و رفتاری مورد بررسی قرار گرفته است. در حالی که اثرات tDCS، از فردی به فرد دیگر متغیر به نظر می‌رسد، با این وجود تحقیقات نشان داده‌اند که tDCS توانایی بالقوه‌ای در بهبود عملکرد اجرایی مغز و حتی بدن دارد. این بهبود به‌ویژه در عرصه ورزش که محققان همواره به دنبال یافتن بهترین روش‌های مداخله‌ای برای بهبود عملکرد ورزشکاران هستند تا آن‌ها بتوانند با کمترین تلاش و بیشترین بازدهی به سمت موفقیت حرکت کنند و عملکردی بهینه از طریق مداخله‌ای ایمن، نسبتاً ارزان و در دسترس به دست آورند، با اهمیت است. اکنون این دیدگاه مطرح است که tDCS می‌تواند برای افزایش عملکرد شناختی و جسمانی در ورزش مورد استفاده قرار گیرد (۳۵-۳۰). تحقیقات مختلف تلاش کرده‌اند تا از طریق مدل‌سازی، تصویربرداری مغز، ثبت درون جمجمه‌ای، و مطالعات فیزیولوژیکی نشان دهند که جریان الکتریکی حاصل از tDCS می‌تواند به جمجمه نفوذ کند و بر بافت عصبی و عروق تأثیر بگذارد (۴۴-۳۶، ۱۶). روش ایده‌آل برای اطمینان از این که تنها مقدار کمی جریان از جمجمه عبور می‌کند، این است که از طریق الکتروانسفالوگرام، عبور جریان الکتریکی را در جهت معکوس بررسی کنیم (۴۵). نکته مهم دیگر این است که در شرایط آزمایشگاهی، مشخصات ایمنی tDCS، به‌ویژه در افراد مبتلا به اختلالات عصبی و سایر اختلالات بسیار مناسب گزارش شده است (۴۶، ۳۳). البته باید به این موضوع اشاره کرد که ایمنی این دستگاه برای استفاده مکرر و طولانی مدت در افراد سالم هنوز تأیید نشده است، لذا در کاربرد طولانی مدت آن باید احتیاط نمود (۴۷، ۱۵). از این رو امروزه هم‌زمان با گسترش کاربرد tDCS در شرایط خارج از آزمایشگاه و شرایط کنترل شده، تا حدودی نگرانی‌هایی توسط برخی محققان اشاره شده است. با این وجود اخیراً شاهد انتشار گزارش‌هایی هستیم که معتقدند tDCS حتی می‌تواند توسط خود افراد اجرا شود (۴۸).

<sup>1</sup> Ergogenic

عملکرد ورزشی تحت تأثیر بسیاری از عوامل شناختی (مانند توانایی یادگیری، تصمیم‌گیری و خلاقیت)، عوامل روانی (مانند مدیریت هیجان، کنترل استرس و اضطراب) و عوامل جسمانی (مانند قدرت و استقامت عضلات) قرار دارد (۷-۱). از طرفی در زمینه‌های آمادگی جسمانی و عملکرد ورزشی، انواع مختلفی از مکمل‌های ارگونومیک<sup>۱</sup> برای بهبود توانایی عملکردی شناخته شده است، و شاهد استفاده گسترده از آن‌ها در میان افراد غیر ورزشکار و حتی ورزشکارانی هستیم که به دنبال رسیدن به اوج عملکرد می‌باشند (۹-۸). در سال‌های اخیر، دانشمندان علوم ورزشی شروع به مطالعه مغز به‌عنوان فرمانده اصلی بدن نمودند و به دنبال آن بودند تا عملکرد ورزشی را از طریق اعمال روش‌های ایمن توسعه دهند؛ فرایندی که به نظر می‌رسد می‌تواند از طریق توسعه کارکردهای شناختی و به دنبال آن بهبود عملکرد بدن دنبال نمود. حال سؤال اینجا بود که چگونه مغز می‌تواند عملکرد بدن را محدود کند یا بهبود بخشد و به‌طور کلی آن را تنظیم کند (۱۰). در واقع بر طبق نظریه‌های شناختی، مداخلات شناختی به‌عنوان عوامل مؤثر در بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران متشکل از سه نظام اثر پذیرد کارکردی شناختی، روانشناختی و فیزیولوژیکی در نظر گرفته می‌شود که واکنش‌های بدنی، شناختی و رفتاری ورزشکاران را متأثر می‌کند (۱۲-۱۱). تاکنون، چندین مطالعه نیز نقش اساسی مغز را در تعیین موفقیت‌های ورزشی نشان داده‌اند؛ بنابراین، توسعه روش‌های نوآورانه برای کمک به عملکرد ورزشی بسیار مورد توجه است (۱۵-۱۰). یکی از این روش‌ها استفاده از تحریک جریان مستقیم از طریق جمجمه (tDCS) است. tDCS یک تکنیک غیرتهاجمی است که از طریق دپلاریزاسیون پتانسیل استراحت غشا (محرك آندی، a-tDCS) یا مهار قشر (محرك کاتدی، c-tDCS)، جریان الکتریکی ضعیفی را ایجاد می‌کند که قادر است با افزایش قطبش پتانسیل استراحت غشا، باعث تحریک مغزی شود، یعنی افزایش یا کاهش سرعت شلیک خود به خودی سلول‌های عصبی تحت تأثیر جریان الکتریکی قرار می‌گیرد (۱۹-۱۶). در سال‌های اخیر، چندین محقق شروع به بررسی تأثیرات tDCS بر عملکرد بدنی افراد سالم کرده‌اند (۲۳-۲۰). نتایج آن‌ها نشان داده است که tDCS می‌تواند به‌عنوان یک منبع ارگونومیک تعدیل‌کننده عصبی برای افراد سالم مورد استفاده قرار گیرد تا عملکرد بدنی را بهبود بخشد، به‌عنوان مثال منجر به افزایش یادگیری مهارت حرکتی، حافظه کاری و زمان واکنش، قدرت عضلانی و استقامت شود (۲۶-۲۰).

هنگامی که کاتد بر روی منطقه پیشانی قرار گرفت، تغییرات معنی‌دار بود. به همین ترتیب، بوردوچی و همکاران<sup>۱۴</sup> (۲۰۱۶)، دریافتند که اجرای tDCS با ۲ میلی‌آمپر در موقعیت آند بر روی قشر جلوی پیش‌پیشانی پشتی<sup>۱۵</sup>، می‌تواند به‌عنوان یک مزیت رقابتی بالقوه در عملکرد شناختی و افزایش خلق<sup>۱۶</sup> ورزشکاران خبره عمل نماید. در مقابل، فلوود و همکاران<sup>۱۷</sup> (۲۰۱۷) نشان دادند در حالی که tDCS می‌تواند باهدف قرار دادن قشر حسی- حرکتی، ادراک درد هنگام ورزش و خستگی عضلانی اندام تحتانی را در ۱۲ ورزشکار کاهش دهد، با این وجود این مداخلات هیچ تأثیری بر استقامت عضله یا تولید نیروی بیشینه ندارد (۵۶). در همین رابطه گزارش‌های مثبت و منفی دیگری نیز در مورد اثرات tDCS در موقعیت آند در ناحیه MI وجود دارد که می‌تواند به‌عنوان مداخله مؤثر در تقویت عملکرد گروه‌های عضلانی، مانند خم کننده آرنج، در نظر گرفته شود (۶۰-۵۷، ۱۵). همچنین برخی دیگر از مطالعات کنترل نشده نیز مانند پژوهشی که توسط ردون<sup>۱۸</sup> (۲۰۱۶) بر روی تیم اسکی المپیک ایالات متحده، منسفیلد<sup>۱۹</sup> (۲۰۱۶) بر روی بسکتبالیست‌های حرفه‌ای NBA و فالوانس و پاروسرمن<sup>۲۰</sup> (۲۰۱۲) و جارت<sup>۲۱</sup> (۲۰۱۶) بر روی گیم‌های کامپیوتری انجام شد، اثرات مثبت tDCS را نشان دادند (۶۲-۶۱، ۲۸). پژوهشی که در مورد پیشرفت عملکرد ورزشی، توسط برتلوت و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد، این فرضیه که میزان پیشرفت توانایی‌های ورزشی فراتر از مرزهای مورد انتظار، توسط ویژگی‌های فیزیولوژیکی انسان محدود می‌شود را زیر سؤال برد (۶۳). فرض آن‌ها این بود که اگرچه قابلیت‌های جسمانی می‌تواند پیشرفت‌های فنی ورزشکار را محدود کنند، با این وجود یکی از عوامل بالقوه در کاهش ظرفیت پیشرفت، به درک ورزشکاران از میزان تلاش آن‌ها بستگی دارد، که این محدودیت می‌تواند توسط مداخله tDCS در ناحیه MI تعدیل شود و در نتیجه باعث کاهش درک تلاش و استقامت بیشتر ورزشکاران شود (۶۴). خستگی نه تنها باعث کاهش استقامت عضلانی می‌شود، بلکه می‌تواند در تصمیم‌گیری<sup>۲۲</sup>، زمان واکنش و اجرای مهارت نیز اختلال ایجاد کند (۶۶-۶۵). علاوه بر این، tDCS می‌تواند یادگیری حرکتی<sup>۲۳</sup> را افزایش دهد و در نتیجه با افزایش دانش عملی باعث ارتقاء عملکرد حرکتی شود (۶۷). هرچند می‌توان مکانیسم‌های عملکردی tDCS را که منجر به افزایش عملکرد ورزشی می‌شود ارائه نمود، با این حال، چنین فرضیه‌هایی قبل از تصویب و

با این وجود توصیه شده است که استفاده از tDCS با مشارکت و نظارت متخصصان مراقبت‌های بهداشتی انجام گیرد (۳۱). حال موضوع اصلی این است که با این فرض که tDCS ایمن است و می‌تواند فعالیت مغز را به طور گسترده تعدیل کند، اما آیا می‌تواند عملکرد ورزشکاران سطوح مختلف به‌ویژه ورزشکاران خبره را بهبود بخشد. توانایی بهینه‌سازی کنترل عضلات و به حداکثر رساندن سرعت، قدرت یا مدت زمان حرکت برای بسیاری از ورزش‌ها بسیار مهم است (۴۹). در این میان ورزشکاران در پی دستیابی به موفقیت عملکردی، از رویکردهای مختلفی استفاده می‌کنند که به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر مغز تأثیر می‌گذارد. برخی از این رویکردها شامل: مراقبه و تجسم و طب سوزنی است که می‌تواند تأثیرات اساسی بر مغز داشته باشد (۵۲-۵۰). سایر تکنیک‌های جامع شامل موسیقی برای کاهش ادراک تلاش فیزیکی و ابزارهای روانشناختی برای ایجاد انگیزه یا مهار اثرات دارونما است (۵۴-۵۳). بسیاری از ورزشکاران حداقل یکی از این ابزارها را برای بهینه‌سازی عملکرد خود اجرا می‌کنند. با این وجود در همه موارد از نظر علمی ثابت نشده است که همه آن‌ها بی‌خطر هستند. tDCS ممکن است مثال دیگری در این زمینه برای بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران باشد. دستگاه‌های tDCS معمولاً به مدت ۲۰ دقیقه قبل از تمرین فشرده، استفاده می‌شوند. اوکانو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) اثرات ۲۰ دقیقه tDCS در موقعیت آند<sup>۳</sup> را بر روی قشر گیجگاهی سمت چپ<sup>۴</sup> (T3) در دوچرخه‌سواران خبره بررسی نمودند (۲۷). نتایج این پژوهش نشان داد که در طی یک دوره مداخله tDCS، اوج قدرت<sup>۵</sup> دوچرخه‌سواران به طور قابل توجهی بهبود یافت. همچنین کاهش ضربان قلب و درک تلاش در بارهای کاری حداکثر مشاهده شد. کلارک و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۲) نیز در پژوهش خود اثرات tDCS را بر روی الگوی یادگیری ادراکی<sup>۷</sup> (تشخیص شیء<sup>۸</sup> در یک محیط رقابتی شبیه‌سازی شده<sup>۹</sup>) ارزیابی کردند، نتایج آن‌ها نشان دهنده افزایش قابل توجه دقت تشخیص تهدید از طریق مداخله tDCS در حالت آند بر روی قشر جلویی تحتانی سمت راست<sup>۱۰</sup> مغز بود (۵۵). در هر دو مورد، مزایای عملکردی تا حدودی به اثرات tDCS در فرایند ادراکی (کاهش خستگی<sup>۱۱</sup> و بهبود تشخیص تهدید<sup>۱۲</sup>) نسبت داده شد. آنژیوس و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۶) نیز هرچند به دنبال تحریک آند قشر حرکتی (M1) هنگامی که کاتد بر روی شانه مقابل قرار گرفته است، کاهش درک تلاش و افزایش استقامت در دوچرخه‌سواران خبره را گزارش نکردند، اما

<sup>2</sup> Okano

<sup>3</sup> Anode

<sup>4</sup> Left Temporal Cortex

<sup>5</sup> Peak Power

<sup>6</sup> Clarke

<sup>7</sup> Perceptual-Learning Paradigm

<sup>8</sup> Object Detection

<sup>9</sup> Simulated Combat Environment

<sup>10</sup> Right Inferior Frontal Cortex

<sup>11</sup> Reduced Fatigue

<sup>12</sup> Improved Threat Detection

<sup>13</sup> Angius

<sup>14</sup> Borducchi

<sup>15</sup> Left Dorsolateral Prefrontal Cortex

<sup>16</sup> Mood

<sup>17</sup> Flood

<sup>18</sup> Reardon

<sup>19</sup> Mansfield

<sup>20</sup> Falcone And Parasuraman

<sup>21</sup> Jarrett

<sup>22</sup> Decision- Making

<sup>23</sup> Motor Learning

حذف مقالات: مطالعات در صورتی وارد تحقیق می‌شدند که موضوع پژوهش تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای در زمینه بهبود عملکرد ورزشکاران بود؛ همچنین دارای شرایط لازم از نظر روش‌شناسی (فرضیه‌سازی، روش تحقیق، جامعه، حجم نمونه و روش نمونه‌گیری، ابزار اندازه‌گیری، مفروضه‌های آماری، روش تحلیل آماری و صحیح بودن محاسبات آماری) بوده و نتایج پژوهش از طریق سایت‌های معتبر مورد بررسی در این پژوهش قابل دسترسی باشند. ملاک‌های خروج مقالات نیز شامل پژوهش‌هایی که به صورت خلاصه مقاله و یا به صورت مروری و همبستگی انجام شده بودند و مقالاتی که متن کامل آن‌ها وجود نداشت و همچنین مقالاتی که بر اساس سیاهه ارزیابی نقادانه، امتیاز صفر به دست آوردند؛ (داشتن حداقل معیارها برای فراتحلیل (۱) و نداشتن حداقل معیارها برای فراتحلیل (۰) تلقی می‌شد). شیوه استخراج داده‌ها: با استفاده از چک لیست گزینش پژوهش، داده‌های هر مطالعه به طور مستقل استخراج شد. مشخصات ثبت شده از مطالعات شامل نام نویسنده اول، سال انتشار، حجم نمونه، سن و جنس شرکت‌کننده، پروتکل مداخله، محل قرار دادن الکتروود، نوع الکتروود، مدت مداخله، نوع بازخورد، نوع کنترل، عملکرد ورزشی، سطح مهارت ورزشکاران و نوع ورزش بود. جهت فراتحلیل از خلاصه نتایج، میانگین، انحراف معیار (SD) و تعداد شرکت‌کنندگان هر گروه قبل و بعد از مداخله استفاده شد. شیوه تحلیل داده‌ها: پس از استخراج داده‌های مورد نظر (میانگین گروه‌های آزمایش و کنترل، انحراف معیار گروه‌ها و تعداد نمونه در هر گروه)، این داده‌ها به وسیله برنامه فراتحلیل جامع<sup>۲۴</sup> CMA3 و با استفاده از روش فراتحلیل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. بدین ترتیب که آزمون‌های آماری استفاده شده در فرضیات پس از تبدیل به اندازه اثر از طریق فرمول‌های ارائه شده توسط Wolf، با ترکیب اندازه‌های اثر به روش Schmidt and Hunter مورد تحلیل قرار گرفتند (۷۱). همچنین برای تفسیر اندازه اثر از جدول Cohen استفاده شد (۷۲). بنابر ماهیت مطالعات اولیه وارد شده به این فراتحلیل (مطالعات مربوط به تفاوت‌های گروهی) برای محاسبه اندازه اثر از شاخص  $D^{۲۵}$  استفاده شد (۷۳). مراحل کار به این صورت بود که ابتدا از روش محاسبه اندازه اثر تفکیکی برای هر مطالعه، اندازه اثر خلاصه با مدل اثرات تصادفی<sup>۲۶</sup> برای مجموع مطالعات و آزمون‌های تشخیص ناهمگنی استفاده شد. آزمون Q کوکران برای تشخیص معنی‌داری ناهمگنی و شاخص مجذور I برای تعیین میزان ناهمگنی موجود، مورد استفاده قرار گرفت. شاخص مجذور I برای تعیین ناهمگنی در فراتحلیل مناسب است زیرا مقدار ناهمگنی

اجرایی شدن، نیازمند آزمایش‌های دقیق و گسترده است. چالش مهم دانشمندان در جهت تعیین کارایی tDCS در عملکرد ورزشی در شرایط واقعی، ارزیابی ایمنی آن به‌ویژه در شرایط استفاده مکرر است. لذا در همین خصوص برخی سؤالات و نگرانی‌ها در مورد نتایج استفاده از tDCS در شرایط آزمایشگاهی و گاهی نیز درباره کاربرد میدانی آن مطرح شده است. همچنین مسئله دیگر پیش روی محققان، موضوع کاربرد و اثرگذاری tDCS در ورزشکاران همانند افراد غیر ورزشکار سالم و یا دارای محدودیت است. آنچه مشخص است این است که tDCS می‌تواند با بهبود کارکردهای فیزیولوژیکی و شناختی عملکرد حرکتی را در تقویت کند. با وجود چنین مزیت‌های مشخص شده‌ای برای استفاده از tDCS، همچنان چالش دیگری وجود دارد و آن مجوز استفاده از این دستگاه بر روی ورزشکاران خیره است. در این میان، به نظر می‌رسد که tDCS همچنان توسط ورزشکاران رقابتی در سطح خیره با استقبال زیاد روبه‌رو نشود، که این تغییر نگرش نیازمند برنامه‌های تبلیغاتی و البته دریافت تأییدیه‌های علمی است (۷۰-۶۸، ۴۷). لذا آنچه مسلم است برای کاربردی سازی tDCS تحقیقات گسترده‌ای نیاز است و همچنان استفاده از آن در جامعه ورزشی باید با احتیاط انجام شود. از این رو این پژوهش با هدف بررسی این سؤال پژوهشی انجام شد که آیا فنون تحریک الکتریکی مستقیم فراجمعه‌ای منجر به بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران می‌شود یا خیر؟

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش از فراتحلیل مرکب جهت جمع‌آوری، ترکیب و خلاصه کردن یافته‌های پژوهشی مرتبط با تأثیر تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای بر عملکرد ورزشکاران استفاده شده است. در فراتحلیل، اصل اساسی محاسبه اندازه اثر برای تحقیقات مجزا و برگرداندن آن‌ها به یک ماتریس مشترک و آن‌گاه ترکیب آن‌ها برای دستیابی به میانگین تأثیر می‌باشد. جامعه آماری: جامعه آماری این پژوهش در مرحله مرور نظام‌مند، تمامی مقالات مربوط به موضوع و نمایه شده در پایگاه‌های داده PubMed، Cochrane da-Scopus، Science Direct، Google Scholar، Magiran، SID، Psych info، tabase بود. همچنین محدوده زمانی در نظر گرفته شده برای جستجوی مقالات از تاریخ ۲۰۱۰/۰۹/۰۱ تا ۱۳۸۹/۰۶/۱۰ (۲۰۲۰/۰۹/۰۱ تا ۱۳۹۹/۰۶/۱۱) می‌باشد. کلید واژه‌های استفاده شده شامل عبارت تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای، همراه با ورزش، عملکرد ورزشی و ورزشکار بود. غربال منابع مقالات انتخاب شده و بررسی‌های مربوطه توسط دو نویسنده به صورت مستقل انجام شد. معیار انتخاب و

<sup>24</sup> Comprehensive Meta-Analysis

<sup>25</sup> Standardized Mean Difference (SMD)

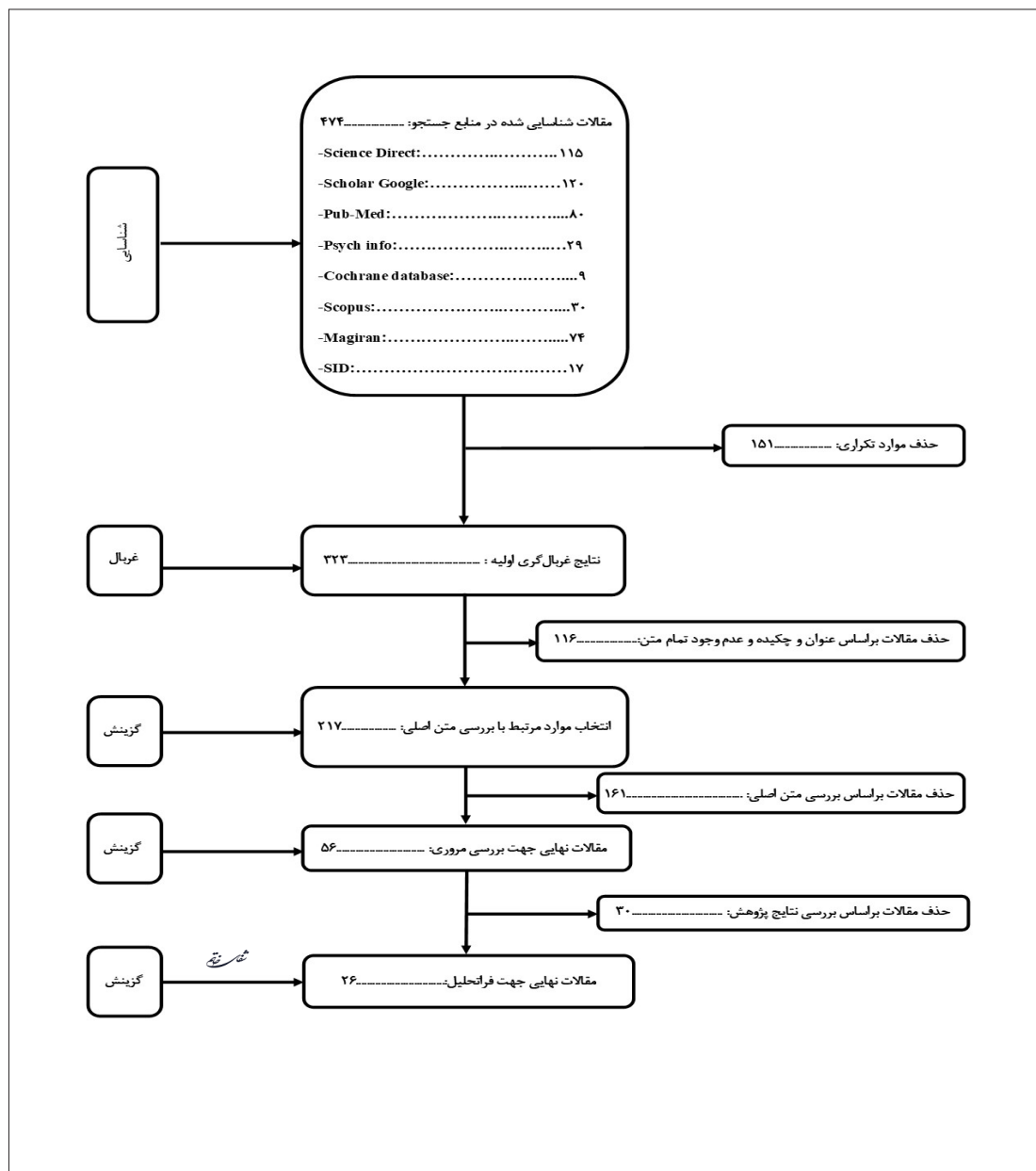
<sup>26</sup> Random Effects Model

روش الگویابی معادلات ساختاری (SEM) اعمال گردید.

### یافته‌ها

بر اساس مرور نظام‌مند که از پیش نیازهای فراتحلیل است، مطالعات بر اساس یک الگوی ارزیابی دقیق (سیاهه ارزیابی مقالات) مورد بررسی قرار گرفت و مقالات مناسب شناسایی و وارد مرور فراتحلیل شد. در تصویر ۱، ابتدا روند جستجو و جمع‌آوری منابع پرداخته شده است که عبارت است از: مقالات شناسایی شده در منابع جستجو (۴۷۴)، حذف موارد تکراری (۱۵۱)، نتایج غربال‌گری اولیه (۳۲۳)، حذف مقالات براساس عنوان و چکیده و عدم وجود تمام متن (۱۱۶)، انتخاب موارد مرتبط با بررسی متن اصلی (۲۱۷)، حذف مقالات براساس بررسی متن اصلی (۱۶۱)، مقالات نهایی جهت بررسی مروری (۵۶)، حذف مقالات براساس بررسی نتایج پژوهش (۳۰) و سپس فراتحلیل (۲۶) مقالات نهایی انجام شد. در

را بدون تأثیر پذیری از حجم نمونه، نشان می‌دهد (۷۴). علاوه بر بررسی ناهمگنی در فراتحلیل، لازم است سوگیری انتشار نیز بررسی شود. بنابراین، ابتدا سوگیری انتشار با استفاده از نمودار کیفی<sup>۲۷</sup> بررسی شد و سپس برای رفع ناهمگنی و سوگیری انتشار احتمالی، اندازه‌های اثر پرت یا افراطی از طریق تحلیل حساسیت<sup>۲۸</sup> شناسایی و حذف شدند. در نهایت برای پاسخ‌گویی به سؤال‌های تحقیق، ابتدا اندازه اثر ترکیبی مطالعات اولیه به تفکیک نوع مداخله، معیارهای عملکرد ورزشی مورد استفاده، نوع ورزش براساس تیمی یا انفرادی بودن و سطح مهارتی ورزشکاران مختلف محاسبه شد و سپس تفاوت‌های مشاهده شده از طریق آنالیز واریانس یک‌طرفه در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ آزمون شدند. در نهایت جهت آزمون هم‌زمان انگاره اثربخشی مفروض‌ها در پژوهش حاضر،



تصویر ۱- روند جستجو و جمع‌آوری منابع جهت فراتحلیل

<sup>27</sup> Funnel Chart

<sup>28</sup> Sensitivity Analysis

الکترودها نیز عمدتاً شامل نقاط C3/ C4/ Cz/ DLP- شاخص‌های FC/ Fp2/ FP1/ T3/ F3/ F4/ P4/ Oz ارزیابی عملکرد ورزشکاران شامل زمان واکنش، گشتاور حرکتی، ادراک درد، استدلال، استقامت عضلانی، اضطراب، انگیزه موفقیت، آستانه درد، توان، حافظه کاری، خستگی عضلانی، چرخش ذهنی، حافظه دیداری- فضایی، دقت عملکرد، زمان پاسخ، چرخش ذهنی، سرعت حرکت، فراخنای حافظه، و قدرت عضلانی بودند. هرچند ۷۹/۱۸ درصد از مطالعات از گروه کنترل در پژوهش خود استفاده نمودند با این وجود تنها ۱۵ درصد مطالعات از یک گروه کنترل فعال/ دارونما استفاده کرده بودند.

### نتایج مرور نظام‌مند

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مقالات منتشر شده توسط محققین در زمینه تأثیر تحریک الکتریکی فراجمه‌ای بر عملکرد ورزشکاران، ۵۶ مقاله بود. در جدول ذیل خلاصه نتایج حاصل از مرور نظام‌مند مقالات منتشرشده، ارائه شده است.

ادامه، مقالات مرتبط با تحریک الکتریکی فراجمه‌ای شناختی و اندازه اثر مطالعات بیان شده است.

### ویژگی‌های مطالعات

مشخصات اصلی ۵۶ مطالعه بررسی شده در جدول ۱ خلاصه شده است. این مطالعات بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ منتشر شده‌اند. حجم نمونه پژوهش‌ها از ۶ تا ۶۰ نفر و در مجموع ۱۲۲۳ نفر با میانگین ۲۲/۲۴ نفر بود. میانگین سنی شرکت‌کنندگان نیز ۲۲/۹۲ سال بود. نسبت جنسیت شرکت‌کنندگان هم ۱۲/۷۳ درصد زن و ۴۹/۱ درصد مرد، ۳۶/۳۷ درصد مرد و زن بودند. رشته ورزشی شرکت‌کنندگان عمدتاً شامل بسکتبال، پاورلیفتینگ، تیراندازی، خلبانی هواپیما، دوومیدانی، دوچرخه‌سواری، ورزش‌های همگانی، و هندبال بود. شرکت‌کنندگان، در تمام سطح مهارت‌ها، از مبتدی (۳۴/۷۸ درصد)، نیمه خبره (۳۴/۷۸ درصد) تا خبره (۳۰/۴۴ درصد) بودند. تعداد جلسات مداخله‌ای از ۱ تا ۶ جلسه با میانگین ۲/۳۶ جلسه و مدت زمان جلسات ۱۰ تا ۵۰ دقیقه با میانگین ۱۸/۰۱ دقیقه در هر جلسه بود. مکان قرار دادن

جدول ۱- مشخصات مقالات منتشرشده توسط محققین در زمینه تحریک الکتریکی فراجمه‌ای بر بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران

پژوهشگر	سال	مکان الکترود	نوع الکترود	پروتکل	تعداد جلسات	مدت مشاهده	کنترل شرایط	تعداد نمونه	جنس نمونه	ارزیابی عملکرد	سطح ورزشکار	نوع ورزش
Wertheim & et al. (۷۵)	۲۰۲۰	DLPFC	آندال و مرجع	الکتروند اندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ/ راست	۱	۲۰	با گروه کنترل	۵۱	مرد	پاسخ‌های فیزیولوژیکی و رویی در حین ورزش	مبتدی	همگانی
Grandperrin & et al. (۷۶)	۲۰۲۰	C4 / DLPFC	آندال و مرجع	الکتروند اندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ/ الکتروند اندی فشر حرکتی راست	۳	۵۰	با گروه کنترل	۵۰	مرد	قدرت و استقامت عضلانی	خبره	دوچرخه‌سواری
Mesquita & et al. (۷۷)	۲۰۱۹	C3 / C4 / DLPFC	آندال و مرجع	الکتروند اندی فشر حرکتی اولیه و الکتروند کاندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ	۱	۱۵	با گروه کنترل	۱۹	مرد و زن	سرعت ضربه	نیمه خبره	تکواندو
Seidel & et al. (۷۸)	۲۰۱۹	C3 / C4	آندال و مرجع	الکتروند اندی فشر حرکتی اولیه دوطرفه و جفت الکتروند مخالف بر روی شانه‌های همان طرف	۱	۲۰	با گروه کنترل	۴۶	مرد و زن	زمان واکنش	نیمه خبره	فوتبال هندبال
Lattari & et al. (۷۹)	۲۰۱۹	DLPFC	آندال و مرجع	الکتروند اندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ	۱	۲۰	با گروه کنترل	۱۵	مرد و زن	قدرت عضلانی	مبتدی	همگانی
Frazer & et al. (۸۰)	۲۰۱۹	C3	آندال و مرجع	الکتروند اندی فشر حرکتی اولیه چپ	۱	۲۰	با گروه کنترل	۱۳	مرد و زن	قدرت ایزومتریک	نیمه خبره	همگانی
Holgado & et al. (۸۱)	۲۰۱۹	DLPFC	آندال کاندال	الکتروند اندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ و الکتروند کاندی بالای شانه	۳	۲۰	با گروه کنترل	۳۶	مرد	استقامت عضلانی	خبره	دوچرخه‌سواری
Park & et al. (۸۲)	۲۰۱۹	C3 / C4 / Cz	آندال و مرجع	الکتروند اندی فشر حرکتی اولیه	۱	۲۰	بدون گروه کنترل	۱۰	مرد و زن	سرعت دویدن و تغییر ضربان قلب	خبره	دوچرخه‌سواری
Ciccione & et al. (۸۳)	۲۰۱۹	T3	آندال و مرجع	الکتروند اندی فشر تمپورال چپ	۵	۱۵	با گروه کنترل	۲۰	مرد	خستگی ایزومتریک	نیمه خبره	همگانی
Ota & et al. (۸۴)	۲۰۱۹	DLPFC	آندال کاندال	الکتروند اندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ/ راست و الکتروند کاندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ/ الکتروند اندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ و الکتروند کاندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ/ راست	۲	۲۰	با گروه کنترل	۳۰	مرد	تصمیم‌گیری‌های حرکتی	نیمه خبره	همگانی
Angius & et al. (۸۵)	۲۰۱۹	DLPFC / Fp2	آندال و مرجع	الکتروند اندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ/ الکتروند کاندی فشر پیش‌پیشانی راست	۱	۳۰	با گروه کنترل	۱۲	مرد و زن	بازداری پاسخ	نیمه خبره	دوچرخه‌سواری
Kamali & et al. (۸۶)	۲۰۱۹	DLPFC	آندال کاندال	الکتروند اندی فشر پیش‌پیشانی خلفی چپ/ راست و الکتروند کاندی فشر پیش‌پیشانی خلفی	۲	۲۰	با گروه کنترل	۱۶	مرد و زن	رکورد تیراندازی	خبره	تیراندازی

ممنون

پارامتر	نوع	شرح	جنسیت	تعداد	گروه	کنترل	تعداد	گروه	کنترل	شرح	مرجع	سال	نویسندگان
پاورلیفتینگ	خبره	استدلال، حافظه و توانایی کلامی	مرد و زن	۶	با گروه کنترل	۱۲	۱۳	۲	۱۳	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / الکتروند آندی فشر تمپورال چپ	آندال و مرجع	۲۰۱۹	Kamali & et al.(۸۷)
دوچرخهسواری	خبره	سرعت حرکت زمان واکنش (RT) و دقت (ACC)	مرد و زن	۲۶/۳	بدون گروه کنترل	۹	۲۰	۵	۲۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / الکتروند آندی فشر تمپورال چپ	آندال و مرجع	۲۰۱۹	Huang & et al.(۸۸)
همگامی	مبتدی	ارزیابی عصبی-عضلانی	مرد	۲۵/۶	با گروه کنترل	۱۲	۱۰	۶	۱۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / دوطرفه و جفت الکتروند مخالف بر روی شانه‌های همان طرف	آندال، کاتدال	۲۰۱۸	Angius & et al.(۲۳)
شنا	خبره	ضربان قلب و حالت خلق و خو	مرد	۲۴	بدون گروه کنترل	۸	۲۰	۱	۲۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / دوطرفه و جفت الکتروند مخالف بر روی شانه‌های همان طرف	آندال و مرجع	۲۰۱۸	Valenzuela & et al.(۸۹)
فوتبال	خبره	قدرت عضلات چهار سر ران	مرد و زن	۲۴	با گروه کنترل	۲۰	۱۵	۴	۱۵	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه	آندال و مرجع	۲۰۱۸	Vargas & et al.(۹۰)
دوچرخهسواری	خبره	استقامت عضلانی	مرد	۲۳/۱	با گروه کنترل	۳۶	۲۰	۳	۲۰	الکتروند آندی فشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی چپ	آندال، کاتدال	۲۰۱۸	Holgado & et al.(۹۱)
هندبال	خبره	قدرت عضلانی ایزومتریک	زن	۱۶/۱	با گروه کنترل	۱۶	۲۰	۳	۲۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه و الکتروند کانندی فشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی	آندال و مرجع	۲۰۱۷	Hazim & et al.(۹۲)
همگامی	مبتدی	قدرت عضلانی	مرد	۲۷	با گروه کنترل	۱۱	۲۰	۱	۲۰	الکتروند آندی فشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی	آندال و مرجع	۲۰۱۸	Lattari & et al.(۹۴)
همگامی	مبتدی	پاسخ‌های فیزیولوژیکی و روانی را در حین ورزش	زن	۱۹/۶	بدون گروه کنترل	۱۳	۲۰	۱	۲۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / دوطرفه و جفت الکتروند مخالف بر روی شانه‌های همان طرف	آندال و مرجع	۲۰۱۷	Okano & et al.(۹۳)
همگامی	مبتدی	انعطاف‌پذیری مفصل	مرد	۲۳	بدون گروه کنترل	۸	۱۰	۱	۱۰	الکتروند آندی فشر حسی-حرکتی	آندال، کاتدال	۲۰۱۷	Mizuno & et al.(۹۴)
همگامی	مبتدی	قدرت عضلانی	زن	۲۵	با گروه کنترل	۱۵	۲۰	۳	۲۰	الکتروند آندی فشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی	آندال و مرجع	۲۰۲۰	Lattari & et al.(۹۲)
همگامی	مبتدی	حداکثر انقباضات ارادی	مرد	۲۴	با گروه کنترل	۴۴	۲۰	۱	۲۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه و الکتروند کانندی فشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی	آندال و مرجع	۲۰۱۷	Radel & et al.(۹۵)
همگامی	مبتدی	چابکی دست	زن	۲۵	با گروه کنترل	۳۱	۱۵	۱	۱۵	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه	آندال و مرجع	۲۰۱۷	Pixa & et al.(۹۶)
همگامی	نیمه خبره	ادراک درد	مرد و زن	۲۱/۶	با گروه کنترل	۱۲	۲۰	۱	۲۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه	آندال و مرجع	۲۰۱۷	Flood & et al.(۵۶)
همگامی	مبتدی	خستگی عصبی عضلانی	مرد و زن	۲۸	با گروه کنترل	۲۲	۱۰	۲	۱۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / چپ و الکتروند کانندی بالای شانه	آندال و مرجع	۲۰۱۶	Abdelmoula & et al.(۵۸)
همگامی	مبتدی	قدرت عضلانی	مرد	۲۴/۴	بدون گروه کنترل	۱۰	۲۰	۳	۲۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / دوطرفه و جفت الکتروند مخالف بر روی شانه‌های همان طرف	آندال و مرجع	۲۰۱۶	Lattari & et al.(۲۱)
همگامی	مبتدی	استقامت عضلانی	زن	۲۳	بدون گروه کنترل	۱۰	۲۰	۳	۲۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / دوطرفه و جفت الکتروند مخالف بر روی شانه‌های همان طرف	آندال و مرجع	۲۰۱۶	Lattari & et al.(۲۰)
دوچرخهسواری	خبره	استقامت عضلانی	مرد	۲۶/۵	بدون گروه کنترل	۶	۲۰	۲	۲۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / سمت چپ	آندال و مرجع	۲۰۱۶	Barwood & et al.(۹۷)
هندبال	نیمه خبره	استقامت عضلانی	مرد	۲۶/۵	بدون گروه کنترل	۹	۱۰	۲	۱۰	الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه / چپ و الکتروند کانندی فشر پیش‌پیشانی راست / الکتروند آندی فشر حرکتی اولیه چپ و الکتروند کانندی بالای شانه	آندال و مرجع	۲۰۱۶	Angius & et al.(۹۸)
همگامی	نیمه خبره	عملکرد ایزومتریک عضلانی	مرد و زن	۲۳	با گروه کنترل	۱۹	۲۰	۵	۲۰	الکتروند آندی فشر تمپورال سمت چپ	آندال و مرجع	۲۰۱۶	Magalhães & et al.(۹۹)

شفاخته

خلیایی	خبره	حافظه کاری	مرد	۲۳	۲۲	با گروه کنترل	۲۰	۴	الکترواندی فشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی راست و فشر حرکتی چپ	آندال و مرجع	DLPFC / C3	۲۰۱۶	Choe & et al.(۱۰۰)
دوچرخه‌سوار	نیمه خبره	حداکثر توان هوازی	مرد	۲۵/۱	۱۰	بدون گروه کنترل	۲۰	۲	الکترواندی فشر تمپورال چپ	آندال و مرجع	T3	۲۰۱۵	Okano & et al.(۱۷)
همگنی	مبتدی	افزایش تحریرپذیری	زن	۳۸	۲۴	با گروه کنترل	۱۵	۶	الکترواندی فشر حرکتی اولیه و الکترواندی فشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی	آندال و مرجع	C3 / C4 / DLPFC	۲۰۱۵	Hendy & et al.(۱۰۱)
دوچرخه‌سواری	خبره	استقامت عضلانی	مرد	۲۳	۱۱	با گروه کنترل	۱۳	۲	الکترواندی فشر حرکتی اولیه	آندال، آندال	C3 / C4	۲۰۱۵	Vitor-Costa & et al.(۶۴)
همگنی	مبتدی	قدرت عضلانی	مرد	۳۳	۱۴	با گروه کنترل	۲۰	۱	الکترواندی فشر حرکتی اولیه	آندال و مرجع	C3 / C4	۲۰۱۵	Montenegro & et al.(۱۰۲)
همگنی	نیمه خبره	ادراک حسنگی	مرد	۲۶	۱۳	با گروه کنترل	۱۵	۱	الکترواندی فشر حرکتی اولیه چپ	آندال و مرجع	C3	۲۰۱۵	Ayres Montenegro & et al.(۱۰۳)
همگنی	نیمه خبره	ادراک درد	مرد	۲۴	۹	بدون گروه کنترل	۱۵	۳	الکترواندی فشر حرکتی چپ و الکترواندی فشر پیش‌پیشانی راست/ الکترواندی فشر حرکتی چپ و الکترواندی فشر بالایی شانه	آندال و مرجع	C3 / FP2	۲۰۱۵	Angius & et al.(۱۰۴)
همگنی	مبتدی	انعطاف‌پذیری فشر حرکتی	مرد و زن	۲۶	۳۰	با گروه کنترل	۲۰	۳	الکترواندی فشر پیش‌پیشانی چپ و الکترواندی فشر پیش‌پیشانی راست	آندال، آندال	F3 / FP2	۲۰۱۳	Hendy & et al.(۱۰۵)
همگنی	مبتدی	حداکثر قدرت انقباضی ایزومتریک	مرد و زن	۲۸	۳۰	با گروه کنترل	۱۰	۱	الکترواندی فشر حرکتی اولیه راست و الکترواندی فشر روی شانه راست	آندال و مرجع	C4	۲۰۱۳	Kan & et al.(۵۹)
همگنی	مبتدی	حسنگی عصبی عضلانی	مرد	۲۳	۱۵	با گروه کنترل	۱۰	۱	الکترواندی فشر پیش‌پیشانی خلفی جانبی	آندال و مرجع	DLPFC	۲۰۱۳	Muthalib & et al.(۶۰)
همگنی	نیمه خبره	حسنگی عضلانی	مرد و زن	۲۸	۱۸	با گروه کنترل	۲۰	۱	الکترواندی فشر حرکتی اولیه/ الکترواندی فشر تمپورال چپ	آندال و مرجع	C3 / T3	۲۰۱۳	Williams & et al.(۶۵)
همگنی	نیمه خبره	قدرت ایزومتریک	مرد	۲۷/۷	۱۲	با گروه کنترل	۱۰	۱	الکترواندی فشر حرکتی اولیه چپ	آندال، آندال	C3	۲۰۱۳	Lampropoulou et al.(۱۰۶)
همگنی	مبتدی جابجای	اضطراب	مرد	۲۷/۷	۲۴	با گروه کنترل	۲۰	۳	الکترواندی فشر حرکتی اولیه راست و الکترواندی فشر پیش‌پیشانی چپ	آندال و مرجع	C4 / FP1	۱۳۹۹	ارسطو و همکاران (۱۰۷)
همگنی	مبتدی جابجای	کنترل پالسجر	مرد و زن	۲۵	۴۵	با گروه کنترل	۲۰	۳	الکترواندی فشر حرکتی اولیه راست و الکترواندی فشر پیش‌پیشانی چپ	آندال و مرجع	C4 / FP1	۱۳۹۹	عربی و همکاران (۱۰۸)
بسکتبال	نیمه خبره	پرتاب آزاد بسکتبال	مرد و زن	۳۲	۴۵	با گروه کنترل	۱۵	۶	الکترواندی فشر حرکتی اولیه چپ و الکترواندی فشر پیش‌پیشانی راست/ الکترواندی فشر بیبایی و الکترواندی فشر حرکتی اولیه	آندال و مرجع	C3 - FP2 / Oz - Cz	۱۳۹۹	مهدی پور و همکاران (۲۴)
همگنی	مبتدی	چرخش ذهنی تصاویر دست و حافظه دیداری خطایی	مرد	۳۱/۵	۵۴	با گروه کنترل	۱۵	۱	الکترواندی فشر پیش‌پیشانی راست و الکترواندی فشر آهیانه راست	آندال و مرجع	F4 / P4	۱۳۹۸	مقدس تبریزی و همکاران (۱۰۹)
همگنی	مبتدی جابجای	زمان واکنش	مرد	۳۷/۵	۲۴	با گروه کنترل	۲۰	۳	الکترواندی فشر حرکتی اولیه راست و الکترواندی فشر پیش‌پیشانی چپ	آندال و مرجع	C4 / FP1	۱۳۹۸	ارسطو و همکاران (۱۱۰)
همگنی	مبتدی	اجرای قدرتی و استقامتی	زن	۲۰	۱۰	بدون گروه کنترل	۱۵	۲	الکترواندی فشر حرکتی اولیه و الکترواندی فشر پیش‌پیشانی راست	آندال و مرجع	C3 / C4 / FP2	۱۳۹۸	نظری پردوستی و همکاران
همگنی	مبتدی	توانایی تصویرسازی	مرد و زن	۲۴/۵	۶۰	با گروه کنترل	۱۵	۵	الکترواندی فشر پیش‌پیشانی راست و	آندال و مرجع	F4 / P4	۱۳۹۷	یابری کاتب و همکاران

وزن	کنترل	گروه	نوع	مداخله	مرجع	سال	نویسندگان
زن	کنترل	با گروه کنترل	۲۰	۲۴	کنترل پالمیر	۱۳۹۷	دلفی و همکاران (۱۱۲)
مرد	کنترل	با گروه کنترل	۲۴	۲۱/۲	حفاظه کاری	۱۳۹۷	ارسطو و همکاران (۱۱۳)
مرد و زن	کنترل	با گروه کنترل	۲۸	۲۴/۵	توجه انتخابی	۱۳۹۶	علیانزاده و همکاران (۱۱۴)
مرد	کنترل	با گروه کنترل	۳۰	۲۱/۵	حفاظه کاری و زمان واکنش	۱۳۹۶	زمینی و همکاران (۱۱۵)

محقق

## نتایج فراتحلیل

مداخلات tDCS بر عملکرد ورزشکاران برای مدل اثرات ثابت برابر با  $(Z=14/487)$  و معنی داری  $(P<0/001)$  است و برای اثرات تصادفی برابر با  $(Z=8/778)$  و معنی داری  $(P<0/001)$  است که نشان دهنده ناهمگونی مطالعات است (۱۱۵). بدین ترتیب فرض صفر مبنی بر این که

جدول ۲ فراتحلیل مطالعات اثر مداخلات tDCS بر عملکرد ورزشکاران در ۲۶ مطالعه را نشان می دهد. میانگین اندازه اثر کلی مطالعات انجام شده در زمینه اثر

جدول ۲- اندازه اثر تحریک الکتریکی فراجسمه ای بر بهینه سازی عملکرد ورزشکاران

پژوهشگر	سال	tDCS			کنترل			وزن مطالعه	کنترل اثر و فاصله اطمینان ۹۵ درصدی
		N	SD	Mean	N	SD	Mean		
Wertheim et al. (۷۵)	۲۰۲۰	۲۶	۵۸۱۶	۵۵۰۹	۲۵	۱۹۶۳	۵۴۴۴	۴/۱۷۸	۰/۱۷۹ [-۰/۴۹۹ و ۰/۵۹۹]
		۲۶	۰/۱۳	۰/۷۲	۲۵	۰/۱۲	۰/۷	۴/۱۶۶	۰/۵۶۹ [-۰/۳۹۰ و ۰/۷۱۰]
		۸	۵/۶	۱/۷۴	۸	۱/۵	۳۵۵	۰/۴۸۶	۴/۴۸۷ [۲/۰۷۴ و ۵/۲۹۳]
Kamali et al. (۸۷)	۲۰۱۹	۸	۳/۱	۱/۱۸	۸	۲/۳	۱۴/۵	۱/۱۶۹	۱/۸۶۷ [-۰/۴۹۹ و ۲/۰۲۷]
		۶	۶۵۲/۴	۳۲۴۴	۶	۴۳۲/۵	۲۴۶۶	۰/۹۰۰	۱/۴۳۱ [-۰/۳۲۰ و ۲/۰۴۷]
		۶	۴/۲	۱۵/۶	۶	۳/۵	۱۹/۱	۰/۸۹۲	۱/۶۹۳ [-۰/۲۸۳ و ۲/۰۹۴]
Park et al. (۸۲)	۲۰۱۹	۱۰	۴/۲۴	۵۲/۲۴	۱۰	۳/۵	۱۶/۳۳	۱/۰۵۴	۳/۷۷۸ [۱/۰۱۴ و ۳/۲۰۰]
		۹	۳۹/۷۳	۵۶۵/۳۵	۹	۲۸/۷۸	۵۶۸/۳۹	۱/۴۷۴	۱/۱۸۶ [-۰/۸۳۷ و ۱/۰۱۲]
Huang et al. (۸۸)	۲۰۱۹	۹	۰/۰۵	۰/۹۲	۹	۰/۰۶	۰/۸۸	۱/۳۸۵	۱/۴۸۸ [-۰/۲۲۹ و ۱/۶۷۸]
		۹	۰/۰۲	۰/۹۶	۹	۰/۰۳	۰/۹۵	۱/۴۴۸	۰/۸۲۴ [-۰/۵۴۱ و ۱/۳۲۵]
Ota et al. (۸۴)	۲۰۱۹	۱۵	۲۵/۶	۲۳۴۵	۱۵	۳۲/۱	۲۳۷۶	۲/۱۵۲	۲/۷۳۶ [-۰/۲۰۳ و ۱/۸۳۳]
		۱۵	۵/۶	۱۶۴/۲۱	۱۵	۱۱/۹	۱۴۹/۱۲	۱/۴۴۲	۴/۹۸۱ [۱/۴۴۱ و ۳/۳۱۰]
Holgado et al. (۹۱)	۲۰۱۸	۱۲	۳۸/۹	۲۳۸/۰۵	۱۲	۴۲/۵	۲۲۹/۴	۱/۹۵۶	۰/۵۱۹ [-۰/۵۹۰ و ۱/۰۱۵]
Angius et al. (۲۳)	۲۰۱۸	۶	۲/۶	۱۴/۳	۶	۳/۱	۱۱/۱	۰/۸۵۱	۱/۸۰۲ [-۰/۹۸۸ و ۲/۳۳۵]
Lattari et al. (۲۶)	۲۰۱۷	۱۱	۰/۳	۸	۱۱	۱/۶	۸/۴	۱/۷۷۷	۰/۸۰۹ [-۰/۱۹۰ و ۰/۴۹۵]
		۱۱	۹/۷۲	۱۹۹/۵	۱۱	۲۳/۱	۱۳۷/۱	۱/۶۹۲	۱/۶۶۸ [-۰/۱۳۷ و ۱/۵۸۸]
		۱۵	۴۵۸/۹	۲۳۴/۲	۱۵	۲۸۷/۶	۱۵۴/۱۸	۱/۶۴۳	۴/۴۴۳ [۱/۱۱۸ و ۲/۵۶۹]
		۱۵	۳۳۵	۱۵۱۹/۴	۱۵	۲۸۷/۶	۱۵۴/۱۸	۲/۴۵۸	۰/۱۹۶ [-۰/۶۴۴ و ۰/۷۸۸]
		۱۵	۱/۰۱	۴/۸	۱۵	۱/۹۶	۴/۹۳	۲/۴۵۷	۰/۲۲۸ [-۰/۶۳۳ و ۰/۷۹۹]
Flood et al. (۵۶)	۲۰۱۷	۱۵	۱/۲۹	۶/۳۳	۱۵	۱/۹۶	۴/۹۳	۲/۲۵۸	۲/۲۱۴ [-۰/۰۹۷ و ۱/۵۹۱]
		۱۲	۱/۷۳	۳۴/۴۸	۱۲	۲/۷۱	۲۳/۹۲	۱/۹۵۳	۰/۶۰۱ [-۰/۵۵۷ و ۱/۰۵۰]
		۱۲	۴/۰۹	۱/۷۲۵	۱۲	۳/۲	۱۵/۳۳	۱/۹۰۲	۱/۲۵۹ [-۰/۲۹۱ و ۱/۳۳۷]
		۱۲	۱/۲۱	۱/۲۳	۱۲	۰/۹۹	۰/۲۶	۱/۷۸۶	۲/۱۰۶ [-۰/۰۶۳ و ۱/۷۴۲]
		۱۲	۹۳/۰۷	۹۳/۰۷	۱۲	۴۴/۲۵	۱۰۰/۲۷	۱/۹۵۹	۰/۴۴۷ [-۰/۶۱۹ و ۰/۹۸۵]
Angius et al. (۹۸)	۲۰۱۶	۹	۱۲۴	۱۹۱	۹	۱۱۴	۱۷۳	۱/۴۷۱	۰/۳۲۰ [-۰/۷۷۴ و ۱/۰۲۶]
		۹	۱۳۶	۲۱۹	۹	۱۱۴	۱۷۳	۱/۴۵۱	۰/۷۷۱ [-۰/۵۶۵ و ۱/۲۹۸]
Abdelmoula et al. (۵۸)	۲۰۱۶	۱۱	۵۲/۸	۱۶۲/۴	۱۱	۴۲/۷	۱۴۶/۶	۱/۷۷۹	۰/۷۶۷ [-۰/۵۱۲ و ۱/۱۷۰]
Sales et al.	۲۰۱۶	۱۰	۲۵/۵	۸۲۵	۱۰	۶۳/۵	۲۴۵	۰/۸۵۳	۴/۱۴۰ [-۰/۳۵۲ و ۳/۷۸۲]
		۱۰	۱۴/۵	۵۳۳	۱۰	۲۰/۵	۲۳۸/۵	۱/۴۳۳	۱/۲۲۳ [-۰/۱۱۳ و ۱/۶۶۳]
Okano et al. (۲۷)	۲۰۱۵	۱۰	۳۹/۹	۳۱۱/۲	۱۰	۱۹/۸	۳۰۱	۱/۵۹۳	۱/۰۶۱ [-۰/۴۰۸ و ۱/۳۷۰]
		۱۰	۷۱/۵	۷۵۱/۴	۱۰	۴۵	۷۲۳/۷	۱/۵۹۷	۱/۰۳۳ [-۰/۴۲۵ و ۱/۵۲۴]
		۱۰	۵۳/۳	۱۴۷/۵	۱۰	۳۵/۴	۱۲۵	۱/۵۹۰	۱/۰۹۵ [-۰/۲۹۴ و ۱/۳۸۷]

محقق

نویسنده	سال	میانگین	SD	N	Mean	SD	N	Mean	SD	P-value	M	P-value	تفسیر
Vitor-Costa et al.(۶۴)	۲۰۱۵	۴۸۵	۳۵/۲	۱۱	۴۱۵	۲۶/۵	۱۱	۲۶/۵	۴۱۵	۱/۴۷۲	۱/۴۷۲	۱/۴۷۲	۱/۴۷۲
Angius et al.(۱۰۴)	۲۰۱۵	۱۱/۵	۱/۳	۹	۷/۶	۱/۵	۹	۱/۵	۷/۶	۰/۷۵۱	۰/۷۵۱	۰/۷۵۱	۰/۷۵۱
Kan et al.(۵۹)	۲۰۱۳	۳۳/۸	۱۲/۴	۱۵	۳۵/۵	۱۴/۸	۱۵	۱۴/۸	۳۵/۵	۲/۴۴۲	۲/۴۴۲	۲/۴۴۲	۲/۴۴۲
Muthalib et al.(۶۰)	۲۰۱۳	۳۳۳	۱۱۹	۱۵	۲۵۲	۱۴۶	۱۵	۱۴۶	۲۵۲	۲/۴۵۲	۲/۴۵۲	۲/۴۵۲	۲/۴۵۲
Williams et al.(۶۵)	۲۰۱۳	۱۵۵۱	۸۲۶/۸	۹	۱۴۹۱	۱۰۱۶/۲	۹	۱۰۱۶/۲	۱۴۹۱	۱/۴۷۵	۱/۴۷۵	۱/۴۷۵	۱/۴۷۵
Lampropoulou et al.(۱۰۶)	۲۰۱۳	۱/۲	۰/۲	۱۲	۱/۸	۰/۶	۱۲	۰/۶	۱/۸	۱/۶۰۶	۱/۶۰۶	۱/۶۰۶	۱/۶۰۶
ارسطو و همکاران (۱۰۷)	۱۳۹۹	۲۶/۹۱	۲/۹۹	۱۲	۲۶/۴۱	۲/۷۵	۱۲	۲/۷۵	۲۶/۴۱	۲/۴۴۶	۲/۴۴۶	۲/۴۴۶	۲/۴۴۶
مهدی پور و همکاران (۲۴)	۱۳۹۹	۴۰/۴۷	۲۲/۲	۱۵	۳۳/۲	۱۸/۵	۱۵	۱۸/۵	۳۳/۲	۱/۴۲۱	۱/۴۲۱	۱/۴۲۱	۱/۴۲۱
مقدس تبریزی و همکاران (۱۰۹)	۱۳۹۸	۱۰۳/۲۱	۷/۲۹	۱۳	۱۶۰/۱۰۴	۲۵/۱۳/۸	۱۳	۲۵/۱۳/۸	۱۶۰/۱۰۴	۰/۸۸۸	۰/۸۸۸	۰/۸۸۸	۰/۸۸۸
		۹۸/۱۳	۲/۲۱	۱۳	۹۵/۲۳	۵/۲۹	۱۳	۵/۲۹	۹۵/۲۳	۲/۰۷۴	۲/۰۷۴	۲/۰۷۴	۲/۰۷۴
		۱۲۳/۴۹	۲۱/۴/۷۷	۱۳	۱۷۴/۶۲۳	۳۰۲/۴۸	۱۳	۳۰۲/۴۸	۱۷۴/۶۲۳	۱/۶۶۷	۱/۶۶۷	۱/۶۶۷	۱/۶۶۷
		۵۹/۲۳	۴/۴۶	۱۳	۹۳/۰۵	۴/۴۶	۱۳	۴/۴۶	۹۳/۰۵	۲/۱۴۶	۲/۱۴۶	۲/۱۴۶	۲/۱۴۶
		۶/۵	۰/۹۴	۱۳	۵/۵۴	۰/۷۷	۱۳	۰/۷۷	۵/۵۴	۱/۹۱۴	۱/۹۱۴	۱/۹۱۴	۱/۹۱۴
		۳۰۳/۷۲	۱۳۱/۸۶	۱۳	۳۵۰/۵/۸۱	۱۵۵/۳۳	۱۳	۱۵۵/۳۳	۳۵۰/۵/۸۱	۰/۹۴۳	۰/۹۴۳	۰/۹۴۳	۰/۹۴۳
ارسطو و همکاران (۱۱۰)	۱۳۹۸	۲۹/۴۵	۳۷/۹۶	۱۲	۳۴/۷۵	۲۶/۶۲	۱۲	۲۶/۶۲	۳۴/۷۵	۱/۶۲۷	۱/۶۲۷	۱/۶۲۷	۱/۶۲۷
		۵۰/۸/۲۵	۷/۶۳۳	۱۲	۵۷/۷/۵	۶۷/۱/۸	۱۲	۶۷/۱/۸	۵۷/۷/۵	۱/۷۵۲	۱/۷۵۲	۱/۷۵۲	۱/۷۵۲
نظری پیردوستی و همکاران	۱۳۹۸	۲۹/۴	۴/۳۷	۱۰	۲۱/۴	۵/۳۴	۱۰	۵/۳۴	۲۱/۴	۱/۲۲۷	۱/۲۲۷	۱/۲۲۷	۱/۲۲۷
		۸۵/۸۳	۲۷/۶/۸۶	۱۰	۶۱/۱۲	۲۴/۹/۱	۱۰	۲۴/۹/۱	۶۱/۱۲	۱/۵۱۱	۱/۵۱۱	۱/۵۱۱	۱/۵۱۱
		۱۷۳	۳۳/۲۴	۱۰	۱۷۶/۶۶	۲۴/۱۹	۱۰	۲۴/۱۹	۱۷۶/۶۶	۱/۶۲۶	۱/۶۲۶	۱/۶۲۶	۱/۶۲۶
		۴۱/۹	۱۱/۲۹	۱۰	۴۶/۱	۱۲/۴	۱۰	۱۲/۴	۴۶/۱	۱/۶۱۴	۱/۶۱۴	۱/۶۱۴	۱/۶۱۴
ارسطو و همکاران (۱۱۳)	۱۳۹۷	۸۱/۶۶	۹/۵۶	۱۲	۵۹/۱۶	۵/۹۹	۱۲	۵/۹۹	۵۹/۱۶	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶
علبدان زاده و همکاران (۱۱۴)	۱۳۹۶	۱۴۳/۶۹	۱۴۶/۶۴	۱۴	۱۷۳/۱/۶	۲۰/۱/۹۵	۱۴	۲۰/۱/۹۵	۱۷۳/۱/۶	۱/۶۸۶	۱/۶۸۶	۱/۶۸۶	۱/۶۸۶
		۱۳۸۱/۰/۷	۱۶۲/۴۹	۱۴	۱۶۰/۳/۷۶	۹۲/۹۲	۱۴	۹۲/۹۲	۱۶۰/۳/۷۶	۱/۶۹۵	۱/۶۹۵	۱/۶۹۵	۱/۶۹۵
		۱۶۲/۳	۷۲/۴۸	۱۴	۱۹۰/۰/۹۲	۱۱۶/۶۷	۱۴	۱۱۶/۶۷	۱۹۰/۰/۹۲	۱/۱۳۱	۱/۱۳۱	۱/۱۳۱	۱/۱۳۱
کل (اندازه ثابت)												M=۰/۹۴۲ و P=۰/۰۰۰	
کل (اندازه تصادفی)												M=۱/۱۸۷ و P=۰/۰۰۰	

جدول ۳- آماره‌های اندازه اثر ثابت و تصادفی فراتحلیل تأثیر تحریک الکتریکی فراجمه‌ای بر بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران

نویسنده	سال	میانگین	SD	N	Mean	SD	N	Mean	SD	P-value	تفسیر
Wertheim & et al.(۷۵)	۲۰۲۰	۵۵/۹	۵/۸۱۶	۲۶	۵۶/۴۴	۱۹/۶۳	۲۵	۱۹/۶۳	۵۶/۴۴	۴/۱۷۸	۴/۱۷۸
Kamali & et al.(۸۷)	۲۰۱۹	۰/۷۲	۰/۱۳	۲۶	۰/۷	۰/۱۲	۲۵	۰/۱۲	۰/۷	۴/۱۶۶	۴/۱۶۶
		۱/۷/۴	۵/۶	۸	۳/۵	۱/۵	۸	۱/۵	۳/۵	۴/۴۸۷	۴/۴۸۷
		۱۱/۸	۳/۱	۸	۱۴/۵	۲/۳	۸	۲/۳	۱۴/۵	۱/۱۶۹	۱/۱۶۹
		۳۳/۴	۶۵/۲/۴	۶	۲۴/۶	۴۳/۵	۶	۴۳/۵	۲۴/۶	۱/۴۳۱	۱/۴۳۱
Park & et al. (۸۲)	۲۰۱۹	۵۲/۲۴	۴/۲۴	۱۰	۱۶/۳۳	۳/۵	۱۰	۳/۵	۱۶/۳۳	۱/۰۵۴	۱/۰۵۴
Huang & et al.(۸۸)	۲۰۱۹	۵۶/۳۵	۳۹/۱۳	۹	۵۶/۳۹	۳۸/۷۸	۹	۳۸/۷۸	۵۶/۳۹	۱/۴۲۴	۱/۴۲۴
		۰/۲	۰/۵	۹	۰/۸	۰/۶	۹	۰/۶	۰/۸	۱/۳۸۸	۱/۳۸۸
Ota & et al.(۸۴)	۲۰۱۹	۰/۹۶	۰/۰۲	۹	۰/۹۵	۰/۰۳	۹	۰/۰۳	۰/۹۵	۱/۴۴۸	۱/۴۴۸
		۲۳/۵	۲۵/۶	۱۵	۲۳/۶	۲۳/۱	۱۵	۲۳/۱	۲۳/۶	۲/۱۵۲	۲/۱۵۲
Holgado & et al.(۹۱)	۲۰۱۸	۲۳/۸/۰/۵	۳/۸/۹	۱۲	۲۲/۹/۴	۴/۲/۵	۱۲	۴/۲/۵	۲۲/۹/۴	۱/۹۵۶	۱/۹۵۶
Angius & et al.(۲۳)	۲۰۱۸	۱۴/۳	۲/۶	۶	۱۱/۱	۳/۱	۶	۳/۱	۱۱/۱	۰/۸۵۱	۰/۸۵۱
Lattari & et al.(۲۶)	۲۰۱۷	۸	۰/۳	۱۱	۸/۴	۱/۶	۱۱	۱/۶	۸/۴	۱/۷۷۷	۱/۷۷۷
		۱۹۹/۵	۹/۷/۲	۱۱	۱۳/۱	۷/۳/۱	۱۱	۷/۳/۱	۱۳/۱	۱/۶۹۲	۱/۶۹۲
		۲۳۴/۰/۲	۴۵۸/۹	۱۵	۱۵۴/۱/۸	۲۸/۷/۶	۱۵	۲۸/۷/۶	۱۵۴/۱/۸	۱/۶۴۲	۱/۶۴۲
		۱۵۱۹/۹	۳۵	۱۵۴/۱/۸	۲۸/۷/۶	۱۵	۲۸/۷/۶	۱۵۴/۱/۸	۲/۴۵۸	۲/۴۵۸	
		۴/۸	۱/۰/۱	۱۵	۴/۳	۱/۹/۶	۱۵	۱/۹/۶	۴/۳	۲/۴۵۷	۲/۴۵۷
		۶/۳۳	۱/۲۹	۱۵	۴/۹۳	۱/۹/۶	۱۵	۱/۹/۶	۴/۹۳	۲/۲۵۸	۲/۲۵۸
Flood & et al.(۵۶)	۲۰۱۷	۲۴/۴۸	۱/۷۲	۱۲	۲۳/۹۲	۲/۷/۱	۱۲	۲/۷/۱	۲۳/۹۲	۱/۹۵۲	۱/۹۵۲
		۱۷/۲۵	۴/۰/۹	۱۲	۱۵/۳۳	۳/۲	۱۲	۳/۲	۱۵/۳۳	۱/۹۰۲	۱/۹۰۲
		۱/۳	۱/۲۱	۱۲	۰/۳۶	۰/۹۹	۱۲	۰/۹۹	۰/۳۶	۱/۷۸۶	۱/۷۸۶
		۹۳/۰/۷	۳۳/۷/۳	۱۲	۱۰/۰/۲۷	۴۴/۲/۵	۱۲	۴۴/۲/۵	۱۰/۰/۲۷	۱/۹۵۹	۱/۹۵۹
Angius & et al.(۹۸)	۲۰۱۶	۱۹۱	۱۲۴	۹	۱۷۳	۱۱۴	۹	۱۱۴	۱۷۳	۱/۴۷۱	۱/۴۷۱
		۲۱۹	۱۳۶	۹	۱۷۳	۱۱۴	۹	۱۱۴	۱۷۳	۱/۴۵۱	۱/۴۵۱
		۱۶۲/۴	۵/۲/۸	۱۱	۱۴۶/۶	۴۲/۷	۱۱	۴۲/۷	۱۴۶/۶	۱/۷۷۹	۱/۷۷۹
Sales & et al.	۲۰۱۶	۸۲۵	۲۵/۵	۱۰	۷۴۵	۶۳/۵	۱۰	۶۳/۵	۷۴۵	۰/۸۵۲	۰/۸۵۲
		۵۳	۱۴/۵	۱۰	۲۳۸/۵	۲۰/۵	۱۰	۲۰/۵	۲۳۸/۵	۱/۴۲۳	۱/۴۲۳
Okano & et al.(۲۷)	۲۰۱۵	۳۱/۱/۲	۲۹/۹	۱۰	۳۰/۱	۱۹/۸	۱۰	۱۹/۸	۳۰/۱	۱/۵۹۳	۱/۵۹۳
		۷۵/۱/۴	۷/۱/۵	۱۰	۷۳/۷	۴۵	۱۰	۴۵	۷۳/۷	۱/۵۹۷	۱/۵۹۷
		۱۴/۷/۵	۵/۳/۳	۱۰	۱۲/۵	۳۵/۴	۱۰	۳۵/۴	۱۲/۵	۱/۵۹۰	۱/۵۹۰

مدل	اندازه اثر و فاصله اطمینان ۹۵ درصدی					آزمون فرض صفر (۲ دامنه)		ناهمگونی				
	تعداد مطالعه	برآورد نقطه‌ای	خطای استاندارد	واریانس	حد پایین	حد بالا	P-value	Z-value	I-squared	P-value	df (Q)	Q-value
Vitor-Costa& et al.(۶۴)	۲۰۱۵	۴۵۰	۲۵/۷	۱۱	۲۶/۵	۴۱/۵	۱۱	۱/۱۰۶	۱۱	۲۶/۵	۴۱/۵	۱/۱۰۶
Angius& et al.(۱۰۴)	۲۰۱۵	۱۱/۵	۱/۳	۹	۷/۶	۱/۵	۹	-۰/۷۵۱	۹	۷/۶	۱/۵	-۰/۷۵۱
Kan& et al.(۵۹)	۲۰۱۳	۳۲/۸	۱۲/۴	۱۵	۳۵/۵	۱۴/۸	۱۵	۲/۴۴۲	۱۵	۱۴/۸	۳۵/۵	۲/۴۴۲
Muthalib& et al.(۶۰)	۲۰۱۳	۳۳۳	۱۱/۹	۱۵	۳۵/۳	۱۶/۶	۱۵	۲/۴۵۲	۱۵	۱۶/۶	۳۵/۳	۲/۴۵۲
Williams& et al.(۶۵)	۲۰۱۳	۱۵۵/۱	۸۲/۸	۹	۱۴۹/۱	۱۶۹/۱	۹	۱/۴۷۵	۹	۱۶۹/۱	۱۴۹/۱	۱/۴۷۵
Lamproulou& et al.(۱۰۶)	۲۰۱۳	۲۰/۳	۰/۲	۱۲	۱/۸	۰/۶	۱۲	۱/۶۰۶	۱۲	۰/۶	۱/۸	۱/۶۰۶
ارسطو و همکاران (۱۰۷)	۱۳۹۹	۲۶/۹۱	۲/۹۹	۱۲	۳۲/۴۱	۳۲/۴۱	۱۲	۱/۴۸۱	۱۲	۳۲/۴۱	۳۲/۴۱	۱/۴۸۱
مهدی‌پور و همکاران (۲۴)	۱۳۹۹	۴۰/۴۷	۲۲/۲	۱۵	۳۳/۲	۱۸/۵	۱۵	۱/۴۲۱	۱۵	۳۳/۲	۱۸/۵	۱/۴۲۱
مقدس تبریزی و همکاران (۱۰۹)	۱۳۹۸	۱۰۳۰/۲۱	۷۰/۲۹	۱۳	۱۶۰/۱۰۴	۲۵۱/۳۸	۱۳	-۰/۹۸۸	۱۳	۲۵۱/۳۸	۱۶۰/۱۰۴	-۰/۹۸۸
		۹۸/۱۳	۲/۲۱	۱۳	۹۵/۲۳	۵/۲۹	۱۳	۲/۰۷۴	۱۳	۵/۲۹	۹۵/۲۳	۲/۰۷۴
		۱۳۲/۴۹	۲۱/۷۷	۱۳	۱۷۴/۶۳	۳۰۲/۴۸	۱۳	۱/۶۶۷	۱۳	۳۰۲/۴۸	۱۷۴/۶۳	۱/۶۶۷
		۵۹/۱۳	۴/۴۶	۱۳	۹۳/۰۵	۴/۴۶	۱۳	۲/۱۴۶	۱۳	۴/۴۶	۹۳/۰۵	۲/۱۴۶
		۶/۵	-۰/۹۴	۱۳	۵/۵۴	-۰/۷۷	۱۳	۱/۹۱۴	۱۳	-۰/۷۷	۵/۵۴	۱/۹۱۴
		۲۰۳/۷۲	۱۳۱/۸۶	۱۳	۲۵۰/۵۸۱	۱۵۵/۳۳	۱۳	-۰/۹۳۳	۱۳	۱۵۵/۳۳	۲۵۰/۵۸۱	-۰/۹۳۳
ارسطو و همکاران (۱۱۰)	۱۳۹۸	۲۹/۴/۵	۳۷/۹۶	۱۲	۳۴/۷/۵	۳۴/۷/۵	۱۲	۱/۶۲۷	۱۲	۳۴/۷/۵	۳۴/۷/۵	۱/۶۲۷
		۵۰/۸/۲۵	۷/۶/۳۳	۱۲	۵۷/۷/۵	۶۷/۱/۸	۱۲	۱/۷۵۲	۱۲	۶۷/۱/۸	۵۷/۷/۵	۱/۷۵۲
		۲۹/۴	۴/۳۷	۱۰	۲۱/۴	۵/۳۴	۱۰	۱/۲۲۷	۱۰	۵/۳۴	۲۱/۴	۱/۲۲۷
نظری پیردوستی و همکاران	۱۳۹۸	۸۵/۸/۳	۲۷/۸/۶	۱۰	۶۱/۱/۲	۲۴/۹/۱	۱۰	۱/۵۱۱	۱۰	۲۴/۹/۱	۶۱/۱/۲	۱/۵۱۱
		۱/۷۳	۳۳/۲/۴	۱۰	۱۷/۶/۶۶	۲۴/۱/۹	۱۰	۱/۶۳۶	۱۰	۲۴/۱/۹	۱۷/۶/۶۶	۱/۶۳۶
		۴۱/۹	۱۱/۲/۹	۱۰	۴/۶/۱	۱/۲/۴	۱۰	۱/۶۱۴	۱۰	۱/۲/۴	۴/۶/۱	۱/۶۱۴
		۸۱/۶/۶	۹/۵/۶	۱۲	۵۹/۱/۶	۵/۹/۹	۱۲	-۰/۹۸۶	۱۲	۵/۹/۹	۵۹/۱/۶	-۰/۹۸۶
ارسطو و همکاران (۱۱۳)	۱۳۹۷	۱۴۳/۶/۹	۱۴۶/۶/۴	۱۴	۱۷۳/۱/۶	۲۰/۱/۹/۵	۱۴	۱/۶۸۶	۱۴	۲۰/۱/۹/۵	۱۷۳/۱/۶	۱/۶۸۶
عبدان زاده و همکاران (۱۱۴)	۱۳۹۶	۱۳۸۱/۰/۷	۱۶۲/۴/۹	۱۴	۱۶۰/۳/۷/۶	۹۲/۹/۲	۱۴	۱/۶۹۵	۱۴	۹۲/۹/۲	۱۶۰/۳/۷/۶	۱/۶۹۵
		۱۶۲/۲/۳	۷۲/۴/۸	۱۴	۱۹۰/۰/۹/۲	۱۱۶/۶/۷	۱۴	۱/۱۲۱	۱۴	۱۱۶/۶/۷	۱۹۰/۰/۹/۲	۱/۱۲۱
کل (اندازه ثابت)												
M=-۰/۹۴۲ و P=۰/۰۰۰												
کل (اندازه تصادفی)												
M=۱/۱۷۸ و P=۰/۰۰۰												
-۲ -۱ ۰ ۱ ۲												
مدل	اندازه اثر و فاصله اطمینان ۹۵ درصدی					آزمون فرض صفر (۲ دامنه)		ناهمگونی				
اثر	تعداد مطالعه	برآورد نقطه‌ای	خطای استاندارد	واریانس	حد پایین	حد بالا	P-value	Z-value	I-squared	P-value	df (Q)	Q-value
ثابت	۲۶	-۰/۸۳۰	-۰/۰۵۷	-۰/۰۰۳	-۰/۷۱۷	-۰/۹۴۲	-۰/۰۰۱	۱۴/۴۸۷	۷۲/۳۹۳	-۰/۰۰۱	۲۵	۲۱۳/۷۱۱
تصادفی	۲۶	-۰/۹۷۰	۱/۱۱	-۰/۰۱۲	-۰/۷۵۴	۱/۱۸۷	-۰/۰۰۱	۸/۷۷۸	۷۲/۳۹۳	-۰/۰۰۱	۲۵	۲۱۳/۷۱۱

همکاران (۱۳۹۸) با (۵/۵۶۴) است. برای بررسی ناهمگونی مطالعات از شاخص Q استفاده شد. شاخص Q برای ۲۶ مطالعه با درجه آزادی ۲۵ برابر با ۲۱۳/۷۱۱ محاسبه شد که در سطح  $P < ۰/۰۰۱$  معنی‌دار است؛ بنابراین فرض صفر مبنی بر همگنی مطالعات رد می‌شود و نتیجه گرفته می‌شود که مطالعات مورد بررسی، نامتجانس و ناهمگون هستند. هرچند تعداد مطالعات کم نیست، با این حال، آماره  $I^2$  نیز محاسبه شد که مقدار آن ۷۲/۳۹۳ است که باز نشان‌گر ناهمگونی بسیار قابل توجه در مطالعات است. بدین ترتیب مطالعات مورد بررسی در یک اندازه اثر حقیقی مشترک هستند و تفاوت‌های اندازه اثر مشاهده شده ناشی از خطای نمونه‌برداری است. از سوی دیگر، محاسبه‌های مربوط به اثر تصادفی معنی‌دار بودند. در مجموع از مدل اثرهای ثابت استفاده و نسبت به جستجوی متغیرهای تعدیل‌کننده اقدام شد. تصادفی یا غیر تصادفی بودن

متوسط کلی اندازه اثر تفاوت ندارد، رد می‌شود. بر اساس کوهن (۱۹۸۸) برای تفسیر معنی‌داری عملی اندازه اثر، ارزش‌های d بالا نشانگر میزان اندازه اثر هستند؛ بنابراین میانگین اندازه اثر ثابت پژوهش حاضر (۰/۹۴۲) را می‌توان به‌عنوان تأثیر بزرگ اثر مداخلات tDCS بر عملکرد ورزشکاران تفسیر کرد (۱۱۶). به‌استثنای مطالعه Wertheim et al (۲۰۲۰)، Kamali (۲۰۱۹)، Huang (۲۰۱۹)، Angi-Holgado (۲۰۱۸)، Lattari (۲۰۱۷)، Flood (۲۰۱۷)، Kan (۲۰۱۶)، Okano (۲۰۱۶)، Abdelmoula (۲۰۱۶)، Muthalib (۲۰۱۳)، Williams (۲۰۱۳) و نظری پیردوستی و همکاران (۱۳۹۸)، اندازه اثر سایر مطالعات مورد بررسی در سطوح ۰/۹۵ تا ۰/۹۹ درصد معنی‌دار هستند و همان‌گونه که پیش‌تر آمد میانگین اندازه اثر کلی تمام این ۲۶ مطالعه، در مدل اثرات ثابت در سطح  $P < ۰/۰۰۱$  معنی‌دار است. بالاترین اندازه اثر در ۲۶ مطالعه مورد بررسی مربوط به مطالعه مقدس تبریزی و

روانشناختی؛ کارکردهای فیزیولوژیکی و نتایج عملکردی ورزشکاران تأثیرگذار است. نمایه پارامترهای ساختاری در خصوص اجرای یک مداخله استاندارد تحریک الکتریکی فراجمجهای برای بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران مبتنی بر فراتحلیل حاضر در ذیل ارائه شده است:

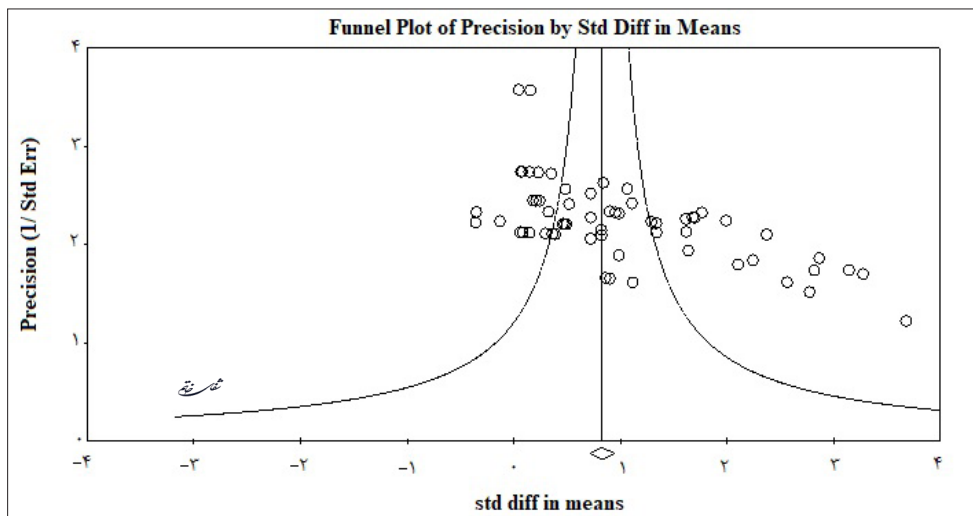
در ادامه، نمایه معادلات ساختاری به دست آمده از نتایج حاصل از تحریک الکتریکی فراجمجهای بر عملکرد ورزشکاران ارائه شده است. همان‌طور که یافته‌های حاصل از فراتحلیل نشان داد، تحریک الکتریکی فراجمجهای بر برخی از متغیرهای مربوط به نتایج عملکردی و همچنین فرایندهای زیربنایی عملکردی همچون کارکردهای شناختی؛ روانشناختی و فیزیولوژیکی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار دارند. جهت آزمودن هم‌زمان انگاره اثربخشی مفروض‌ها در پژوهش حاضر، روش الگویابی معادلات ساختاری<sup>۲۹</sup> (SEM) اعمال گردید. این تحلیل‌های اثربخشی، در قالب مدل متغیرهای مستقل<sup>۳۰</sup> و به‌صورت مدل‌های تحلیل مسیر<sup>۳۱</sup> یک‌طرفه<sup>۳۲</sup> در خصوص اثربخشی چندمتغیری نشان داده شده است. نمودار ذیل الگوی ارائه شده در خصوص تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجهای بر عملکرد ورزشکاران

به‌عنوان متغیر تعدیل‌کننده نتایج در نظر گرفته شد. برای بررسی تورش چاپ و انتشار، نمودار کیفی توسط نرم‌افزار جامع فراتحلیل ترسیم شد و از آزمون N ایمن از خطای کلاسیک استفاده شد. همان‌گونه که نمودار بالا نشان داده شد، پژوهش حاضر تا اندازه‌ای دارای تورش چاپ و انتشار است. این امر می‌تواند ناشی از حجم نمونه مطالعات مورد استفاده باشد. آزمون N ایمن از خطای کلاسیک نیز نشان داد که تفاوت بین مطالعات مشاهده شده (N=۲۶) و مطالعات جا افتاده (N=۴۷۴) قابل توجه است ( $Z=۱۴/۴۸۷$ ,  $P<۰/۰۰۱$ ).

در جدول ۴، تعداد مطالعات تحریک الکتریکی فراجمجهای و میانگین اندازه اثر نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تحریک الکتریکی فراجمجهای با اندازه اثر بزرگ با میانگین اندازه اثر ۰/۹۴۲ به‌عنوان یک روش مداخله‌ای مؤثر بر عملکرد ورزشکاران در مطالعات محسوب می‌شود.

### مدل نظری

مطابق نتایج فراتحلیل حاضر تحریک الکتریکی فراجمجهای بر برخی کارکردهای شناختی؛ کارکردهای



تصویر ۲- نمودار منحنی اندازه اثر مطالعات خطای استاندارد میانگین در مدل اثرات ثابت تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجهای بر بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران

جدول ۴- آماره‌های اندازه اثر تحریک الکتریکی فراجمجهای مؤثر بر بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران

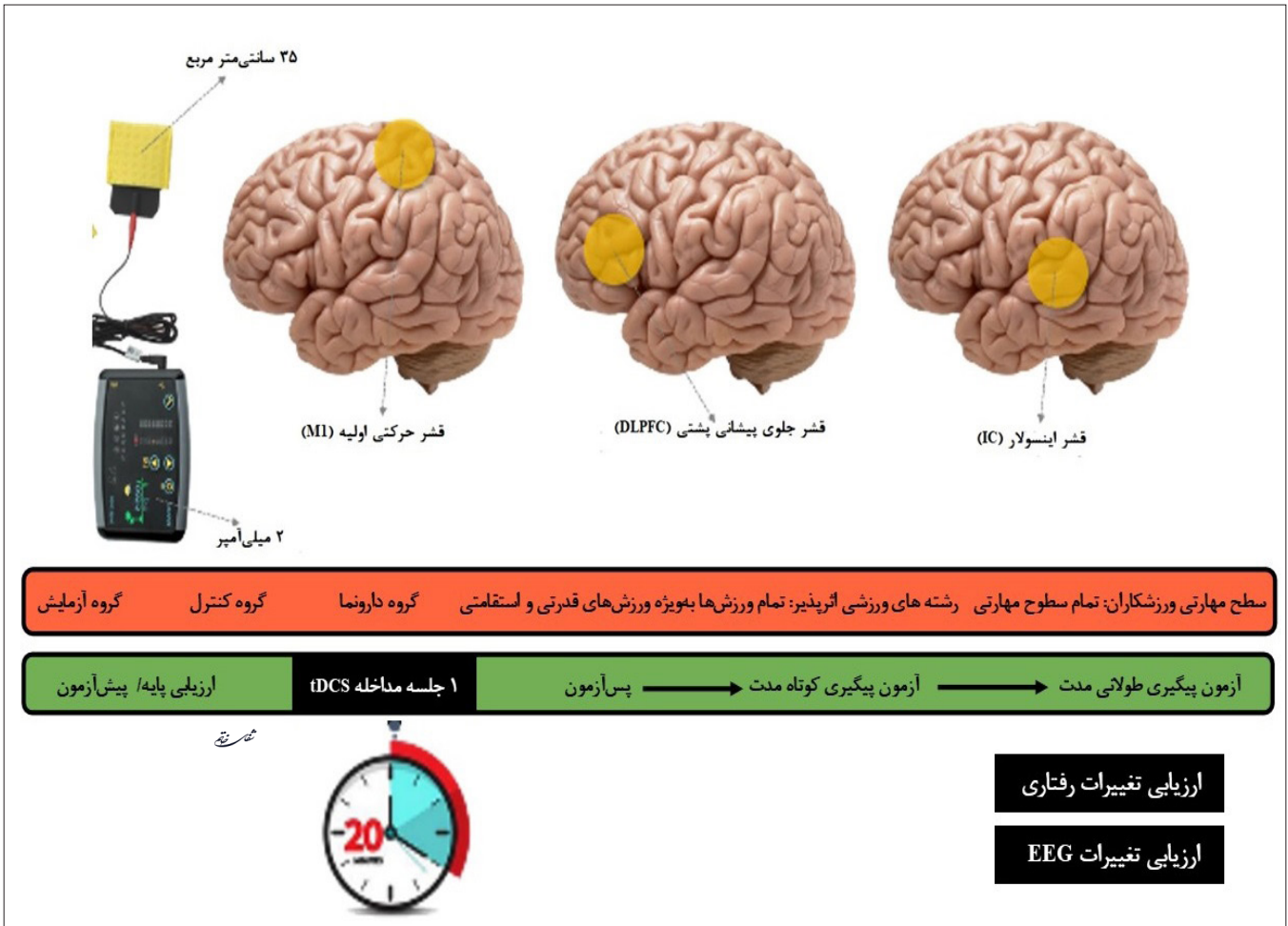
تعداد مطالعه	مداخلات شناختی مؤثر بر عملکرد ورزشکاران	میانگین اندازه اثر	تفسیر بر اساس نظر کوهن
۲۶	کل (اندازه ثابت)	۰/۹۴۲	بزرگ
	تحریک الکتریکی فراجمجهای	۱/۱۸۷	بزرگ

<sup>29</sup> Structural Equation Modeling (SEM)

<sup>30</sup> Independent

<sup>31</sup> Path Analysis

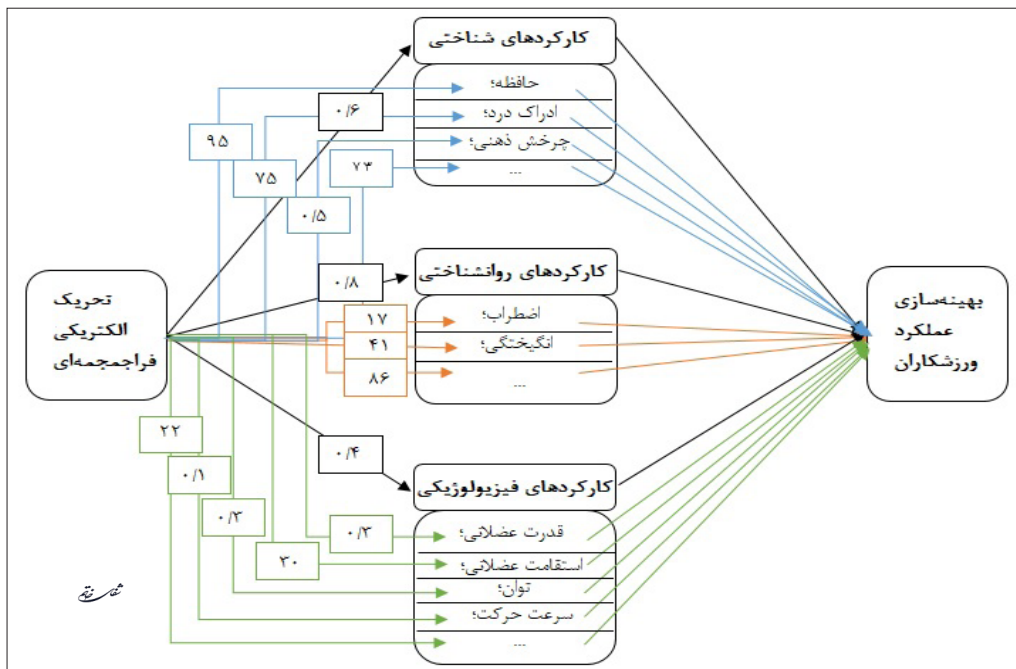
<sup>32</sup> Recursive



تصویر ۳- نمایه پارامترهای ساختاری در خصوص اجرای تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای برای بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران

و ضرایب مسیر در میان متغیرها را نشان می‌دهد. فراتحلیل حاضر به بررسی تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای به‌عنوان یکی از روش‌های مداخله شناختی

**بحث و نتیجه‌گیری**



تصویر ۴- الگوی تحلیل مسیر تأثیر تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای بر بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران

مطالعات انجام شده در مورد tDCS و عملکرد ورزشی با توجه به فرضیه پژوهش‌های بررسی شده، یک سؤال را ایجاد می‌کنند که چرا tDCS را در یک منطقه خاص از مغز، به‌عنوان مثال قشر حرکتی اولیه<sup>۳۳</sup> (M1)، قشر پیش‌پیشانی پشتی<sup>۳۴</sup> (DLPFC) و یا قشر اینسولار<sup>۳۵</sup> (IC)، برای بهبود عملکرد استفاده می‌کنند؟ البته برای این سؤال هنوز پاسخ مشخصی وجود ندارد، با این وجود احتمالاتی مطرح شده است (۱۱۸، ۱۱۷، ۱۳). از نظر نواحی مغزی، M1 بیشترین ارتباط را با عملکرد ورزشی دارد و دلیل آن نقشی است که این ناحیه مغزی در اجرای حرکت ایفا می‌کند. مطالعات زیادی نشان داده‌اند که خستگی می‌تواند عملکرد بدنی را در اجرای مهارت‌های حرکتی مانند فعالیت گروه‌های عضلانی کوچک (به‌عنوان مثال، خم شدن آرنج<sup>۳۶</sup>) و همچنین فعالیت گروه‌های عضلانی بزرگ (به‌عنوان مثال، دوچرخه‌سواری<sup>۳۷</sup>) را به‌خطر بیندازد. لذا، فعالیت مناطق نخاعی و فوق نخاعی تحلیل رفته و از طرفی مناطق M1 و سایر مناطق فوق نخاعی نیز نمی‌توانند با ایجاد فعالیت الکتریکی عصبی در جهت جبران کاهش تحریک‌پذیری ستون فقرات عمل کنند، که این فرایند منجر به کاهش ظرفیت عملکردی عضلات برای تولید قدرت/استقامت شده و بنابراین باعث خستگی می‌شود؛ بنابراین، یک دلیل برای استفاده بیشتر از tDCS در ناحیه M1 این است که باعث تحریک‌پذیری این ناحیه شده و این موضوع می‌تواند منجر به فعالیت عصبی پایدار نوروهای حرکتی شود، لذا باعث تأخیر در کاهش واحدهای عصبی ارسالی به عضله فعال می‌شود و بنابراین عملکرد را بهبود می‌بخشد (۱۱۸، ۱۱۷، ۱۳). علاوه بر این، دلایل دیگر استفاده از tDCS در ناحیه M1 می‌تواند تعدیل ادراک درد باشد (۱۱۹). با این حال، این مکانیسم هنوز کاملاً مشخص نشده است. البته در مطالعات حیوانی این موضوع نشان داده شده است، لذا دلیل احتمالی نقش‌آفرینی ناحیه M1 در تعدیل درد، این است که بین این ناحیه و انسولار و تالاموس ارتباط وجود دارد (۱۱۹). علاوه بر این، a-tDCS در M1 آستانه‌های حسی و درد را در ورزشکاران افزایش می‌دهد (۱۲۰). در این رابطه، پیشنهاد می‌شود که درد ناشی از فعالیت ورزشی در تنظیم عملکرد نقش اساسی دارد، لذا ورزشکاران با توانایی بهتر برای تحمل یا غلبه بر درد، موفقیت بیشتری خواهند داشت؛ بنابراین، استفاده از tDCS در M1 همچنین می‌تواند باعث بهبود عملکرد از طریق کاهش درد ناشی از فعالیت ورزشی شود (۱۲۱). از طرفی با توجه به فعالیت قشر پیش‌پیشانی<sup>۳۸</sup> مغز (PFC)، که عملکرد اصلی آن کنترل شناختی رفتار است، به‌نظر می‌رسد نقش مهمی در پردازش نشانه‌های

غیرتهاجمی مغز بر بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران پرداخت. نتایج حاصل از به‌کارگیری روش فراتحلیل با بهره‌گیری از روش ترکیب اندازه اثر به روش Schmidt and Hunter در پژوهش حاضر نشان داد که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای در بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران در سه نظام اثرپذیری کارکردی شناختی، روانشناختی و فیزیولوژیکی حمایت لازم را دریافت کرد. این نتیجه مؤید آن است که تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای برای بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران مؤثر است. نتایج مطالعات Wertheim و همکاران (۲۰۲۰)، Grandperrin و همکاران (۲۰۲۰)، Mesquita و همکاران (۲۰۱۹)، Seidel و همکاران (۲۰۱۹) و Lattari و همکاران (۲۰۱۹) نیز حاکی از این امر است (۷۹-۷۵). در سال‌های اخیر، چندین محقق شروع به بررسی تأثیرات tDCS بر عملکرد شناختی و رفتاری در افراد سالم کرده‌اند (۲۰-۲۳). نتایج آن‌ها نشان داده است که tDCS می‌تواند به‌عنوان یک منبع ارگونومیکی تعدیل‌کننده عصبی برای افراد سالم مورد استفاده قرار گیرد تا عملکرد بدنی را بهبود بخشد، به‌عنوان مثال منجر به افزایش قدرت عضلانی و استقامت شود (۲۶-۲۰). این تغییرات هم در افراد غیر ورزشکار و هم در ورزشکاران که در طول برنامه‌های آموزشی خود از tDCS استفاده کرده‌اند مشاهده شده است (۲۹-۲۶، ۲۳، ۲۰). لذا این احتمال وجود دارد که tDCS یک منبع مؤثر ارگونومیکی برای افزایش آمادگی جسمانی جهت بهبود عملکرد ورزشکاران باشد. نتایج فراتحلیل حاضر نشان داد که، در هیچ یک از مطالعات بررسی شده، به عوارض جانبی منفی مداخله tDCS اشاره نشده است. همچنین نتایج بررسی تفاوت بین مطالعات از جهت بهبود عملکرد ورزشکاران در پارامترهایی همچون قدرت عضلانی و استقامت، اثربخشی مناسبی از tDCS مشاهده شد. مطالعات بررسی کارایی tDCS در بهبود قدرت عضلانی، اثرات مثبت a-tDCS را با ضریب ۱/۰۳ از پارامترهای آزمایش شده نشان می‌دهد. در مقابل، در مطالعات ارزیابی اثرات a-tDCS در بهبود عملکرد استقامتی، a-tDCS با ضریب ۲/۳۰ پارامترهای ارزیابی شده، پیشرفت چشم‌گیری مشاهده شد. برخی مطالعات نیز هیچ تأثیری از استفاده مکرر از a-tDCS بر بهبود عملکرد ورزشکاران نشان ندادند. لذا نیاز است تا در مورد مسیرهای آینده پژوهی tDCS بحث شود. با توجه به روند پیچیده‌ای که در تمرینات ورزشی طی می‌شود، مناطق مختلف مغزی ممکن است در تنظیم یا ایجاد محدودیت در عملکرد ورزشکاران نقش داشته باشند، بنابراین این موضوع می‌تواند توجیهی برای استفاده از tDCS جهت بهبود عملکرد ورزشی باشد. با این حال،

<sup>33</sup> Primary Motor Cortex (M1)

<sup>34</sup> Dorsolateral Prefrontal Cortex (DLPFC)

<sup>35</sup> Insular Cortex (IC)

<sup>36</sup> Elbow Flexion

<sup>37</sup> Cycling

<sup>38</sup> Prefrontal Cortex

مورد مناطق مختلف مغز که توسط tDCS تحریک شده است، مطالعات نتایج معکوس، و تنوع زیادی را در رابطه با تأثیرات آن بر عملکرد ورزشکاران نشان می‌دهد. البته تفاوت‌های بین فردی، در پاسخ به اثرات tDCS توضیح احتمالی برای وجود این تمایزات در نتایج است (۱۲۹). سایر فاکتورها مانند مونتاژهای مختلف الکتروود مورد استفاده و پارامترهای تحریک متفاوت نیز می‌توانند در نتیجه متفاوت به وجود آمده مؤثر باشند. علاوه بر این، به دلیل تفاوت در پارامترهای تحریک، مانند اندازه و موقعیت الکتروود و همچنین سایر مناطق مغزی فراتر از منطقه هدف می‌توانند تحت تأثیر جریان الکتریکی حاصل از tDCS قرار بگیرند، با این وجود به طور کلی به نظر می‌رسد، tDCS عملکرد ورزشکاران را افزایش می‌دهد (۱۳۰). اگرچه مطالعات بررسی شده از نظر طرح آزمایشی و انجام تکالیف حرکتی تفاوت‌های زیادی دارند، با این وجود برخی از ویژگی‌های مشترک را می‌توان در تمام مطالعات مشاهده نمود: (۱) بیشترین تحریک مربوط به قشر حرکتی اولیه (M1) است. (۲) تحریک الکتریکی در ناحیه آندال (a-tDCS) قبل از انجام تکالیف اصلی اعمال می‌شود. (۳) در بیشتر مطالعات ۲۰ دقیقه تحریک در ۲ میلی‌آمپر با اندازه الکتروود فعال ۳۵ سانتی‌متر مربع استفاده شده است. همچنین در رابطه با پارامترهای عصبی عضلانی، a-tDCS به طور کلی تحریک‌پذیری قشر مغز را افزایش می‌دهد (۱۳۱، ۱۰۵، ۶۵، ۵۷). همچنین پاسخ‌های فیزیولوژیکی در حین ورزش پس از tDCS تغییرات ثابت و مشخصی را نشان ندادند. نکته قابل توجه این است که، هنگامی که پاسخ‌های ادراکی اندازه‌گیری می‌شود، بهبود عملکرد حرکتی ناشی از tDCS اغلب با ادراک خستگی کمتر همراه است در حالی که درد عضلانی تغییری نکرد (۹۸، ۶۵، ۲۷، ۲۳، ۲۲). با این وجود مکانیسم‌های فیزیولوژی عصبی که از تأثیر a-tDCS در بهبود ظرفیت جسمی ورزشکاران پشتیبانی کنند، هنوز مشخص نیست. با توجه به پژوهشی که توسط کاگیاما و همکاران<sup>۴۴</sup> (۲۰۰۷) انجام شد، این موضوع مطرح شد که a-tDCS می‌تواند انگیزه ورزشکاران را بهبود بخشد، درد عضلانی را کاهش دهد و هم‌افزایی عضلانی را تعدیل کند (۵۷). با این حال، هیچ‌یک از مکانیسم‌های پیشنهادی و پارامترهای مربوطه تحت نظارت دقیق و تأییدیه‌های مراکز علمی قرار نگرفتند. محققان دیگر پیشنهاد می‌کنند که بهبود عملکرد استقامتی پس از a-tDCS می‌تواند به دلیل افزایش تحریک عصبی و کاهش خستگی فوق نخاعی باشد (۶۵، ۶۴). پژوهشگران دیگر نیز اظهار کرده‌اند که a-tDCS می‌تواند بدون تغییر دستور حرکتی، بر ادغام

داخلی و خارجی مربوط به تمرین انجام شده را دارد (۱۲۲). تأثیرگذاری PFC از بالا به پایین است و می‌تواند منجر به تغییر ریتم برای تکمیل فعالیت حرکتی شود و با طولانی شدن خروجی حرکتی و با خاموش شدن واحدهای حرکتی، باعث به پایان رساندن تمرین در مدت زمان بیشتر شود؛ بنابراین، مدل روانشناختی این تکلیف از بین بردن مشارکت (یعنی پایان تمرین<sup>۴۳</sup>) را به‌عنوان فرایندی مهم در تصمیم‌گیری مبتنی بر تلاشی که به انگیزه بستگی دارد پیشنهاد می‌کند (به‌عنوان مثال حداکثر تلاشی که فرد مایل به انجام آن است)، ادراک تلاش<sup>۴۰</sup>، آگاهی از نقطه پایانی تمرین و فاصله/ زمان باقیمانده، و تجربه قبلی/ حافظه است (۱۲۲). البته ادراک تلاش در حین تمرین با شدت و مدت زمان متفاوت است (۱۲۲). یک بررسی نظام‌مند تأیید کرده است که مداخلات باهدف کاهش توانایی PFC در کنترل سیگنال‌های بدن در حین ورزش، مانند خستگی ذهنی (به‌عنوان مثال، انجام یک تکلیف شناختی طولانی‌مدت) ممکن است عملکرد استقامتی را کاهش دهد (۱۲۳). در حقیقت، آنچه مشاهده شده این است که قبل از شروع خستگی اکسیژناسیون<sup>۴۱</sup> PFC کاهش یافته است (۱۲۵، ۱۲۴)؛ بنابراین، استفاده از tDCS در PFC می‌تواند توانایی این منطقه را برای نادیده گرفتن نشانه‌های خستگی (یعنی سیگنال‌های بدن<sup>۴۲</sup>) تقویت کند و محرک ارادی را در M1 نگه دارد و بنابراین رها کردن تکلیف (پایان فعالیت) را به تعویق بیندازد (۱۲۵، ۱۲۴).

منطقه هدف دیگر مطالعات tDCS در مورد عملکرد فیزیکی، قشر اینسولار (IC) است که در زمینه آگاهی و همچنین در اعمال متفاوت و مرتبط به هیجان‌ات یا تنظیم هومئوستازی<sup>۴۳</sup> بدن فعالیت دارد؛ این اعمال شامل ادراک، کنترل حرکت، خودآگاهی، عملکرد شناختی و همچنین تجربه بین فردی می‌باشند. مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که IC راست مسئول مدولاسیون سمپاتیک است، در حالی که IC سمت چپ مسئول تعدیل پاراسمپاتیک است (۱۲۶، ۱۲۷). IC یک ناحیه مغزی عمیق است و از نظر تئوری توسط tDCS از طریق اتصالات مشترک با قشر تمپورال (TC) تعدیل می‌شود. به‌عنوان مثال، مدل‌سازی محاسباتی و مطالعات تجربی نشان داد که tDCS برای فعالیت IC تعدیل‌شده، TC سمت چپ اعمال می‌شود و در نتیجه باعث افزایش مدولاسیون پاراسمپاتیک در حالت استراحت و در حین ورزش می‌شود (۱۲۸، ۱۰۲). در این زمینه، شاخه پاراسمپاتیک وظیفه تعدیل کنترل اتونوم قلب در حالت استراحت را دارد و هنگامی که ورزش شروع می‌شود کاهش تدریجی مدولاسیون تا زمان ترک کامل آن مشاهده می‌شود. در

<sup>39</sup> The End of The Exercise

<sup>40</sup> Effort Perception

<sup>41</sup> Oxygenation

<sup>42</sup> Body Signals

<sup>43</sup> Homeostasis

<sup>44</sup> Cogiamanian

فرا مجموعه‌های امکان‌پذیر است. به‌طور کلی، تحریک الکتریکی فرامجمه‌های می‌تواند باعث تغییر قدرت EEG در ورزشکاران شده و به‌طور مؤثر عملکرد ورزشی را بهبود بخشد. با این حال، اثر تحریک الکتریکی فرامجمه‌های برای عملکرد ورزشی با طراحی و به‌کارگیری گروه کنترل تعدیل می‌شود، یعنی هنگامی که تجزیه و تحلیل به کنترل‌های فعال و دارونما محدود می‌شد، ممکن است اثر تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای در عملکرد ورزشی کاهش یابد. تحقیقات آینده باید بر تکرار و گسترش اندازه اثر تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای با اندازه‌های نمونه بزرگ‌تر، اتخاذ یک طراحی کاملاً کنترل‌شده از یک گروه فعال/دارونما، ارائه شواهدی برای تغییرات در باندهای فرکانسی آموزش‌دیده، شناسایی مناسب‌ترین پروتکل مداخله‌ای بر اساس ارتباط مستقیم نتایج در عملکرد ورزشی و کاربرد تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای در فعالیت‌های واقعی و در موقعیت‌های رقابتی در زمین‌های ورزشی توجه کنند.

#### محدودیت‌های پژوهش و پیشنهادهایی برای تحقیقات

ارزش و اعتبار یک مرور نظام‌دار یا فراتحلیل، توسط روش‌های مطالعات موجود محدود می‌شود؛ بنابراین، نتایج مرور نظام‌دار و فراتحلیل حاضر ممکن است ضعف‌های روش‌های مطالعات را به‌جای نقاط ضعف یا قوت اثر تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای بر عملکرد ورزشکاران منعکس کند. در واقع، مطالعاتی که در مرور نظام‌دار و فراتحلیل حاضر مورد بررسی قرار گرفت، دارای برخی محدودیت‌های روش‌شناسی<sup>۴۴</sup> همچون به‌کار نرفتن گروه کنترل بود. یکی از محدودیت‌های پژوهش مربوط به ناهمگنی و قلت مطالعاتی است که اندازه اثر تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای در حوزه ورزشی را مطالعه و تحلیل کرده بودند. مطالعاتی که به صورت آزمایش‌های تصادفی کنترل شده اجرا شده‌اند، بیشتر شامل اندازه نمونه کوچکی بودند که ممکن است در مقایسه با آزمایش‌های با اندازه نمونه بزرگ‌تر، اندازه اثر را بیش از حد نشان دهد؛ بنابراین، تحقیقات آینده باید بر تکرار و گسترش اندازه اثر تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای با اندازه نمونه‌های بزرگ‌تر متمرکز باشد. محدودیت دیگر پژوهش مربوط به این است که برخی از مطالعات در نتایج خود گزارش نکردند که آیا تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای در واقع به یادگیری و بهبود عملکرد منجر شده است که با تغییرات درس نشان داده می‌شود یا خیر (۱۳۶-۱۳۸). این یک نکته کلیدی است زیرا اگر تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای نتواند تغییرات مورد انتظار را در سطح EEG ایجاد کند، بنابراین اندازه اثر آموزش به احتمال زیاد

حسی- حرکتی و تقاضای شناختی مرتبط با تکلیف تأثیر بگذارد (۵۸). آژیوس و همکاران (۲۰۱۶، ۲۰۱۸) پیشنهاد کردند که، با توجه به افزایش تحریک‌پذیری سلول‌های هرمی<sup>۴۵</sup> ناشی از tDCS-a، به محرک‌های تحریکی کمتری در ناحیه MI برای تولید همان نیرو یا قدرت حداکثری نیاز است (۲۳، ۱۰۴). لذا از آنجا که به‌نظر می‌رسد اعمال فشار به ورودی‌های تحریکی از ناحیه حرکتی تکمیلی یا مکمل (SMA) و سایر مناطق مغز بستگی دارد، کاهش در چنین ورودی‌هایی منجر به درک کمتری از تلاش می‌شود (۱۳۲، ۱۳۳). با این حال، لازم به ذکر است که برخی مطالعات بهبود عملکرد مقاومتی را بدون تغییرات قابل توجه در تحریک‌پذیری قشر مغز گزارش کرده‌اند (۵۸، ۱۰۴). البته این موضوع تعجب‌آور نیست، زیرا مطالعات قبلی، تنوع قابل توجهی در پاسخ سلول‌های هرمی پس از tDCS بیش از قشر حرکتی (MI) نشان داده‌اند (۱۳۴، ۱۳۵). مطالعاتی که اثرات tDCS را بر روی قدرت عضلانی بررسی کردند، نشان می‌دهند که بهبود عملکرد ورزشکاران هم با افزایش تحریک‌پذیری کورتیکوسپینال و هم با کاهش مهار داخل قشر در فاصله کوتاه و افزایش فعال‌سازی متقاطع حاصل می‌شود (۱۰۵، ۱۳۱). مطالعات دیگر نیز نشان می‌دهند که بهبود حجم فعالیت با کاهش ادراک تلاش حاصل‌شده است (۲۰، ۲۶). البته این مکانیزم‌های موجود در اثر ارگونومیک tDCS هنوز نامشخص است و باید با احتیاط تفسیر شود، زیرا هیچ‌یک از این مطالعات فعالیت مغز را در حین فعالیت ورزشی با ارائه مداخله tDCS کنترل نکرده است.

تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای به‌طور ویژه به ورزشکاران در بهبود کارکردهای شناختی، روانی و فیزیولوژیکی کمک می‌کند تا برای اجرای مهارت‌ها و تکالیف شناختی (ادراک، برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری) آماده شود و از طرف دیگر برای عملکرد مناسب فیزیکی و حرکتی (هدف‌گیری، پرتاب، دریافت و ...) آماده‌تر شود. از آنجا که تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای با اثرگذاری بر مغز باعث بهبود فرایندهای مختلفی شده و در کنترل بدن و رفتار حرکتی نیز ایفای نقش می‌کند و از طرفی ورزشکاران همواره با شرایط پر استرس روبه‌رو می‌شوند، و این شرایط می‌تواند عملکرد آن‌ها را کاهش دهد، می‌توان با توسعه کارکردهای شناختی از طریق تحریک الکتریکی فرامجمه‌ای، ورزشکاران را جهت رویارویی با استرس‌ورهای مختلف، بدون کاهش عملکرد، آماده نمود؛ بنابراین حفظ قابلیت‌های ورزشکار در برابر عوامل استرس‌زا و همچنین ریکاوری پس از تجربه موقعیت استرس‌زا، از طریق تحریک الکتریکی

<sup>45</sup> Corticospinal

<sup>46</sup> Methodological

مناطق مغزی فراتر از مناطق موردنظر اثرگذار باشد (۹۳۱)، (۰۳۱). نمونه کوچک یافت شده از مطالعات، نکتل مهم دیگری است که می‌تواند احتمال نتایج مثبت کاذب را افزایش دهد (۰۴۱). سرانجام، عدم وجود روش‌های مناسب یک‌سو کور و دو سو کور در اکثر مطالعات نیز باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا روش‌های مشخص می‌تواند منجر به اثرات روانشناختی غیرمنتظره و گیج‌کننده شود و تفسیر نتایج را دشوار کند (۱۴۱، ۲۴۱).

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله از نوع مروری است و نمونه انسانی یا حیوانی نداشته است.

### حامی مالی

این مقاله که برگرفته از پروژه پسا دکترا می‌باشد مورد حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور قرار دارد.

### مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

### تعارض منافع

نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

به عوامل دیگر نسبت داده می‌شود؛ بنابراین، تحقیقات آینده نه تنها باید تغییر در عملکرد ورزشی را در نظر بگیرند، بلکه باید تغییر ویژه در قدرت EEG را نیز مشخص کنند. با توجه به افزایش سریع حجم مطالعات تحریک الکتریکی فراجمعه‌ای در خصوص بهبود عملکرد ورزشکاران، محدودیت‌های مهم روش‌شناختی لازم است در نظر گرفته شود. در خصوص روش‌شناسی‌های مختلف این آزمایش‌ها، احتیاط در تفسیر نتایج مربوط به اثربخشی tDCS به‌عنوان یک اتوژنیک ضروری است. همچنین استانداردسازی متغیرهای روش‌شناختی مانند مونتاژ الکترودها، شدت جریان، مدت‌زمان جلسه و سایر جزئیات، برای ارائه بینش بهتر در مورد تأثیرات واقعی tDCS بر ورزش و عملکرد ورزشی ضروری است. علاوه بر این، مکانیزم‌های مربوط به بهبود عملکرد ورزشکاران هنوز مشخص نیست. در این راستا، سؤال جالب این است که چه عواملی باعث بهبود گذرا در عملکرد ورزشکاران می‌شود؟ به نظر می‌رسد تعدیل تحریک‌پذیری کورتیکوسپینال یا سایر نواحی مغزی هدفمند به دنبال tDCS مسئول این بهبود باشد. با این وجود، مطالعات اندکی فعالیت کورتیکوسپینال یا مغز را به دنبال یا در طول tDCS بررسی کردند. از دیگر مشخصات فنی tDCS، تفکیک مکانی کم میدان الکتریکی ناشی از مغز در مقایسه با تحریک مغناطیسی جمجمه (TMS) است که می‌تواند بر عملکرد برخی

### منابع

- Bertollo M, di Fronso S, Filho E, Conforto S, Schmid M, Bortoli L, et al. Proficient brain for optimal performance: the MAP model perspective. *Peer J*. 2016; 4: e2082.
- Davidson RJ, Kabat-Zinn J, Schumacher J, Rosenkranz M, Muller D, Santorelli SF, et al. Alterations in brain and immune function produced by mindfulness meditation. *Psychosomatic medicine*. 2003; 65(4): 564-70.
- Ramis Y, Torregrosa M, Viladrich C, Cruz J. The Effect of Coaches Controlling Style on the Competitive Anxiety of Young Athletes. *Frontiers in Psychology*. 2017; 8(572).
- Ford JL, Ildefonso K, Jones ML, Arvinen-Barrow M. Sport-related anxiety: current insights. *Open Access J Sports Med*. 2017; 8: 205-12.
- Sleivert GG, Rowlands DS. Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 1996; 22(1): 8-18.
- Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, Koller A, Eibl G, Raas E. Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *International journal of sports medicine*. 2003; 24(8): 571-5.
- McCormick A, Meijen C, Marcora S. Psychological Determinants of Whole- Body Endurance Performance. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2015; 45(7): 997-1015.
- Schubert MM, Astorino TA. A systematic review of the efficacy of ergogenic aids for improving running performance. *Journal of strength and conditioning research*. 2013; 27(6): 1699-707.
- Savulescu J, Foddy B, Clayton M. Why we should allow performance enhancing drugs in sport. *British journal of sports medicine*. 2004; 38(6): 666-70.
- Noakes TD. Fatigue is a Brain-Derived Emotion that Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis. *Frontiers in physiology*. 2012; 3: 82.
- Beck JS. *Cognitive Behavior Therapy, Second Edition: Basics and Beyond*. 2nd edition ed: The Guilford Press; 2011.
- Prochaska JO, C. J. Norcross: *Systems of Psychotherapy: A Transtheoretical Analysis Seventh. (7th) Edition* ed: Amazon; 2009.
- Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue.

- Physiological reviews. 2001; 81(4): 1725-89.
14. Noakes TD. Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2011; 36(1): 23-35.
  15. Angius L, Hopker J, Mauger AR. The Ergogenic Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Exercise Performance. *Frontiers in physiology*. 2017; 8: 90.
  16. Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of physiology*. 2000; 527 Pt 3(Pt 3): 633-9.
  17. Stagg CJ, Nitsche MA. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *The Neuroscientist: a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry*. 2011; 17(1): 37-53.
  18. Bikson M, Inoue M, Akiyama H, Deans JK, Fox JE, Miyakawa H, et al. Effects of uniform extracellular DC electric fields on excitability in rat hippocampal slices in vitro. *The Journal of physiology*. 2004; 557(Pt 1): 175-90.
  19. Rahman A, Reato D, Arlotti M, Gasca F, Datta A, Parra LC, et al. Cellular effects of acute direct current stimulation: somatic and synaptic terminal effects. *The Journal of physiology*. 2013; 591(10): 2563-78.
  20. Lattari E, Andrade ML, Filho AS, Moura AM, Neto GM, Silva JG, et al. Can Transcranial Direct Current Stimulation Improve the Resistance Strength and Decrease the Rating Perceived Scale in Recreational Weight-Training Experience? *Journal of strength and conditioning research*. 2016; 30(12): 3381-7.
  21. 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? *Journal of strength and conditioning research*. 2020; 34(1): 97-103.
  22. Lattari E, Rosa Filho BJ, Fonseca Junior SJ, Murillo-Rodriguez E, Rocha N, Machado S, et al. Effects on Volume Load and Ratings of Perceived Exertion in Individuals' Advanced Weight Training After Transcranial Direct Current Stimulation. *Journal of strength and conditioning research*. 2020; 34(1): 89-96.
  23. Angius L, Mauger AR, Hopker J, Pascual-Leone A, Santarnecchi E, Marcora SM. Bilateral extracephalic transcranial direct current stimulation improves endurance performance in healthy individuals. *Brain stimulation*. 2018; 11(1): 108-17.
  24. Roya M, Mahdi N, Rokhsareh B, Hamid M. Comparison of effect of the transcranial direct current stimulation (tDCS) of vision and motor cortex on learning of basketball free throw. *Development & Motor Learning*. 2020; 12(40): 153-68.
  25. Golandam Z, Mohammad Reza D. The effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Working Memory and Reaction time in Athlete Girls. *Journal of Neuropsychology*. 2017; 3(10): 51-62.
  26. Lattari E, de Oliveira BS, Oliveira BRR, de Mello Pedreiro RC, Machado S, Neto GAM. Effects of transcranial direct current stimulation on time limit and ratings of perceived exertion in physically active women. *Neuroscience letters*. 2018; 662: 12-6.
  27. Okano AH, Fontes EB, Montenegro RA, Farinatti Pde T, Cyrino ES, Li LM, et al. Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. *British journal of sports medicine*. 2015; 49(18): 1213-8.
  28. Reardon S. 'Brain doping may improve athlete's performance. *Nature*. 2016; 531(7594): 283-4.
  29. Edwards DJ, Cortes M, Wortman- Jutt S, Putrino D, Bikson M, Thickbroom G, et al. Transcranial Direct Current Stimulation and Sports Performance. *Frontiers in human neuroscience*. 2017; 11: 243.
  30. Janssens AC, Kraft P. Research conducted using data obtained through online communities: ethical implications of methodological limitations. *PLoS medicine*. 2012; 9(10): e1001328.
  31. Bain L., Norris S., C. S. Non-Invasive Neuromodulation of the Central Nervous System: Opportunities and Challenges: Workshop Summary. Washington (DC): National Academies Press (US).
  32. Fregni F, Nitsche MA, Loo CK, Brunoni AR, Marangolo P, Leite J, et al. Regulatory Considerations for the Clinical and Research Use of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS): review and recommendations from an expert panel. *Clinical research and regulatory affairs*. 2015; 32(1): 22-35.
  33. Bikson M, Grossman P, Thomas C, Zannou AL, Jiang J, Adnan T, et al. Safety of Transcranial Direct Current Stimulation: Evidence Based Update 2016. *Brain stimulation*. 2016; 9(5): 641-61.
  34. Kuersten A, Hamilton RH. Minding the 'gaps' in the federal regulation of transcranial direct current stimulation devices. *Journal of Law and the Biosciences*. 2016; 3(2):309-17 .
  35. Zettler PJ. What lies ahead for FDA regulation of tDCS products? *Journal of Law*

- and the Biosciences. 2016; 3(2): 318-23.
36. Datta A, Bansal V, Diaz J, Patel J, Reato D, Bikson M. Gyri-precise head model of transcranial direct current stimulation: improved spatial focality using a ring electrode versus conventional rectangular pad. *Brain stimulation*. 2009; 2(4): 201-7.
37. Luu P, Essaki Arumugam EM, Anderson E, Gunn A, Rech D, Turovets S, et al. Slow-Frequency Pulsed Transcranial Electrical Stimulation for Modulation of Cortical Plasticity Based on Reciprocity Targeting with Precision Electrical Head Modeling. *Frontiers in human neuroscience*. 2016; 10: 377.
38. Baudewig J, Nitsche MA, Paulus W, Frahm J. Regional modulation of BOLD MRI responses to human sensorimotor activation by transcranial direct current stimulation. *Magnetic resonance in medicine*. 2001; 45(2): 196-201.
39. DosSantos MF, Love TM, Martikainen IK, Nascimento TD, Fregni F, Cummiford C, et al. Immediate effects of tDCS on the  $\mu$ -opioid system of a chronic pain patient. *Frontiers in psychiatry*. 2012; 3: 93.
40. JogMV, SmithRX, JannK, DunnW, LafonB, TruongD, et al. In-vivo Imaging of Magnetic Fields Induced by TranscranialDirectCurrentStimulation(tDCS)inHuman Brain using MRI. *Scientific Reports*. 2016; 6(1): 34385.
41. Huang Y, Liu AA, Lafon B, Friedman D, Dayan M, Wang X, et al. Measurements and models of electric fields in the in vivo human brain during transcranial electric stimulation. 2017; 6.
42. Edwards D, Cortes M, Datta A, Minhas P, Wassermann EM, Bikson M. Physiological and modeling evidence for focal transcranial electrical brain stimulation in humans: a basis for high-definition tDCS. *NeuroImage*. 2013; 74: 266-75.
43. Strube W, Bunse T, Nitsche MA, Nikolaeva A, Palm U, Padberg F, et al. Bidirectional variability in motor cortex excitability modulation following 1 mA transcranial direct current stimulation in healthy participants. *Physiological reports*. 2016;15(4).
44. Hamner JW, Villamar MF, Fregni F, Taylor JA. Transcranial direct current stimulation (tDCS) and the cardiovascular responses to acute pain in humans. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. 2015; 126(5): 1039-46.
45. Wagner S, Lucka F, Vorwerk J, Herrmann CS, Nolte G, Burger M, et al. Using reciprocity for relating the simulation of transcranial current stimulation to the EEG forward problem. *NeuroImage*. 2016; 140: 163-73.
46. Woods AJ, Antal A, Bikson M, Boggio PS, Brunoni AR, Celnik P, et al. A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. 2016; 127(2): 1031-48.
47. Wexler A. The practices of do-it-yourself brain stimulation: implications for ethical considerations and regulatory proposals. *Journal of medical ethics*. 2016; 42(4): 211-5.
48. Wurzman R, Hamilton RH, Pascual-Leone A, Fox MD. An open letter concerning do-it-yourself users of transcranial direct current stimulation. *Annals of neurology*. 2016; 80(1): 1-4.
49. Crewther BT, Carruthers J, Kilduff LP, Sanctuary CE, Cook CJ. Temporal associations between individual changes in hormones, training motivation and physical performance in elite and non-elite trained men. *Biology of sport*. 2016; 33(3): 215-21.
50. Rich TA, Pfister R, Alton J, Gerdt D, Baruch M. Assessment of Cardiovascular Parameters during Meditation with Mental Targeting in Varsity Swimmers. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2016; 2016: 7923234.
51. Ahmedov S. Ergogenic effect of acupuncture in sport and exercise: a brief review. *Journal of strength and conditioning research*. 2010; 24(5): 1421-7.
52. Zhu B, Wang Y, Zhang G, Ouyang H, Zhang J, Zheng Y, et al. Acupuncture at KI3 in healthy volunteers induces specific cortical functional activity: an fMRI study. *BMC complementary and alternative medicine*. 2015; 15: 361.
53. JarrayaM, ChtourouH, AlouiA, HammoudaO, Chamari K, Chaouachi A, et al. The Effects of Music on High-intensity Short-term Exercise in Well Trained Athletes. *Asian journal of sports medicine*. 2012; 3(4): 233-8.
54. Sabino-Carvalho JL, Lopes TR, Obeid-Freitas T, Ferreira TN, Succi JE, Silva AC, et al. Effect of Ischemic Preconditioning on Endurance Performance Does Not Surpass Placebo. *Medicine and science in sports and exercise*. 2017; 49(1): 124-32.
55. Clark VP, Coffman BA, Mayer AR, Weisend MP, Lane TD, Calhoun VD, et al. TDCS guided using fMRI significantly accelerates learning to identify concealed objects. *NeuroImage*. 2012; 59(1): 117-28.
56. Flood A, Waddington G, Keegan RJ, Thompson KG, Cathcart S. The effects of elevated pain inhibition on endurance exercise performance. *PeerJ*. 2017; 5: e3028.
57. Cogiamanian F, Marceglia S, Ardolino G, Barbieri

- S, Priori A. Improved isometric force endurance after transcranial direct current stimulation over the human motor cortical areas. *The European journal of neuroscience*. 2007; 26(1): 242-9.
58. Abdelmoula A, Baudry S, Duchateau J. Anodal transcranial direct current stimulation enhances time to task failure of a submaximal contraction of elbow flexors without changing corticospinal excitability. *Neuroscience*. 2016; 322: 94-103.
59. Kan B, Dundas JE, Nosaka K. Effect of transcranial direct current stimulation on elbow flexor maximal voluntary isometric strength and endurance. *Applied physiology, nutrition, and metabolism Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2013; 38(7): 734-9.
60. Muthalib M, Kan B, Nosaka K, Perrey S. Effects of transcranial direct current stimulation of the motor cortex on prefrontal cortex activation during a neuromuscular fatigue task: an fNIRS study. *Advances in experimental medicine and biology*. 2013; 789: 73-9.
61. A. M. Do the Warriors Owe Some of Their Success to These “Brain- Zapping” Headphones?. New York, : NY: Complex; 2016.
62. Falcone B, Parasuraman R. Comparative Effects of First- Person Shooter Video Game Experience and Brain Stimulation on Threat Detection Learning. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2012; 56(1): 173-7.
63. Berthelot G, Sedeaud A, Marck A, Antero-Jacquemin J, Schipman J, Saulière G et al. Has Athletic Performance Reached its Peak? *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2015; 45(9): 1263-71.
64. Vitor- Costa M, Okuno NM, Bortolotti H, Bertollo M, Boggio PS, Fregni F, et al. Improving Cycling Performance: Transcranial Direct Current Stimulation Increases Time to Exhaustion in Cycling. *PloS one*. 2015; 10(12): e0144916.
65. Williams PS, Hoffman RL, Clark BC. Preliminary evidence that anodal transcranial direct current stimulation enhances time to task failure of a sustained submaximal contraction. *PloS one*. 2013; 8(12): e81418.
66. Rattray B, Argus C, Martin K, Northey J, Driller M. Is it time to turn our attention toward central mechanisms for post- exertional recovery strategies and performance? *Frontiers in physiology*. 2015; 6: 79.
67. Reis J, Schambra HM, Cohen LG, Buch ER, Fritsch B, Zarahn E, et al. Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009; 106(5): 1590-5.
68. Dubljević V, Saigle V, Racine E. The rising tide of tDCS in the media and academic literature. *Neuron*. 2014; 82(4): 731-6.
69. Batuman E. *ELECTRIFIED Adventures in Transcranial Direct- Current Stimulation*. The New Yorker. 2015.
70. Wexler A, Hamilton RH. Crowdsourced tDCS research: feasible or fanciful? *AJOB Neuroscience*. 2017; 8(1): 50-3.
71. Wolf FM. *Meta- Analysis*. Newbury Park, California 1986. Available from: <https://methods.sagepub.com/book/meta-analysis>.
72. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd edition ed: Routledge; 1988.
73. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*. 2013; 4(863).
74. Jain S, Sharma S, Jain K. *Meta- Analysis of Fixed, Random and Mixed Effects Models*. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*. 2019; 4: 199-218.
75. Wertheim J, Colzato LS, Nitsche MA, Ragni M. Enhancing spatial reasoning by anodal transcranial direct current stimulation over the right posterior parietal cortex. *Experimental brain research*. 2020; 238(1): 181-92.
76. 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 randomized, crossover, double blind, controlled exploratory trial. *Trials*. 2020; 21(1): 461.
77. Mesquita PHC, Lage GM, Franchini E, Romano-Silva MA, Albuquerque MR. Bi- hemispheric anodal transcranial direct current stimulation worsens taekwondo- related performance. *Human Movement Science*. 2019; 66: 578-86.
78. Seidel O, Ragert P. Effects of Transcranial Direct Current Stimulation of Primary Motor Cortex on Reaction Time and Tapping Performance: A Comparison Between Athletes and Non- athletes. *Frontiers in human neuroscience*. 2019; 13: 103.
79. Lattari E, Vieira LAF, Oliveira BRR, Unal G, Bikson M, de Mello Pedreiro RC, et al. Effects of Transcranial Direct Current Stimulation With Caffeine Intake on Muscular Strength and Perceived Exertion. *Journal of strength and conditioning research*. 2019; 33(5): 1237-43.

80. Frazer AK, Howatson G, Ahtiainen JP, Avela J, Rantalainen T, Kidgell DJ. Priming the Motor Cortex With Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Affects the Acute Inhibitory Corticospinal Responses to Strength Training. *Journal of strength and conditioning research*. 2019;33(2):307-17.
81. Holgado D, Zandonai T, Ciria LF, Zabala M, Hopker J, Sanabria D. Transcranial direct current stimulation (tDCS) over the left prefrontal cortex does not affect time- trial self- paced cycling performance: Evidence from oscillatory brain activity and power output. *PloS one*. 2019; 14(2): e0210873.
82. Park SB, Sung DJ, Kim B, Kim S, Han JK. Transcranial Direct Current Stimulation of motor cortex enhances running performance. *PloS one*. 2019; 14(2): e0211902.
83. Ciccone AB, Deckert JA, Schlabs CR, Tilden MJ, Herda TJ, Gallagher PM, et al. Transcranial Direct Current Stimulation of the Temporal Lobe Does Not Affect High-Intensity Work Capacity. *Journal of strength and conditioning research*. 2019; 33(8): 2074-86.
84. Ota K, Shinya M, Kudo K. Transcranial Direct Current Stimulation Over Dorsolateral Prefrontal Cortex Modulates Risk- Attitude in Motor Decision- Making. *Frontiers in human neuroscience*. 2019; 13(297).
85. Angius L, Santarnecchi E, Pascual- Leone A, Marcora SM. Transcranial Direct Current Stimulation over the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex Improves Inhibitory Control and Endurance Performance in Healthy Individuals. *Neuroscience*. 2019; 419: 34-45.
86. Kamali AM, Nami M, Yahyavi SS, Saadi ZK, Mohammadi A. Transcranial Direct Current Stimulation to Assist Experienced Pistol Shooters in Gaining Even- Better Performance Scores. *Cerebellum (London, England)*. 2019; 18(1): 119-27.
87. 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.
88. Huang L, Deng Y, Zheng X, Liu Y. Transcranial Direct Current Stimulation With Halo Sport Enhances Repeated Sprint Cycling and Cognitive Performance. *Frontiers in physiology*. 2019; 10: 118.
89. Valenzuela PL, Amo C, Sánchez- Martínez G, Torrontegi E, Vázquez- Carrión J, Montalvo Z, et al. Enhancement of Mood but not Performance in Elite Athletes With Transcranial Direct- Current Stimulation. *International journal of sports physiology and performance*. 2019; 14(3): 310-6.
90. Vargas VZ, Baptista AF, Pereira GOC, Pochini AC, Ejnisman B, Santos MB, et al. Modulation of Isometric Quadriceps Strength in Soccer Players With Transcranial Direct Current Stimulation: A Crossover Study. *Journal of strength and conditioning research*. 2018; 32(5): 1336-41.
91. Holgado D, Zandonai T, Ciria LF, Zabala M, Hopker J, Sanabria D. tDCS over the left prefrontal cortex does not affect time- trial self- paced cycling performance: Evidence from oscillatory brain activity and power output. *bioRxiv*. 2018: 341388.
92. Hazime FA, da Cunha RA, Soliaman RR, Romancini ACB, Pochini AC, Ejnisman B, et al. Anodal Transcranial direct current stimulation (TDCS) increases isometric strength of shoulder rotators muscles in handball players. *International journal of sports physical therapy*. 2017; 12(3) :402-7.
93. Okano AH, Machado DGS, Oliveira Neto L, Farias- Junior LF, Agrícola PMD, Arruda A, et al. Can Transcranial Direct Current Stimulation Modulate Psychophysiological Response in Sedentary Men during Vigorous Aerobic Exercise? *International journal of sports medicine*. 2017; 38(7): 493-500.
94. Mizuno T, Aramaki Y. Cathodal transcranial direct current stimulation over the Cz increases joint flexibility. *Neuroscience Research*. 2017; 114: 55-61.
95. Radel R, Tempest G, Denis G, Besson P, Zory R. Extending the limits of force endurance: Stimulation of the motor or the frontal cortex? *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*. 2017; 97: 96-108.
96. Pixa NH, Steinberg F, Doppelmayr M. High- definition transcranial direct current stimulation to both primary motor cortices improves unimanual and bimanual dexterity. *Neuroscience letters*. 2017; 643: 84-8.
97. Barwood MJ, Butterworth J, Goodall S, House JR, Laws R, Nowicky A, et al. The Effects of Direct Current Stimulation on Exercise Performance, Pacing and Perception in Temperate and Hot Environments. *Brain stimulation*. 2016; 9(6): 842-9.
98. Angius L, Pageaux B, Hopker J, Marcora SM, Mauger AR. Transcranial direct current stimulation improves isometric time to exhaustion of the knee extensors. *Neuroscience*. 2016; 339: 363-75.
99. Magalhães Sales M DSC, Vieira Browne RA, Bodnariuc Fontes E, Dos Reis Vieira Olher R, Ernesto C, Herbert G. Transcranial direct current stimulation improves muscle isokinetic performance of young trained individuals. *Med Sport*. 2016; 69(2): 163-72.
100. Choe J, Coffman BA, Bergstedt DT, Ziegler

MD, Phillips ME. Transcranial Direct Current Stimulation Modulates Neuronal Activity and Learning in Pilot Training. (1662-5161 (Print)).

101. Hendy AM, Teo WP, Kidgell DJ. Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Prolongs the Cross-education of Strength and Corticomotor Plasticity. *Medicine and science in sports and exercise*. 2015; 47(9): 1788-97.

102. Montenegro RA, Okano A, Gurgel J, Porto F, Da Cunha F, Massaferrri R, et al. Motor cortex tDCS does not improve strength performance in healthy subjects. *Motriz Journal of Physical Education*. 2015; 21: 185-93.

103. Montenegro RA, Farinatti P, Lima P, Okano A, Meneses A, De Oliveira Neto L, et al. Motor cortex tDCS does not modulate perceived exertion within multiple-sets of resistance exercises. *Isokinetics and exercise science*. 2016: 17-24.

104. Angius L, Hopker JG, Marcora SM, Mauger AR. The effect of transcranial direct current stimulation of the motor cortex on exercise-induced pain. *European journal of applied physiology*. 2015; 115(11): 2311-9.

105. Hendy AM, Kidgell DJ. Anodal tDCS applied during strength training enhances motor cortical plasticity. *Medicine and science in sports and exercise*. 2013; 45(9): 1721-9.

106. Lampropoulou SI, Nowicky AV. The effect of transcranial direct current stimulation on perception of effort in an isolated isometric elbow flexion task. *Motor control*. 2013; 17(4): 412-26.

107. Arastoo A, Zahednejad Sh, Parsaei S, Alboghebish S. The effect of transcranial Direct Current Stimulation on anxiety in Veteran and Disabled Athletes. *Medical Journal of Mashhad University of Medical Sciences*. 2020; 63(3): 2278-86.

108. Arabi M, Fardin M. Effect of a Primary Motor Cortex Transcranial Direct Current Stimulation Session on Postural Control of Disabled Athletes with Lower Limb Amputees. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2020; 9(2): 277-86.

109. Yousef Moghadas T, Meysam Yavari K, Shahnaz S. Effects of a Single Session Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Hand Mental Rotation and Visuo-Spatial Working Memory. *Journal of Neuropsychology*. 2019; 5(16): 37-54.

110. Arastoo AA, Parsaei S, Sh Z, Alboghebish S, Burbur A. Effect of Unilateral Transcranial Direct Current Stimulation on Reaction Time in Veterans and Athletes with Disabilities. *Iranian Journal of War and Public Health*. 2019; 11(44): 133-8.

111. Yavari.M.K, Yousef Moghadas T, Shahnaz S, Gharayagh.H.Z, Behjame.F. Effects of Transcranial direct current stimulation on Imagery ability in students. *Journal of Applied Psychology Research*. 2018; 9(1): 149-65.

112. Delfani. M, Arabi. M. Investigation of Improving Postural Control Kinetic Parameters in Martial Art Athletes after applying tDCS. *Development & Motor Learning*. 2019; 10(34): 587-602.

113. Arastoo. A, Zahednejad. Sh, Parsaei. S, Alboghebish.S, Ataei. N, Ameriasi. S. The effect of direct current stimulation in left dorsolateral prefrontal cortex on working memory in veterans and disabled athletes. *Daneshvar Medicine*. 2019; 26(139): 25-32.

114. Abedzadeh. A, Alboghebish.S. The Effect of Transcranial Direct Current Stimulus on Selective Attention in Dual Task Paradigm. *Journal of Applied Psychology Research*. 2017; 8(3): 1-14.

115. HaidarAliH, Ganji.K, Omidfar.A. The Meta-Analysis of the Effectiveness of Life Skills Training on Mental Health. *Developmental Psychology*. 2013; 10(37): 39.

116. Siadatian SH, Ghamarani A, Yaghobian F. The Meta-Analysis of the Effectiveness of Psychological Interventions on the Iranians' Feeling of Happiness. *Transformational Psychology: Iranian Psychologists*. 2013; 10(37): 61-9.

117. Taylor JL, Gandevia SC. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md: 1985)*. 2008; 104(2): 542-50.

118. Taylor JL, Amann M, Duchateau J, Meeusen R, Rice CL. Neural Contributions to Muscle Fatigue: From the Brain to the Muscle and Back Again. *Medicine and science in sports and exercise*. 2016; 48(11): 2294-306.

119. Stepniewska I, Preuss TM, Kaas JH. Thalamic connections of the primary motor cortex (M1) of owl monkeys. *The Journal of comparative neurology*. 1994; 349(4): 558-82.

120. Vaseghi B, Zoghi M, Jaberzadeh S. Does anodal transcranial direct current stimulation modulate sensory perception and pain? A meta-analysis study. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. 2014; 125(9): 1847-58.

121. Mauger AR. Fatigue is a pain- the use of novel neurophysiological techniques to understand the fatigue-pain relationship. *Frontiers in physiology*. 2013; 4: 104.

122. Robertson CV, Marino FE. A role for the

prefrontal cortex in exercise tolerance and termination. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md: 1985). 2016; 120(4): 464-6.

123. Van Cutsem J, Marcora S, De Pauw K, Bailey S, Meeusen R, Roelands B. The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. 2017; 47(8): 1569-88.

124. Rupp T, Perrey S. Prefrontal cortex oxygenation and neuromuscular responses to exhaustive exercise. *European journal of applied physiology*. 2008; 102(2): 153-63.

125. Rooks CR, Thom NJ, McCully KK, Dishman RK. Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near- infrared spectroscopy: a systematic review. *Progress in neurobiology*. 2010; 92(2): 134-50.

126. Oppenheimer SM, Gelb A, Girvin JP, Hachinski VC. Cardiovascular effects of human insular cortex stimulation. *Neurology*. 1992; 42(9): 1727-32.

127. Napadow V, Dhond R, Conti G, Makris N, Brown EN, Barbieri R. Brain correlates of autonomic modulation: combining heart rate variability with fMRI. *NeuroImage*. 2008; 42(1): 169-77.

128. Montenegro RA, Farinatti Pde T, Fontes EB, Soares PP, Cunha FA, Gurgel JL, et al. Transcranial direct current stimulation influences the cardiac autonomic nervous control. *Neuroscience letters*. 2011; 497(1): 32-6.

129. López-Alonso V, Fernández- Del- Olmo M, Costantini A, Gonzalez- Henriquez JJ, Cheeran B. Intra-individual variability in the response to anodal transcranial direct current stimulation. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. 2015; 126(12): 2342-7.

130. Miranda PC, Mekonnen A, Salvador R, Ruffini G. The electric field in the cortex during transcranial current stimulation. *NeuroImage*. 2013; 70: 48-58.

131. Frazer AK, Williams J, Spittle M, Kidgell DJ. Cross- education of muscular strength is facilitated by homeostatic plasticity. *European journal of applied physiology*. 2017; 117(4): 665-77.

132. Zénon A, Sidibé M, Olivier E. Disrupting the

supplementary motor area makes physical effort appear less effortful. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*. 2015; 35(23): 8737-44.

133. de Morree HM, Klein C, Marcora SM. Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology*. 2012; 49(9): 1242-53.

134. Wiethoff S, Hamada M, Rothwell JC. Variability in response to transcranial direct current stimulation of the motor cortex. *Brain stimulation*. 2014; 7(3): 468-75.

135. Madhavan S, Sriraman A, Freels S. Reliability and Variability of tDCS Induced Changes in the Lower Limb Motor Cortex. *Brain Sci*. 2016; 6(3).

136. Faridnia M, Shojaei M, Rahimi A. The effect of neurofeedback training on the anxiety of elite female swimmers. *Annals of Biological Research*. 2012; 3: 1020-8.

137. Raymond J, Sajid I, Parkinson LA, Gruzeliere JH. Biofeedback and dance performance: a preliminary investigation. *Applied psychophysiology and biofeedback*. 2005; 30(1): 64-73.

138. Rostami R, Sadeghi H, Karami KA, Abadi MN, Salamati P. The Effects of Neurofeedback on the Improvement of Rifle Shooters' Performance. *Journal of Neurotherapy*. 2012; 16(4): 264-9.

139. Wagner T, Fregni F, Fecteau S, Grodzinsky A, Zahn M, Pascual- Leone A. Transcranial direct current stimulation: a computer-based human model study. *NeuroImage*. 2007; 35(3): 1113-24.

140. Button KS, Ioannidis JP, Mokrysz C, Nosek BA, Flint J, Robinson ES, et al. Power failure: why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature reviews Neuroscience*. 2013; 14(5): 365-76.

141. Kessler SK, Turkeltaub PE, Benson JG, Hamilton RH. Differences in the experience of active and sham transcranial direct current stimulation. *Brain stimulation*. 2012; 5(2): 155-62.

142. Fonteneau C, Mondino M, Arns M, Baeken C, Bikson M, Brunoni AR, et al. Sham tDCS: A hidden source of variability? Reflections for further blinded, controlled trials. *Brain stimulation*. 2019; 12(3): 668-73.