مطالعات المپیک
دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۴
ص ص : ۴۲- ۳۱

اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه ای بر عملکرد فوتبالیست‌های نخبه

مهدی ملازاده [*۱] – حسن غرایاق زندی[۲] – بهروز قربانزاده[۳] – علی مقدم‌زاده[۴]

۱.دانش آموخته دکتری روان شناسی ورزشی، گروه علوم رفتاری و شناختی دانشکده علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه تهران، تهران، ایران۲. دانشیار روان شناسی ورزشی، گروه علوم رفتاری و شناختی دانشکده علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه تهران، تهران، ایران۳. دانشیار رفتارحرکتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران۴. دانشیار گروه روش‌ها و برنامه‌های آموزشی و درسی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت : ۲۷/ ۰۵/ ۱۴۰۳ ، تاریخ تصویب : ۱۲/ ۰۹/ ۱۴۰۳)

چکیده

هدف پژوهش حاضر تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای بر عملکرد فوتبالیست‌های نخبه است. مطالعه حاضر از نوع مطالعات نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون- پس‌آزمون است. جامعه آماری این پژوهش فوتبالیست‌های نخبه مرد استان تهران در سال ۱۴۰۱ بود که ۳۶ نفر از آن‌ها به‌صورت نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و به‌صورت تصادفی به ۳ گروه تحریک قشر بینایی (۱۲ نفر)، تحریک ساختگی (۱۲ نفر) و گروه کنترل (۱۲ نفر) تقسیم شدند. مداخله تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای بدین‌صورت بود که در تحریک قشر بینایی الکترودها در آند **Oz** و کاتد**Cz** قرار می‌گیرند. برای بررسی مستقل متغیرها در گروه‌های مورد بررسی از آزمون تی همبسته استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری **SPSS** نسخه ۲۴ در سطح معنی‌داری ۰۵ / ۰ انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد میانگین عملکرد فوتبالیست‌ها پس از تحریک الکتریکی **ltdcs** در گروه **tDCS** قشر بینایی از ۱۰/۱۵ ± ۴۷/۸۰ به ۹/۳۲± ۴۹/۶۰ درصد افزایش یافته است اما با توجه به سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تفاوت معنی‌دار در این گروه قابل مشاهده نمی‌باشد (< **P-Value**۰,۰۵). نتایج نشان داد که تحریک الکتریکی از قشر بینایی بر عملکرد فوتبالیست‌های ماهر مؤثر نیست. با توجه به اثرات مثبت تحریک الکتریکی بر عملکرد ورزشکاران فوتبال، پیشنهاد می‌شود تحریک الکتریکی از سایر نواحی قشر مغز به‌ویژه قشر حرکتی و ناحیه **DLPFC** که در پیشینه پژوهشی بر آن تأکید می‌شود انجام شود.

واژه‌های کلیدی

تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای، قشر بینایی، عملکرد فوتبالیست‌ها.

[*] نویسنده مسئول : پست الکترونیکی:mahdi.mollazadeh@ut.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر دانش، در مورد رفتار سیستم عصبی مرکزی در طول ورزش پیشرفت کرده است. مطالعات متعددی از تکنیک‌های تصویربرداری عصبی برای بررسی اینکه چگونه مغز ورزش را کنترل می‌کند و برعکس، چگونه ورزش بر عملکرد مغز تأثیر می‌گذارد، استفاده کرده است (۱). گام اول از مطالعات انجام شده در زمینه‌ی تکنیک‌های تصویربرداری عصبی ارائه شده است که در آن نقش نواحی ویژه مغزی در طول تمرین یک عضله یا تمرینات کل بدن مشخص شده است .به‌علاوه، یک رویکرد جالب جدید توسط مطالعات انجام شده در زمینه تکنیک‌های غیرتهاجمی برای دستکاری مناطق ویژه مغزی ارائه شده است. این تکنیکها اغلب شامل استفاده از یک میدان الکتریکی یا مغناطیسی است که از مغز می‌گذرد، در این راستا ادبیات در حال رشدی وجود دارد که امکان تأثیر بر نتایج ورزشی، پس از تحریک مناطق ویژه مغز، در افراد سالم را نشان می‌دهند . به‌طور خاص، اخیراً tDCS قبل از تمرین ورزشی برای بهبود عملکرد ورزشی در طیف وسیعی از انواع ورزش‌ها استفاده شده است (۲).

در سال‌های اخیر علاقه فزاینده‌ای به استفاده از تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال (tDCS) مشاهده شده است (۳). tDCS شامل اعمال جریان‌های الکتریکی ضعیف، معمولاً بین ۱ میلی‌آمپر تا ۲ میلی‌آمپر، به پوست سر با استفاده از حداقل دو الکترود است: یک آند با بار مثبت و یک کاتد با بار منفی. اعتقاد بر این است که جریان به‌طور نامحسوس پتانسیل غشای استراحت نورون‌ها را بر اساس قطبیت الکترود تغییر می‌دهد. تحریک آنودال به‌طور کلی باعث دپلاریزاسیون پتانسیل غشاء و افزایش تحریک پذیری قشر مغز می‌شود، در حالی که تحریک کاتدی معمولاً منجر به هایپرپلاریزاسیون و کاهش تحریک پذیری قشر مغز می شود (۴).

یک فرض غالب وجود دارد که یک جریان آندال مثبت به‌طور موقت رفتارهای مرتبط با ناحیه قشر زیر الکترود هدف را افزایش می‌دهد، در حالی که یک جریان کاتدی منفی رفتارها را سرکوب می‌کند (۵).

تحقیقات نشان‌می‌دهد که tDCS می‌تواند باعث افزایش انعطاف‌پذیری عصبی شود (۶). مطالعات اخیر، کارآمدی تمرینات افزایش مهارت روان‌شناختی را به‌عنوان تکنیکی تخصصی برای رشد مهارت‌های ورزشی در ورزشکاران جوان نشان داده‌اند (۷). ورزش فوتبال نیز از این قاعده مستثنی نیست. فوتبال امروزه به‌عنوان یک فرا ورزش مستلزم نگاه عمیق و آکادمیک تری است. به‌گونه‌ای که باشگاه‌های بزرگ فوتبال جهان از اهمیت بالای این موضوع مطلع شده و درزمینه‌های مختلف از علم روانشناسی ورزشی بهره می‌برند. یکی از تأثیرگذارترین حوزه‌های روانشناسی در فوتبال، آنجایی است که به‌دنبال ایجاد آمادگی روان‌شناختی برای بازیکنان و همین‌طور تأثیرگذاری بر اجرای مهارت‌های تکنیکی فوتبال دارد. اثربخشی ابزار تمرینات ذهنی بر روی مهارت‌های فوتبال اعم از شوت، دریبل و پاس و ... طی چند سال اخیر بر همگان مبرهن شده است. اکستراند و همکاران (۸) ، زمانی و همکاران (۹)، بلومنستین و لیدرو (۱۰)، صادقی و همکاران (۱۱) هم در پژوهش‌های خود با فوتبالیست‌ها به این نتیجه رسیدند که آموزش مهارت‌های روان‌شناختی مانند تصویرسازی ذهنی، تن آرامی و خودگویی استرس ورزشکاران را در هنگام ورزش کاهش می‌دهد و عملکرد آن‌ها را ارتقا می‌بخشد.

بدیهی است هر چه یک بازیکن فوتبال در استفاده از ابزار تمرین ذهنی خوب آموزش‌دیده و به مهارت‌های روانی موردنیاز در بازی خود دست بیابد، در نتیجه در اجرای

تکنیک‌های فوتبال موفق‌تر بوده و عملکرد خود را افزایش خواهد داد. انجام بازی فوتبال به عوامل مختلفی وابسته است از آن جمله می‌توان به مهارت‌های تکنیکی و تاکتیکی، توان بدنی، و توانایی‌های شناختی اشاره کرد. بیشتر این عوامل را می‌توان به‌وسیله تمرین و تحریک مغزی توسعه داد (۱۲, ۱۳) بنابراین تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال (tDCS) به‌عنوان یک ابزار بالقوه برای بهبود عملکرد شناختی و حرکتی در بازیکنان فوتبال و ورزشکاران مورد توجه قرار گرفته است (۱, ۱۴). کمالی و همکاران تحریک جریان مستقیم ترانس کرانیال (tDCS) به‌عنوان یک تکنیک امیدوارکننده برای افزایش عملکرد ورزشی از طریق تعدیل تحریک پذیری قشر مغز را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تحریک tDCS ممکن است به‌طور بالقوه عملکرد کلی ورزشی را در بدنسازان باتجربه بهبود بخشد(۱۵). آنژیوس و همکاران نیز در پژوهش خود بهبود عملکرد استقامتی را در افراد سالم بر اثر تحریک جریان مستقیم فرا جمجمه‌ای گزارش کردند (۱۶). البته ادبیات نشان‌می‌دهد که نتایج در مورد اثرات tDCS بر عملکرد ورزشکاران بحث‌برانگیز است، آرناس و همکاران (۱۷) هیچ بهبود قابل توجهی در عملکرد پرش عمودی جوانان غیرورزشکار با ۱۵ دقیقه tDCS مشاهده نکردند. این نتایج ممکن است به دلیل تفاوت در روش های مطالعه، مانند ولتاژ، زمان تحریک، ناحیه هدف مغز تحریک شده یا جمعیت مورد مطالعه رخ داده باشد (۱۷). با این حال متاآنالیزهای اخیرنیز اثر مثبت قابل توجهی از tDCS بر روی عملکرد ورزشی نشان دادند (۱۸, ۱۹).

در سال‌های اخیر یکی از دغدغه‌های اصلی محققان علوم ورزشی در حوزه فوتبال، پیدا کردن راهکارهایی جدید برای افزایش سطح عملکرد ورزشکاران بوده و جهت دستیابی به این مهم، از روش‌ها و ابزارهای مختلفی استفاده‌شده است. فوتبال هم در دنیا و هم در کشور ما ایران به‌عنوان رشته‌ای پرمخاطب و جذاب شناخته می‌شود؛ بنابراین حفظ و ارتقا آمادگی روان شناختی بازیکنان فوتبال همواره یکی از چالش‌های پیش روی مربیان و دست‌اندرکاران این رشته بوده است. از سویی دیگر کمبود توجه مخصوصاً درزمینه تحقیقاتی در کشور ما وجود دارد. تحقیقات فوتبالی صورت گرفته در رابطه با ویژگی‌های روانی شناختی و همچنین راهکارهایی برای بهبود این عوامل در این رشته ورزشی در کشور با کمبودهایی روبه‌روست که التزام تحقیقات گستره در این حوزه را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد. با اینکه، تمرین عامل بسیار مهمی درزمینه‌ی بهبود دائمی توانایی اجرای مهارت‌های حرکتی است. اما بررسی نقش مغز و رفتار انسان نشان می‌دهد که موفقیت یا شکست ورزشکاران در رقابت‌های مهم ورزشی تا حد زیادی به آمادگی روان شناختی آن‌ها بستگی دارد. روانشناسان و متخصصین علوم اعصاب معتقدند که تفاوت در آمادگی روان شناختی و چگونگی فعالیت مغز می‌تواند عامل تعیین‌کننده در رقابت‌های ورزشی باشد (۲۰) همچنین در طول فصل مسابقات، ورزشکاران باید به‌دنبال بهبود عملکرد خود باشند. از این نظر، بارهای تمرینی (یعنی فرکانس، مدت زمان و شدت) زیاد می‌شوند(۲۱). بنابراین، ورزشکاران ممکن است علائم خستگی را تجربه کنند که ظرفیت عضلانی برای عملکرد را کاهش می‌دهد (۲۱, ۲۲). در نتیجه، کنترل بار تمرینی در طول فصل برای ارزیابی عملکرد و اجتناب از مشکلات مرتبط با بیش تمرینی، خستگی (خستگی که از هفته‌ها تا ماه‌ها طول می‌کشد) و آسیب‌ها ضروری است(۲۱). در حال حاضر، چندین استراتژی ارگوژنیک برای بهینه سازی عملکرد ورزشی استفاده می‌شود. این استراتژی‌ها مانند استراحت، خواب کافی، هیدراتاسیون، منابع فیزیوتراپی، تغذیه و تکنیک‌های تحریک عصبی اقدامات انرژی‌زای مفیدی برای بهبود و عملکرد هستند (۲۳, ۲۴)، در میان

آنها، تحریک غیر تهاجمی مغز، مانند تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای (tDCS)، برای بهبود عملکرد ورزشی مشهور شده است که دلیل آن ایمنی، کم‌هزینه بودن و استفاده آسان تکنیک است (۱۸).

بنابراین با توجه به اهمیت و نقش تحریک tDCS به عنوان یک استراتژی کم‌هزینه، با ایمنی بالا و در دسترس، در ورزش فوتبال از یک سوء و از سوی دیگر با توجه به بحث بر انگیز بودن نتایج در اثربخشی تحریکtDCS بر عملکرد ورزشکاران، پژوهش حاضر می‌خواهد پاسخگوی این مورد باشد که آیا تحریک الکتریکی مستقیم مغز از قشر بینایی بر عملکرد فوتبالیست‌های نخبه اثربخش خواهد بود یا خیر.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر، با توجه به اهداف پیش بینی شده، از نوع تحقیقات نیمه تجربی و همچنین با توجه به طول زمان اجرای تحقیق از نوع مقطعی بود. طرح پژوهش حاضر پیش آزمون -پس آزمون و از لحاظ هدف از دسته تحقیقات کاربردی بود. همچنین پژوهش حاضر به‌لحاظ اجرا به صورت میدانی اجرا گردید. جامعه آماری این پژوهش تمام فوتبالیست‌های نخبه مرد استان تهران در سال ۱۴۰۱ بود که ۳۶ نفر از آن‌ها به‌صورت نمونه‌گیری در دسترس انتخاب و به‌صورت تصادفی به ۳ گروه تحریک قشر بینایی (۱۲ نفر)، تحریک ساختگی (۱۲ نفر) و کنترل (۱۲ نفر) تقسیم شد. در تعریف فوتبالیست‌های نخبه در پژوهش حاضر، ورزشکاری فوتبالیست نخبه به‌حساب آمد که حداقل ۷ سال، هفته‌ای سه جلسه سابقه فعالیت در این رشته ورزشی را داشت (۲۵) یا عضو تیم‌های باشگاهی استان تهران بود. لازم به ذکر است که به‌علت مصدومیت یکی از ورزشکاران به‌خاطر طبیعت رشته فوتبال، گروه ساختگی از ۱۲ نفر در ابتدای پژوهش به ۱۱ نفر تقلیل یافت. معیار ورود به پژوهش شامل: تمامی شرکت‌کنندگان از جنس مرد بود. دامنه سنی این نمونه از بین ۱۸ تا ۳۵ سال بود، تمامی شرکت‌کنندگان فوتبالیست بودند، تمامی شرکت‌کنندگان سلامت کامل، تمامی شرکت‌کنندگان حداقل ۷ سال سابقه فوتبال حرفه‌ای در سطح یکی از لیگ‌های کشور داشتند، همه شرکت‌کنندگان از لحاظ روانی سالم بودند. معیار خروج شامل، عدم تکمیل کامل پرسشنامه‌های پژوهش و عدم دریافت هرگونه برنامه و تمرینات روانشناسی ورزشی قبل و در حین انجام پژوهش، عدم تمایل به شرکت در تحقیق، غیبت در روز انجام تحقیق، آسیب‌دیدگی در مراحل مختلف تحقیق بود.

ابزار

فرم رضایت آگاهانه: از این فرم جهت جلب رضایت شرکت‌کنندگان برای شرکت در مطالعه حاضر استفاده گردید

پرسش‌نامه غربالگری سلامت تی دی سی اس: پرسش نامه غربالگری سلامت تی دی سی اس[1]که برای بررسی شاخص‌های موردنیاز جهت ایمن و مناسب بودن استفاده از تی دی سی اس برای شرکت‌کننده‌ها استفاده شد. پرسش نامه غربالگری سلامت برای اولین بار با عنوان پرسش‌نامه غربالگری سلامت تی ام اس توسط کیل[2] و همکاران (۲۰۰۱) تدوین شد (۲۶).

تحریک الکتریکی مغز: برای تحریک الکتریک مغز از دستگاه تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای (tDCS) استفاده شد. دستگاه مورداستفاده در این پژوهش Dose Activeو منبع جریان این دستگاه یک باتری ۹ و لت است. حداکثر شدت‌جریان ۴ میلی‌آمپر DC بود که از طریق

[1] Safety Screening Questionnaire for tDCS

[2] Keel

اتصال الکترودهایی با قطبیت متفاوت (آند و کاتد) روی پوست سر نصب شد و جریان ثابت الکتریکی را از روی جمجمه به مغز منتقل کرد. (۲۷). در این پژوهش، الکترودها درون پدهای اسفنجی ۳۵ سانتی‌متر مربعی قرار گرفتند و سطح پدها با محلول کلرید سدیم ۹ درصد آغشته شد تا ضمن افزایش رسانایی جریان الکتریکی از افزایش حرارت پیشگیری شود، دستگاه از لحاظ شدت‌جریان، اندازه الکترود و مدت‌زمان تحریک قابل‌کنترل بود. ناحیه تحریک الکتریکی مستقیم فرا جمجمه‌ای در پژوهش حاضر قشر بینایی بود بدین‌صورت که طبق سیستم‌های بین المللی 20-10 توسط درمانگر متخصص، محل قرارگیری الکترود مثبت، روی محل Oz و الکترود منفی روی ناحیه Czبسته شد. در این مطالعه، از تحریک الکتریکی با جریان ۱/۵ میلی‌آمپر و به‌مدت ۱۵ دقیقه استفاده شد.

عملکرد ورزشی: برای سنجش عملکرد ورزشکاران فوتبالیست میزان پاس‌های صحیح در جریان مسابقات، قبل و بعد از مداخله مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیر وابسته‌ای که در مطالعه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، درصد ارسال پاس‌های صحیح توسط هر بازیکن، در جریان مسابقات است (۲۸). به‌عبارتی نسبت پاس‌های صحیح ارسالی توسط هر بازیکن به‌کل پاس‌هایی که یک بازیکن در جریان مسابقات رسمی داده است، محاسبه می‌شود. ارزیابی این متغیر به روش فیلمبرداری و آنالیز تصاویر ویدیوئی بعد از اتمام مسابقه توسط گروه مربیان حرفه‌ای مربی فوتبال با درجه مربی گری A فوتبال، صورت گرفت. در هر مورد، رأی نهایی کمیته مذکور به‌عنوان نمره ارزیابی عملکرد بازیکن محسوب شد. شایان‌ذکر است جهت کورسازی یک طرفه مطالعه، افراد حاضر در کمیته نمره دهی نسبت به شرکت کنندگان در دو گروه مداخله و کنترل کور شدند. ارزیابی اولیه به‌کمک فیلم برداری از سه بازی رسمی بازیکنان در ابتدای فصل صورت گرفت؛ توسط گروه مربیان، کیفیت هر سه مورد از فیلم‌ها برای هر یک از مطالعات جهت آنالیز عملکردی (performance analysis) مورد تأیید قرار گرفت. فیلم برداری نهایی نیز همانند مرحله اول و بعد از انجام مداخله انجام شد و مشابه با ارزیابی اولیه، سه مورد از بازی‌های رسمی به‌عنوان مرجع آنالیز نهایی انتخاب شد.

روند اجرای پژوهش

برای جمع‌آوری داده‌های مربوط ابتدا از شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه‌ی آگاهانه‌ی کتبی کسب شد. بعدازآن شرکت‌کنندگان با اهداف تحقیق و نحوه امتیازدهی‌ها و اجرای آزمون‌های موردنظر آشنا شدند.

بعد از انتخاب نمونه آماری آن‌ها به‌صورت تصادفی در ۳ گروه ۱۲ نفره (یک گروه تحریک قشر بینایی، یک گروه ساختگی و یک گروه کنترل) تقسیم شدند. گروه کنترل تمرینات روزانه خود را داشتند و ۲ گروه مداخله نیز وارد فرایند تحقیق شدند. برای سنجش عملکرد فوتبالیست ها با استفاده از درصد ارسال پاس‌های صحیح توسط هر بازیکن، نمرات آن‌ها به‌عنوان پیش‌آزمون ثبت شد.

بعد از مرحله پیش‌آزمون، مرحله مداخله انجام گرفت. مرحله مداخله در ۶ روز پشت‌سر هم انجام گرفت مطالعات قبلی نشان داده‌بودند که روند این مدت تأثیرات امیدوارکننده‌ای را به‌دنبال دارد و از آن می‌توان به‌عنوان روندی مؤثر سود جست(۲۹). در گروه تحریک الکتریکی مستقیم قشر بینایی شرکت‌کنندگان در هر روز پیش از تمرین به‌مدت: ۱۵ دقیقه تحریک الکتریکی مغز فرا جمجمه‌ای قشر بینایی (آند Oz و کاتد Cz)را دریافت کردند بدین‌صورت که در تحریک الکتریکی آندی جریان مستقیم ۱/۵ میلی‌آمپر در تمام طول مدت تحریک به فرد وارد شد و سپس به تمرینات و مسابقات روزانه خود پرداختند.

در گروه تحریک الکتریکی ساختگی تصنعی شرکت‌کنندگان در هر روز پیش از تمرین به‌مدت ۱۵ دقیقه تحریک الکتریکی ساختگی را دریافت کردند. در این گروه بعد از اتصال الکترودها جریان الکتریکی ۱/۵ میلی‌آمپر به فرد وارد شد؛ اما بعد از گذشت ۳۰ ثانیه بدون اینکه به فرد اطلاعی داده شود، جریان الکتریکی قطع شد و سپس به تمرینات و مسابقات روزانه خود پرداختند.

بعد از شش روز متوالی تمرینات، در روز هفتم مرحله پس‌آزمون انجام گرفت و درصد ارسال پاس‌های صحیح توسط هر بازیکن اندازه‌گیری و ثبت شد. این پژوهش با شناسه اخلاق IR.SSRI.REC.1397.291 -۴۵۹۷۵ توسط پژوهشگاه تربیت بدنی مصوب گردید و در وبگاه کمیته اخلاق پژوهشگاه تربیت بدنی نیز قابل مشاهده می باشد.

روش آماری

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل اطلاعات، از روش‌های آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی، از آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده گردید. برای بررسی مستقل متغیرها در گروه‌های مورد بررسی از آزمون تی همبسته استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماریSPSS نسخه ۲۴ در سطح معنی‌داری ۰۵ / ۰ انجام گرفت.

یافته‌ها

یافته‌های مربوط به ویژگی‌های دموگرافیک شرکت کنندگان

شاخص‌های آماری مربوط به سن و سابقه ورزشی شرکت‌کنندگان در پژوهش در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

جدول ۱: مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها

متغیر	tDCS قشر بینایی	tDCS ساختگی	کنترل	تحلیل واریانس
سن (سال)	۲۴/۴۰ ± ۴/۰۰	۲۷/۱۸ ± ۴/۱۱	۲۷/۰۸ ± ۳/۶۸	**($F_{۵۲،۴}$=۰/۸۴۰، sig=۰/۵۰۶)**
تجربه (سال)	۹/۸۰ ± ۲/۶۲	۱۰/۸۱ ± ۲/۴۸	۱۱/۲۵ ± ۲/۳۴	**($F_{۵۲،۴}$=۱/۰۷۳، sig=۰/۳۷۹)**

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، گروه‌های مورد بررسی در این مطالعه در متغیرهای سن (P-Value=۰/۵۰۶-) و تجربه یا سابقه ورزشی (P-Value=۰/۳۷۹) همگن می‌باشند.

بررسی نرمال بودن متغیرهای تحقیق

جهت بررسی نرمال بودن داده‌های این پژوهش از آزمون شاپیرو ویلک استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد. نتایج این آزمون نشان داد که تمامی متغیرهای تحقیق از توزیع نرمال پیروی می‌کنند (P-Value>0.05).

جدول ۲. نتایج آزمون شاپیرو ویلک برای بررسی توزیع داده‌های پژوهش

متغیر	مرحله	tDCS قشر بینایی	tDCS ساختگی	کنترل
عملکرد	پیش‌آزمون	۰/۸۵۰	۰/۰۶۵	**۰/۰۵۲**
	پس‌آزمون	۰/۱۷۰	۰/۵۵۲	**۰/۱۶۴**

بررسی مستقل متغیرها در گروه‌های مورد بررسی

با توجه به این نکته که پژوهش از نوع مداخله‌ای با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بوده است، برای آزمون هر گروه به طور مستقل از آزمون تی همبسته استفاده شد. جدول ۳ نتایج حاصل از آزمون تی همبسته را برای بررسی عملکرد شرکت‌کنندگان در ۴ گروه tDCS قشر حرکتی، tDCS قشر بینایی، tDCS ساختگی و گروه کنترل نشان‌می‌دهد.

جدول ۳. نتایج آزمون تی همبسته برای متغیر عملکرد

	مرحله	تعداد	میانگین	انحراف‌معیار	tآماره	sig
tDCS قشر بینایی	پیش‌آزمون	۱۰	۴۷/۸۰	۱۰/۱۵	-۱/۸۰۴	۰/۱۰۵
	پس‌آزمون	۱۰	۴۹/۶۰	۹/۳۲		
tDCS ساختگی	پیش‌آزمون	۱۱	۴۹/۳۶	۶/۷۵	-۰/۸۵۲	۰/۴۱۴
	پس‌آزمون	۱۱	۵۰/۰۹	۶/۳۴		
کنترل	پیش‌آزمون	۱۲	۴۸/۰۰	۶/۸۶	-۰/۶۹۵	۰/۵۰۱
	پس‌آزمون	۱۲	۴۸/۸۳	۶/۱۶		

*تفاوت معنی‌دار (*P_Value* <۰/۰۵)

نتایج حاصل نشان داد میانگین عملکرد شرکت‌کنندگان پس از تحریک الکتریکی ltdcs در گروه tDCS قشر بینایی از ۱۰/۱۵ ± ۴۷/۸۰ به ۹/۳۲± ۴۹/۶۰ درصد افزایش یافته است اما با توجه به سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تفاوت معنی‌دار در این گروه قابل مشاهده نمی‌باشد (*P-Value* <0.05). با توجه به سطح معنی‌داری، این تفاوت در بین سایر گروه‌های مورد بررسی مشاهده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری

اخیراً، علاقه زیادی به استفاده از tDCS برای افزایش عملکرد ورزشی و تسهیل انعطاف‌پذیری عصبی و سازگاری تمرینی وجود داشته است (۳۰). مطالعه حاضر نیز باهدف اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم مغز از قشر بینایی بر عملکرد فوتبالیست‌های نخبه انجام گرفت. نتایج نشان داد که تحریک الکتریکی مستقیم مغز از ناحیه قشر بینایی در مقایسه با تحریک ساختگی و گروه کنترل موجب بهبود عملکرد فوتبالیست‌ها نشد.

پژوهش حاضر در تأثیر نداشتن تحریک الکتریکی فراجمجمه ای از قشر بینایی بر عملکرد فوتبالیست‌ها با پژوهش ماعدا و همکاران (۳۱) هم راستاست. ماعدا و همکاران (۳۱) به بررسی اثرات تحریک جریان مستقیم ترانس کران یال آندال بر تمرینات قدرتی عضلات اندام تحتانی در ۲۴ شرکت‌کننده سالم پرداختند و گزارش کردند tDCS آندال قدرت عضلات اندام تحتانی را در افراد سالم افزایش نداد. پارک و همکاران (۳۲) نیز در یک طرح تصادفی، یک سوکور و متوازن، که در آن ۱۰ مرد آموزش دیده شرکت کردند. پس از دریافت ۲۰ دقیقه tDCS آندال ۱,۹۸ میلی آمپری گزارش کردند که استفاده از تحریک tDCS تغییری در شاخص مربوط به عملکرد ورزشی ایجاد نمی‌کند.. سیدل و راجرت نیز در پژوهش خود با عنوان اثربخشی تحریک جریان مستقیم فراجمجمه ای بر زمان واکنش و عملکرد ضربه زدن بین ورزشکاران و غیر ورزشکاران گزارش کردند که داده‌های ما هیچ اثر خاص ناشی از tDCS (آنلاین و آفلاین) روی زمان واکنش ساده و عملکرد ضربه زدن را نه برای اندام‌های تحتانی و نه برای اندام فوقانی نشان نداد (۳۳).

اما این یافته با پژوهش‌های آنژیوس و همکاران (۱۶)، کمالی و همکاران (۳۴) ، ویتور و کاستا (۳۵) و کایسر و همکاران (۳۶) ناهمسان است. پژوهش آنژیوس و همکاران

نشان داد که تحریک جریان مستقیم فرا جمجمه‌ای عملکرد استقامتی را در افراد سالم بهبود می‌بخشد (۱۶). کمالی در یک تحقیق گزارش کرد که تحریک از قشر مغز باعث افزایش دقت عملکرد در تیراندازان حرفه‌ای تپانچه می‌شود. در واقع، مداخله tDCS میانگین امتیاز تیراندازی تیراندازان با تپانچه را ۲,۳ درصد افزایش داد (۱۵). علاوه بر این، یک مطالعه روی دوچرخه‌سواران و یکی از تحقیقات قبلی ما روی بدنسازان، تأثیر ۱۳ دقیقه تحریک را در افزایش عملکرد ورزشی نشان داد (۳۵). مطالعه کایسر و همکاران نیز با هدف بررسی تأثیر tDCS بر یادگیری ادراکی بصری در انسان‌های سالم انجام شد. و نتایج نشان داد که tDCS آندال منجر به افزایش تحریک‌پذیری قشر مغز و بهبود عملکرد می‌شود (۳۶).

در تبیین دلایل تکرار نشدن نتایج همسان در همه پژوهش‌ها احتمالاً بسیاری از عوامل مانند سوگیری انتشار (۳۷)، پروتکل‌های تحریک ناسازگار و متغیرهای بین فردی مانند آناتومی عصبی، جنس، سن، شیمی عصبی و وضعیت سلامت و هوشیاری در این عدم تکرارپذیری نقش دارند. این نشان‌می‌دهد که یک پروتکل tDCS تعمیم‌یافته برای هر شرکت‌کننده به‌دلیل ویژگی‌های آناتومیکی مغز متفاوت، کارایی متفاوتی دارد (۳۸، ۳۹). با این حال، اگر اثر tDCS در سایر پروتکل‌های تحریک ثابت بماند، می‌تواند تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر تحقیقات آینده داشته‌باشد. بنابراین، ممکن است پروتکل صحیح همیشه باید برای هر شخص و برنامه جداگانه پیکربندی شود(۴۰). به‌طور خلاصه، در حالی که به نظر می‌رسد tDCS یک ابزار امیدوارکننده برای افزایش عملکرد ورزشی باشد(۱۸, ۱۹)، کاربرد آن در ورزش هایی مانند فوتبال نیاز به اصلاح بیشتری دارد. تنوع در نتایج در مطالعات مختلف بر اهمیت ایجاد پروتکل‌های تحریک بهینه و درک مکانیسم‌های زیربنای اثرات tDCS تأکید می‌کند. تحقیقات آینده باید بر روی اثرات طولانی مدت، تفاوت‌های فردی در پاسخ به tDCS و ادغام آن در برنامه‌های آموزشی و بازیابی جامع تمرکز کند. این به ایجاد دستورالعمل‌های واضح‌تر و به حداکثر رساندن مزایای tDCS برای عملکرد ورزشکاران در ورزش‌های رقابتی کمک می کند.

همچنین در تبیین ناهمخوانی نتایج پژوهش حاضر با موارد گفته‌شده بالا با استناد به پژوهش فراگنی و همکاران (۴۱) که گزارش کردند اثر تقویت‌کنندهtDCS نسبتاً به‌صورت کانونی رخ می‌دهد و مختص محل تحریک است (۴۱). می‌توان گفت تحریک الکتریکی مغز بر روی قشر بینایی، منجر به بهبود عملکرد نمی‌شود پس باتوجه به تأثیر مثبت تحریک الکتریکی بر عملکرد ورزشکاران (۱۸, ۱۹) و مخصوصاً در ورزش فوتبال (۱۴)، پیشنهاد می‌شود تحریک الکتریکی از سایر نواحی قشر مغز به‌ویژه ناحیه DLPFC و قشر حرکتی که در پیشینه پژوهشی بر آن تأکید می‌شود انجام شود. از محدودیت‌های پژوهش حاضر عدم کنترل محقق روی تمرینات احتمالی ذهنی یا بدنی از تکلیف مورد نظر در خارج از جلسات تمرینی علی‌رغم دادن تذکرات لازم در این مورد به آنها بود. یکی از محدودیت‌های مهم پژوهش حاضر اثرگذاری تفاوت پست بازیکنان فوتبال و تفاوت سطح بازیکنان تیم مقابل بر روی عملکرد آزمودنی‌های پژوهش بود که خارج از کنترل پژوهشگر بود. تک جنس بودن آزمودنی‌ها قابلیت تعمیم نتایج را به جنسیت مؤنث کاهش می‌دهد. عدم وجود دوره‌های پیگیری مانع از شناخت اثرات طولانی‌مدت این تکنیک شد. لذا پیشنهاد می‌شود این موارد در صورت امکان در پژوهش‌های آتی مدنظر قرار گیرد.

References

1. Mansouri, J., ranjbar, S., Shahvaroughi, A., Rostami, R. Application and effectiveness of tDCS (transcranial direct current stimulation) in sport performance enhancement of athletes: A review study. cultural- Social studies of Olympic, 2024; 2(1): 29-48.
2. Angius L, Hopker J, Mauger AR. The ergogenic effects of transcranial direct current stimulation on exercise performance. Frontiers in physiology. 2017;8:90.
3. 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.
4. 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):633.
5. Nitsche MA, Cohen LG, Wassermann EM, Priori A, Lang N, Antal A, et al. Transcranial direct current stimulation: state of the art 2008. Brain stimulation. 2008;1(3):206-23.
6. Pellicciari M, Miniussi C, Rossini P, De Gennaro L. Increased cortical plasticity in the elderly: changes in the somatosensory cortex after paired associative stimulation. Neuroscience. 2009;163(1):266-76.
7. Gucciardi DF, Gordon S, Dimmock JA. Evaluation of a mental toughness training program for youth-aged Australian footballers: I. A quantitative analysis. Journal of applied sport psychology. 2009;21(3):307-23.
8. Barati, Tahmasabi, Bigler, Karim. Sports injuries related to the personality characteristics of elite Iranian wrestlers. Journal of sports movement growth and learning. 2016;8(3);451-65.
9. Zamani, Andar G, friends. The effect of transcranial electrical brain stimulation on working memory and reaction time of female athletes. Neuropsychology. 2018;3(10);51-62.
10. Blumenstein B, Lidor R. Psychological preparation in the Olympic village: A four-phase approach. International Journal of Sport and Exercise Psychology. 2008;6(3):287-300.
11. Sadeghi N, Sani Sahz, Zadeh Nah. The effect of psychological skills training on the psychological profile and performance of young football players in the preparatory phase. Sports psychology. 2020.
12. Thelwell RC, Greenlees IA, Weston NJ. Examining the use of psychological skills throughout soccer performance. Journal of sport behavior. 2010;33(1).
13. Thelwell RC, Greenlees IA, Weston NJ. Using psychological skills training to develop soccer performance. Journal of applied sport psychology. 2006;18(3):254-70.

14. Moreira A, da Silva Machado DG, Moscaleski L, Bikson M, Unal G, Bradley PS, et al. Effect of tDCS on well-being and autonomic function in professional male players after official soccer matches. Physiology & Behavior. 2021;233:113351.

15. Kamali A-M, Kazemiha M, Keshtkarhesamabadi B, Daneshvari M, Zarifkar A, Chakrabarti P, et al. Simultaneous transcranial and transcutaneous spinal direct current stimulation to enhance athletic performance outcome in experienced boxers. Scientific Reports. 2021;11(1):19722.

16. Angius L, Mauger A, Hopker J, Pascual-Leone A, Santarnecchi E, Marcora S. Bilateral extracephalic transcranial direct current stimulation improves endurance performance in healthy individuals. Brain stimulation. 2018;11(1):108-17.

17. Romero-Arenas S, Calderón-Nadal G, Alix-Fages C, Jerez-Martínez A, Colomer-Poveda D, Márquez G. Transcranial direct current stimulation does not improve countermovement jump performance in young healthy men. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2021;35(10):2918-21.

18. Machado DGdS, Unal G, Andrade SM, Moreira A, Altimari LR, Brunoni AR, et al. Effect of transcranial direct current stimulation on exercise performance: a systematic review and meta-analysis. Brain Stimulation. 2019;12(3):593-605.

19. Lattari E, Oliveira BR, Monteiro Junior RS, Marques Neto SR, Oliveira AJ, Maranhao Neto GA, et al. Acute effects of single dose transcranial direct current stimulation on muscle strength: A systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2018;13(12):e0209513.

20. Dane S, Erzurumluoglu A. Sex and handedness differences in eye-hand visual reaction times in handball players. International Journal of Neuroscience. 2003;113(7):923-9.

21. Halson SL. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. Sports medicine. 2014;44(Suppl 2):139-47.

22. Layzer RB. 3 Muscle metabolism during fatigue and work. Bailliere's clinical endocrinology and metabolism. 1990;4(3):441-59.

23. Robson-Ansley PJ, Gleeson M, Ansley L. Fatigue management in the preparation of Olympic athletes. Journal of sports sciences. 2009;27(13):1409-20.

24. Chinzara TT, Buckingham G, Harris DJ. Transcranial direct current stimulation and sporting performance: A systematic review and meta-analysis of transcranial direct current stimulation effects on physical endurance, muscular strength and visuomotor skills. European Journal of Neuroscience. 2022;55(2):468-86.

25. Vermziar, Kothari, Ardakani Kez, Mohammad, Zadeh A, Mousavi, et al. Frohm's set of nine performance tests in elite soccer players: a cross-sectional study. Research in rehabilitation sciences. ۲۰۲۲;۱۸(۱):۴۵-۳۵.

26. Keel JC, Smith MJ, Wassermann EM. A safety screening questionnaire for transcranial magnetic stimulation. Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology. 2001;112(4):720.

27. Jeon SY, Han SJ. Improvement of the working memory and naming by transcranial direct current stimulation. Annals of rehabilitation medicine. 2012;36(5):585-95.

28. Barghi S. T. The Effectiveness of Mental Imagery on the Performance of Elite Football Athletes in Youth and Adults: A Clinical Trial. Journal of Faculty of Medicine, Tehran University of Medical Sciences. 2013;71(3):171-8.

29. Nitsche MA, Liebetanz D, Lang N, Antal A, Tergau F, Paulus W. Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans. Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology. 2003;114(11):2220-3.

30. Davis NJ. Neurodoping: brain stimulation as a performance-enhancing measure. Sports Medicine. 2013;43(8):649-53.

31. Maeda K, Yamaguchi T, Tatemoto T, Kondo K, Otaka Y, Tanaka S. Transcranial direct current stimulation does not affect lower extremity muscle strength training in healthy individuals: A triple-blind, sham-controlled study. Frontiers in neuroscience. 2017;11:179.

32. Park S-B, Sung DJ, Kim B, Kim S, Han J-K. Transcranial direct current stimulation of motor cortex enhances running performance. PloS one. 2019;14(2):e0211902.

33. 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.

34. Kamali A-M, Saadi ZK, Yahyavi S-S, Zarifkar A, Aligholi H, Nami M. Transcranial direct current stimulation to enhance athletic performance outcome in experienced bodybuilders. PloS one. 2019;14(8):e0220363.

35. 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.

36. Sczesny-Kaiser M, Beckhaus K, Dinse HR, Schwenkreis P, Tegenthoff M, Höffken O. Repetitive transcranial direct current stimulation induced excitability changes of primary visual cortex and visual learning effects—A pilot study. Frontiers in behavioral neuroscience. 2016;10:116.

37. Krause B, Kadosh RC. Can transcranial electrical stimulation improve learning difficulties in atypical brain development? A future possibility for cognitive training. Developmental cognitive neuroscience. 2013;6:176-94.

38. Laakso I, Tanaka S, Koyama S, De Santis V, Hirata A. Inter-subject variability in electric fields of motor cortical tDCS. Brain stimulation. 2015;8(5):906-13.

39. Caulfield KA, Badran BW, DeVries WH, Summers PM, Kofmehl E, Li X, et al. Transcranial electrical stimulation motor threshold can estimate individualized tDCS dosage from reverse-calculation electric-field modeling. Brain Stimulation. 2020;13(4):961-9.

40. Thomas F, Steinberg F, Pixa NH, Berger A, Cheng M-Y, Doppelmayr M. Prefrontal high definition cathodal tDCS modulates executive functions only when coupled with moderate aerobic exercise in healthy persons. Scientific Reports. 2021;11(1):8457.

41. Fregni F, Boggio PS, Nitsche M, Bermpohl F, Antal A, Feredoes E, et al. Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. Experimental brain research. 2005;166:23-30.