پژوهش‌نامهٔ فیزیولوژی ورزشی کاربردی **مقاله پژوهشی**
سال هجدهم/ شماره سی و شش/پاییز و زمستان ۱۴۰۱

دریافت: ۱۴۰۲/۵/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۵ ص ص: ۴۵۰-۲۹

تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای بر بازیابی عملکرد عصبی عضلانی و تکنیکی فوتبالیست‌های جوان بعد از مسابقه فوتبال شبیه سازی شده

فاطمه شیراوند[۱]، صادق امانی شلمزاری[۲]، پژمان معتمدی[۳]، احسان امیری[۴]، دانیل ماچادو[۵]

چکیده

اهداف: بازگشت به حالت اولیه سریع در کوران مسابقات فوتبال موضوع مهمی است که چالش زیادی برای مربیان ایجاد کرده است. مطالعه حاضر به بررسی تاثیر تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) بر بازیابی عملکرد عصبی عضلانی و مهارتی بازیکنان فوتبال بعد از یک جلسه مسابقه فوتبال شبیه سازی شده پرداخته است.

روش مطالعه: ۱۲ بازیکن جوان فوتبال داوطلب به طور تصادفی به دو گروه tDCS آندی و شَم تقسیم شدند. تحریک tDCS با شدت ۲ میلی آمپر و به مدت ۲۰ دقیقه در قسمت سمت چپ قشر پیش پیشانی خلفی جانبی (DLPFC) در سه بازه زمانی، بلافاصله، ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از فوتبال شبیه‌سازی شده اعمال شد. وضعیت ریکاوری، درک فشار، مهارت شوت زدن، ارتفاع پرش عمودی و فعالیت الکتریکی عضله پهن جانبی در حین پرش در هر دو حالت شم و tDCS مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر نشان داد که تحریک tDCS باعث افزایش معنی‌دار امتیاز شوت زنی و کاهش معنادار تعداد خطای شوت گردید. تحریک tDCS تاثیری بر وضعیت ریکاوری و فشار درک شده و فعالیت الکتریکی عضلات پایین تنه نداشت.

نتیجه گیری: یافته‌ها حاکی از این هستند که ریکاوری با تحریک tDCS می‌تواند باعث بازیابی اجرای تکنیکی فوتبالیست‌های جوان بعد از مسابقه فوتبال گردد، هرچند بر افزایش فعالیت عصبی عضلانی بی‌تاثیر بود. بنابراین، می‌توان از این روش به عنوان یک روش موثر در کاهش فشارهای فیزیکی و روانشناختی بعد از بازی فوتبال استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: وضعیت ریکاوری، مهارت‌های تکنیکی، مسابقه فوتبال شبیه‌سازی شده

[۱] دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

[۲] استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. نویسنده مسئول: amani_sadegh@khu.ac.ir

[۳] استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

[۴] استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

[۵] استاد مرکز پژوهش علوم اعصاب در حرکات انسان، گروه تربیت بدنی، دانشگاه فدرال ریو گرانده دو نورته، ناتال، برزیل

مقدمه

فوتبال، یک ورزش تیمی و البته محبوب‌ترین ورزش در سراسر جهان است. بازیکنان نخبه، درگیر مسابقات و برنامه‌های تمرینی فشرده هستند. اکثر سیستم های فیزیولوژیکی بدن در طول بازی فوتبال و برنامه‌های تمرینی سنگین، تحت فشار هستند. بنابراین، بازیکنان حرفه‌ای در طی فصل به خصوص در طول مسابقات خستگی را تجربه می‌کنند که این امر باعث اثرات منفی بر اجرای بعدی ورزشکار می‌شود و برخی از بازیکنان را مستعد آسیب‌های ناشی از اضافه بار و ایجاد خستگی، ادراک درد، کاهش هوشیاری و انگیزش برای انجام تمرین در روزهای بعد از مسابقه می‌کند (Brownstein et al., 2017). مسابقه فوتبال باعث تخلیه انرژی (Reilly & Ekblom, 2005)، اختلال در همئوستاز محیطی (Ispirlidis et al., 2008)، آسیب به بافت عضلانی (Nédélec et al., 2012) و در نتیجه کاهش تولید نیرو می‌شود (Thomas et al., 2017). هم‌چنین، کاهش عملکرد عصبی عضلانی (MVC، ارتفاع پرش، سرعت دویدن و دقت شوت) پس از مسابقه فوتبال گزارش شده است (Rampinini et al., 2011). خستگی ذهنی، نقص در توجه و ضعف در تصمیم‌گیری نیز پس از بازی فوتبال گزارش شده است (Reilly & Ekblom, 2005). بنابراین، نظارت بر ریکاوری و استفاده از مداخلات تقویت کننده ریکاوری توجه تعداد زیادی از محققان و مربیان در حیطه فوتبال را به خود جلب کرده است. با توجه به اثرات منفی خستگی ذهنی و جسمی بعد از مسابقه بر عملکرد ورزشی، راهبردهایی که بتوانند در روند ریکاوری متغیرهای فیزیولوژیکی و روانشناختی تسریع ایجاد کنند مورد توجه هستند. یکی از این روش‌ها، تحریک غیرتهاجمی مغز با استفاده از تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای[1] (tDCS) است. این راهبرد جدید که از آن به عنوان دوپینگ عصبی نیز نام برده می‌شود، شامل مداخله در فعالیت مدارهای نورونی نواحی مختلف مغز با هدف القای اثرات مطلوب بر عملکرد ورزشی است (Reilly, 1997). سازوکار اصلی این روش تنظیم پتانسیل غشای عصبی است که به تغییرات تحریک پذیری قشری و فعالیت جریان نورون هدف بستگی دارد (Nitsche & Paulus, 2011). این روش می‌تواند در هر ناحیه‌ای از مغز تحریک پذیری را افزایش یا سرکوب کند به طوری که قرار دادن tDCS آندی باعث افزایش تحریک پذیری و پلاسیتسیتی نورونی می‌شود، در حالی که tDCS کاتدی باعث اثرات معکوس می‌شود (Nitsche et al., 2003; Nitsche & Paulus, 2001). مطالعات نشان داده‌اند که تحریک مناطق مختلفی از مغز از جمله سمت چپ قشر پیش پیشانی خلفی جانبی[2] (DLPFC) و بخش تمپورال با tDCS باعث کاهش RPE[3] و بهبود روحیه و ریکاوری ذهنی می‌شود (Angius et al., 2016; Angius et al., 2019). هم‌چنین، اثرات مطلوب tDCS بر بسیاری از متغیرهای عملکردی نظیر قدرت و استقامت عضلانی، حس حرکتی، یادگیری حرکتی و خستگی عضلانی گزارش شده است (Huang et al., 2019a, 2019b; Vitor-Costa et al., 2015). هر چند عدم تغییر معنی دار در شاخص‌های عملکردی نیز گزارش شده است (Baldari et al., 2018). به رغم وجود این تناقض‌ها در نتایج پژوهش‌ها، ورزشکاران حرفه‌ای در سطح قهرمانان المپیک از این راهبرد برای ریکاوری استفاده کرده‌اند (Cates et al., 2019) که حاکی از اثرات مثبت این روش در میدان است.

1 Transcranial Direct Current Stimulation
2 Dorsolateral Prefrontal Cortex
3 Rating of Perceived Exertion

با توجه به نقش مغز در تنظیم عملکرد ورزشی و خستگی و ادراک ناشی از ورزش و از طرف دیگر اثرات تحریک tDCS بر ریکاوری ذهنی و جسمی، به نظر می‌رسد بتوان از فواید این روش به دلیل قیمت پایین، استفاده آسان و قابلیت حمل بالا بهره برد و مدت زمان ریکاوری را در ورزشکاران کاهش داد تا به بهبود عملکرد شناختی و فیزیکی آنها کمک کرد. مربیان فوتبال به ریکاوری به ویژه زمانی که جدول زمانی مسابقات بسیار فشرده است، توجه زیادی دارند و همواره به دنبال بهترین و سریع‌ترین روش‌های ریکاوری ذهنی و جسمی می‌باشند. با توجه به محدود بودن تحقیقات در مورد اثرات tDCS بر عملکرد ورزشی و شاخص‌های ریکاوری بعد از تمرین و مسابقه فوتبال، و کارایی بالای این روش در ریکاوری ذهنی و جسمی، هدف مطالعه حاضر بررسی اثرات کوتاه مدت تحریک tDCS آندی در ناحیه DLPFC بر متغیرهای عصبی عضلانی، تکنیکی و روانشناختی بعد از یک جلسه فوتبال شبیه سازی شده است. فرض ما بر این است که بعد از انجام فوتبال شبیه‌سازی شده و ایجاد خستگی، تحریک آندی tDCS بتواند باعث بهبود ریکاوری، بازیابی تکنیکی و عملکرد شناختی بازیکنان شود.

روش‌شناسی تحقیق

مطالعه حاضر از نوع مطالعات نیمه تجربی متقاطع، با گروه کنترل شم و یک سوکور با اندازه گیری مکرر بود. قبل از ورود به مطالعه، در مورد هدف مطالعه و فرآیند آن به شرکت کنندگان اطلاع رسانی شد، سپس آنها رضایت نامه شرکت در مطالعه را امضا کردند. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار G*Power (دوسلدورف، آلمان) برآورد شد. تعداد تخمینی آزمودنی‌ها با در نظر گرفتن معیار رد ۰/۰۵، توان ۰/۸۵ (۱-بتا) و اندازه اثر بزرگ (f=۰/۶۵) داشتند، بسته به آزمون آماری مورد استفاده، ده نفر بود. ۱۲فوتبالیست نخبه مرد جوان و سالم حاضر در لیگ امیدهای کشور با مشخصات ذکر شده در جدول شماره ۱، بدون سابقه بیماری قلبی-عروقی و اسکلتی- عضلانی به صورت داوطلبانه در تحقیق شرکت کردند. از آزمودنی‌ها خواسته شد که قبل از حضور در آزمایشگاه رژیم غذایی عادی خود را حفظ کنند اما از مصرف هر گونه نوشیدنی نیروزا (به عنوان مثال قهوه، کافئین و...) خودداری کنند. شرکت‌کنندگان در سه جلسه برای انجام آزمون‌ها در حالت شَم و سه جلسه برای انجام آزمون در حالت واقعی به آزمایشگاه مراجعه کردند. جلسات آزمون بین ساعت ۸ تا ۱۲ ظهر انجام شدند. از شرکت‌کنندگان خواسته شد حداقل ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمون‌ها از هرگونه فعالیت بدنی شدید خودداری نمایند. کلیه اقدامات انجام شده مطابق با اعلانیه اخلاقی هلسینکی در مورد آزمودنی‌های انسانی انجام شد و کمیته اخلاق در پژوهش، پژوهشگاه علوم ورزشی ایران با شناسه IR.SSRC.REC.1401.144 این پژوهش را از نظر اخلاقی تایید کردند.

جدول ۱: میانگین وانحراف معیار ویژگی های فردی افراد شرکت کننده درتحقیق

سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	توده بدنی (کیلوگرم)	شاخص توده‌ی بدنی
۲۰/۹۱ ± ۲/۱۱	۱۸۱/۴۵ ± ۴/۹۲	۷۲/۸۲ ± ۶/۴۸	۲۲/۱۱ ± ۱/۶۹

روش تصادفی سازی/ کور سازی

با استفاده از روش تصادفی ساز آنلاین، تصادفی سازی انجام شد که جایگشت‌های تصادفی از مداخلات را برای موقعیت‌هایی که شرکت کنندگان تمام مداخلات را به طور تصادفی دریافت کنند فراهم آورد. برای کور سازی، اسامی ۱۲ بازیکن بر اساس حروف الفبا نوشته شد و از ۱ تا ۱۲ شماره گذاری شدند. سپس، یک ترتیب تصادفی از ۱۲ ورزشکار توسط فردی که عضو گروه پژوهش نبود تهیه شد و در جلسه اول ۶ ورزشکار tDCS آندی و ۶ ورزشکار

تحریک شم را دریافت کردند. سپس ورزشکاران در ۵ جلسه بعدی به شکل متقاطع جابه جا شدند، به طوری که در پایان آزمایش هر ورزشکار ۳ جلسه tDCS آندی و ۳ جلسه شم دریافت کرد. شرکت کنندگان در طول مطالعه نسبت به دریافت تحریک tDCS یا شرایط شم آشنا نبودند.

مسابقه فوتبال شبیه سازی شده[1] (SMS)

پروتکل ۹۰ دقیقه‌ای فوتبال شبیه سازی شده شامل فعالیت‌های متناوبی است که در دو نیمه ۴۵ دقیقه‌ای با ۱۵ دقیقه استراحت بین دو نیمه به انجام می‌رسد (Russell et al., 2011). هر نیمه از SMS شامل ۷ بلوک ۴:۳۰ دقیقه‌ای از فعالیت‌های تناوبی و حمل توپ به مسافت ۲۰ متر بود. هر بلوک شامل سه چرخه تکراری از ۲۰ متر راه رفتن، ۱۵ متر دوی سرعت یا ۲۰ متر حمل توپ، ۴ ثانیه ریکاوری غیرفعال، ۵ مرتبه دویدن نرم مسافت‌های ۲۰ متری با شدت ۴۰ درصد VO_2max، یک بار دویدن رو به عقب در مسافت ۲۰ متری با شدت ۴۰ درصد VO_2max و ۲ بار دویدن با گام کشیده با شدت ۸۵ درصد VO_2max تشکیل شده بود (شکل شماره ۱). یک آزمون پاس (۱ دقیقه) و ۱ دقیقه ریکاوری پس از هر بلوک انجام شد (شکل شماره ۲). هفت بلوک تمرینات تناوبی و آزمون مهارت‌ها در هر نیمه انجام شد. شرکت کنندگان در طول این مسابقه شبیه سازی شده حدود ۱۰/۱ کیلومتر را طی می‌کنند و ۵۶ پاس و ۱۶ شوت و۲۱ دریبل را در کل انجام دادند. پس از اتمام مسابقه، میزان درک فشار از طریق مقیاس بورگ ۲۰ امتیازی (۲۰-۶) اندازه گیری شد.

تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای

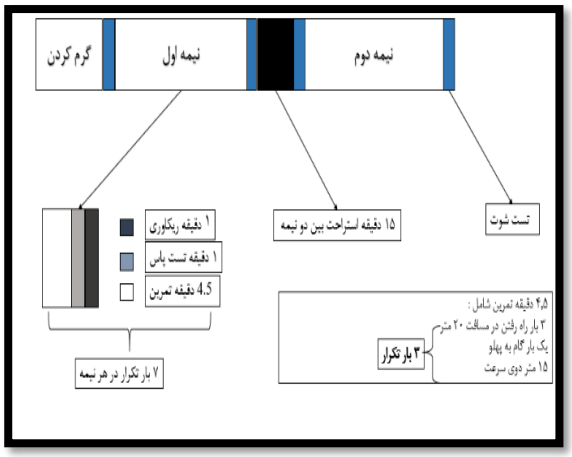
برای القای tDCS آندی، جریان ۲ میلی آمپر به مدت ۲۰ دقیقه در بخش سمت چپ DLPFC القا شد (Angius et al., 2016). برای القای تحریک، ۲ الکترود آغشته به محلول سالین استفاده شد. tDCS آندی در ناحیه سمت چپ و کاتدی در سمت راست DLPFC قرار گرفت. برای القای تحریک از دو الکترود (۷×۵ سانتی‌متر، ۳۵ سانتی‌متر مربع) در یک اسفنج آغشته به محلول آب نمک استفاده شد. بر اساس سیستم بین المللی ۱۰-۲۰ EEG الکترود آندی به طور عمودی در ناحیه F3 و کاتدی در F4 قرار داده شد و توسط نوارهای کشسان ثابت نگه داشته شد (Jurcak et al., 2007). محل قرار گیری الکترودها در حالت شم مشابه با تحریک آندی بود. با این تفاوت که دستگاه محرک بعد از ۳۰ ثانیه جریان به صفر رسید. بنابراین، آزمودنی‌های گروه شم، احساس گزگز یا خارش ناشی از تحریک اولیه را دریافت کردند، اما هیچ جریان اضافی دریافت نکردند. به‌منظور پنهان‌سازی نوع تحریک در هر جلسه و اجرای مداخله به صورت یک سویه‌کور، در هرجلسه دستگاه tDCS به‌وسیلهٔ یک پوشاننده از دید آزمودنی‌ها مخفی‌شد. در پایان هر جلسه دریافت تحریک مغزی، شرکت کنندگان پرسشنامه‌ای را برای تعیین درجه شدت و احساسی که در طول القای tDCS داشته‌اند کامل کردند (Fertonani et al., 2015; Moreira et al., 2021). پرسشنامه شامل سوالاتی در مورد احساس: خارش، درد، سوزش؛ گرما، خستگی و سایر موارد است. درجه تحریک تجربه شده شامل هیچ (۰)، کم (۱)، متوسط (۲)، قابل تحمل (۳) و شدید (۴) است. شرکت کنندگان هم چنین زمان شروع احساس ناراحتی را نیز گزارش کردند.

آزمون پرش عمودی

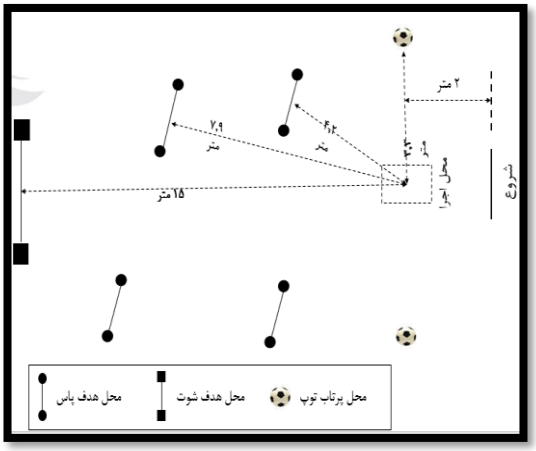
برای اجرای آزمون پرش عمودی سارجنت، آزمودنی بعد از ۵ دقیقه گرم کردن، در حالت نیم رخ کنار دیوار می‌ایستاد. سپس، دست برتر خود را بالا برده و با انگشت میانی روی متر نصب شده روی دیوار علامت گذاری می‌کرد تا طول

1 Soccer Match Simulation

قد او با دست کشیده (بدون دورخیز) ثبت شود. سپس، در حالت ایستاده در حالی که پاهایش به اندازه عرض شانه از یکدیگر فاصله داشتند، با استفاده از تاب دادن دست‌ها و خم شدن از ناحیه زانو با تمام توان به سمت بالا پریده و در اوج پرش با دست دیوار را لمس می‌کند. هر آزمودنی دو بار پشت سر هم این آزمون را انجام داد و بهترین رکورد وی ثبت شد (Alix-Fages et al., 2019).



شکل ۱: نحوه اجرای پروتکل فوتبال شبیه سازی شده



شکل ۲: نحوه اجرای آزمون پاس

فعالیت الکتریکی عضلانی (EMG)

برای تعیین میزان اثرگذاری مداخلات بر کاهش خستگی عصبی عضلانی ناشی از مسابقه شبیه سازی شده فوتبال، از دستگاه EMG استفاده شد. برای ثبت فعالیت الکترومایوگرافی حین پرش از دستگاه الکترومایوگرافی از نوع بی‌سیم استفاده شد. ابتدا پوست محل الکترودگذاری از موهای زاید پاک شده و سپس توسط الکل و سنباده جهت کاهش مقاومت، تمیز شد. سپس جفت الکترودها در امتداد راستای عضلات، ۱۵ الی بیست سانتی متر پایین‌تر از حفره رکبی روی عضله پهن جانبی قرار داده شدند، الکترود و کابل‌ها روی پوست ثابت شدند تا در

حرکت آزمودنی اختلال ایجاد نکنند و برای جلـوگیری از احتمال حرکت آنها و ایجاد اغتشاش، توسط باندکشـی ثابت شدند. هم‌چنین، الکترود گذاری و ثبت EMG عضله پهن جانبی براساس پروتکل اروپایی ارزیابی غیرتهاجمی فعالیت عضلات با استفاده از الکترومایوگرافی سطحی (SENIAM) انجام شد. فعالیت EMG هنگام پرش ثبت شد و با استفاده از گونیامتر الکترونیکی، مرحله درونگرا یا بالا رفتن تا زمان خاموشی عضله در زمان پرش تعیین شد و تجزیه و تحلیل داده‌های الکترومایوگرافی فقط در این مرحله انجام شد. شاخص الکترومایوگرافی مورد نظر در پژوهش حاضر، نسبت RMS/MVC بود. جهت آنالیز داده‌های الکترومایوگرافی از نرم افزار مگاوین (MegaWin, version 3.0.1) استفاده شد.

آزمون شوت فوتبال لوگبرگ(LSST[1]):

این آزمون در درجه اول توانایی شوت زدن فوتبال را ارزیابی می‌کند اما شامل عناصر دیگری از جمله پاس، کنترل توپ، چابکی و سرعت نیز می‌باشد (Ali et al., 2007). شرکت کنندگان آزمون را از فاصله ۲۰ متری خط هدف آغاز می‌کنند، در حالیکه پشت به هدف می‌ایستند. آنها باید با سرعت دو مخروطی که در فاصله ۶ متری پشت سر آنها در سمت چپ و راست قرار دارد را لمس کنند. سپس، به نقطه شروع برگردند و قبل از کنترل، چرخش و شوت کردن توپ، یک توپ را به سمت نیمکت پاس دهند. سپس، بلافاصله توپ را به سمت دروازه شوت کرده و پس از شوت تا دروازه با تمام سرعت بدوند. هر آزمایش شامل ۱۰ شوت (هر پا، ۵ شوت) بود که با یک دقیقه استراحت از هم فاصله داشتند (شکل شماره ۳). برای هر کدام از بازیکنان یکی از ۶ مدل آزمایش به طور تصادفی انتخاب شد. عملکرد در LSST با استفاده از دقت شوت، سرعت شوت و زمان توالی شوت‌ها ارزیابی شد. دقت شوت توسط میانگین کل شوت‌های انجام شده به سمت هدف ارزیابی شد. منطقه امتیازات طوری محاسبه شد که بازیکن را به شوت در گوشه‌های دروازه تشویق کند و در صورتی امتیاز محاسبه می‌شود که توپ به قسمت خالی دروازه برخورد کند (سمت مخالف دروازه‌بان).

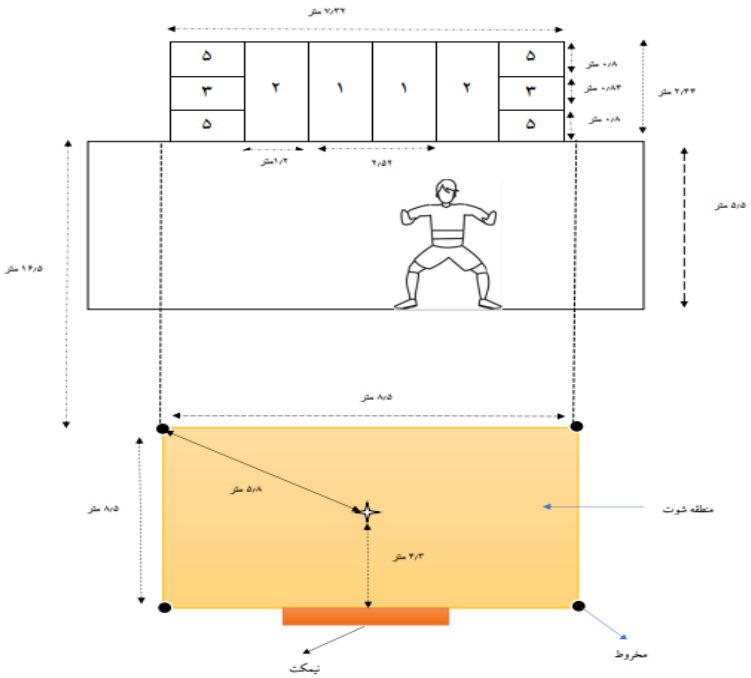
پرسشنامه ریکاوری

از پرسشنامه TQR برای ارزیابی ریکاوری ادراک شده استفاده شد (Kenttä & Hassmén, 1998). از بازیکنان خواسته شد برای ارزیابی میزان ریکاوری خود عددی بین ۶ تا ۲۰ انتخاب کنند، ۶ ارزشی است که نشان دهنده ریکاوری ضعیف و ۲۰ ارزش نشان دهنده ریکاوری عالی است. بازیکنان پرسشنامه‌ها را قبل از انجام فوتبال شبیه سازی شده، ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از بازی بدون هیچ دخالتی از طرف محققان، پر کردند.

روش‌های آماری

نتایج با میانگین (M) و انحراف معیار (SD) توصیف شدند. برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شپیرو ویلک استفاده شد. برای مقایسه متغیرها در دو شرایط (شم و tDCS آندی) و زمان (قبل و بعد از مداخله) از تحلیل واریانس آنوا دوراهه با اندازه گیری مکرر استفاده شد. قبل از استفاده از این آزمون، فرض کرویت توسط آزمون موخلی مورد بررسی قرار گرفت، در صورت عدم تایید این آماره، از تصحیح گرین‌هاوس–گریسرز استفاده شد. در صورت مشاهده اثرات معنادار، از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. ملاک پذیرش و رد شدن فرضیه‌های پژوهش، $P<0/05$ در نظر گرفته شد. همه تحلیل های آماری توسط نسخه SPSS 22 نجام شد.

[1] Loughborough Soccer Shooting Test



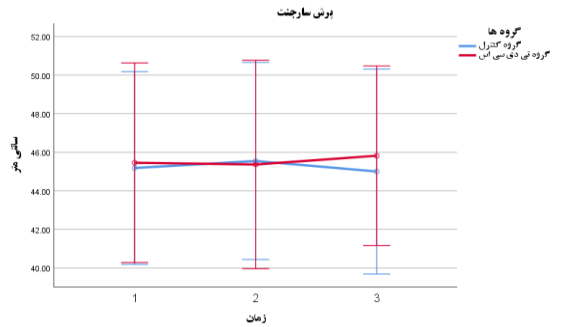
شکل ۱ : نحوه انجام آزمون شوت لوگبرگ

یافته‌ها

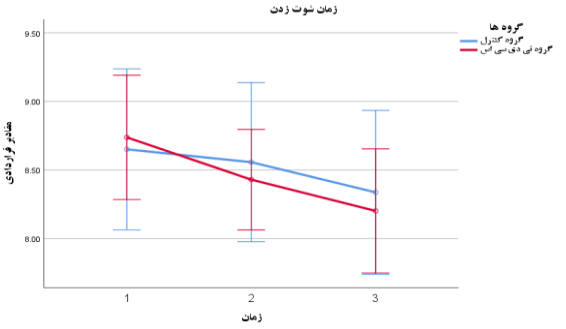
با توجه به پرسشنامه‌ای که توسط شرکت کنندگان تکمیل شد، تحریک الکتریکی قابل تحمل و بدون ایجاد عوارض جانبی گزارش شد. روش کور سازی با موفقیت انجام شد به طوری که شرکت کنندگان تصور می‌کردند که در تمام جلسات تحریک واقعی دریافت کرده‌اند. شایع‌ترین احساسی که گزارش شد شامل احساس گرما در قسمت سمت چپ بالای پیشانی با شدت بسیار ملایم بود. محل درک این احساسات روی سر بود که از ابتدای تحریک شروع می‌شد و به سرعت متوقف می‌شد.

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است. هیچ اختلافی بین دو شرایط در رکورد پرش عمودی سارجنت طی سه بار اندازه‌گیری مشاهده نشد. در واقع، پروتکل ریکاوری tDCS تاثیری بر بازیابی توان انفجاری نداشت (۰/۲۰ =ηp^2، ۰/۱۱۲=p، ۲/۴۵=F).

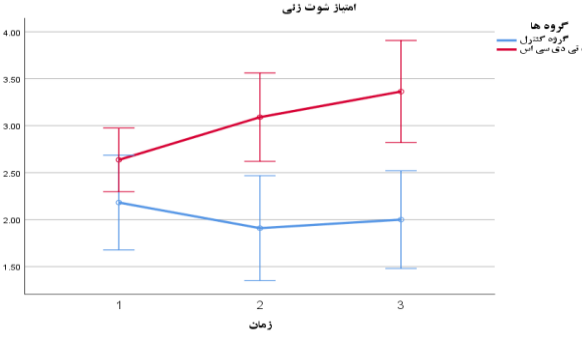
آزمون LSST به بررسی مهارت شوت‌زدن بازیکنان بر اساس امتیاز شوت زدن و زمان شوت زدن می‌پردازد. نتایج تحقیق نشان داد که اختلافی در زمان شوت زدن بین دو شرایط وجود ندارد (۰/۱۱۳ =ηp^2، ۰/۳۰۰=p، ۱/۲۸=F)، اما طی هر بار اندازه گیری، زمان شوت زدن در هر دو شرایط روند کاهش داشت (۰/۰۰۱=p) (شکل ۵). در مقابل، پروتکل tDCS تاثیر معنی‌داری در امتیاز شوت زنی ایجاد کرد (۰/۲۶ =ηp^2، ۰/۰۴۷=p، ۳۱/۵۷=F)، همانطور که در شکل ۶ نمایش داده شده است امتیاز شوت زنی در گروه tDCS افزایش معنی‌داری نسبت به گروه شم داشت. نتایج آزمون t–زوجی نشان داد تنها اختلاف در شرایط tDCS بین روز اول و سوم مشاهده شد (۰/۰۳۸=p، ۲/۳۹–=t). در مورد شرایط روز اول و دوم نیز اختلاف نزدیک به معنی‌داری مشاهده شد (۰/۰۵۳=p).



شکل۴:نتایج آزمون پرش عمودی سارجنت در دو گروه

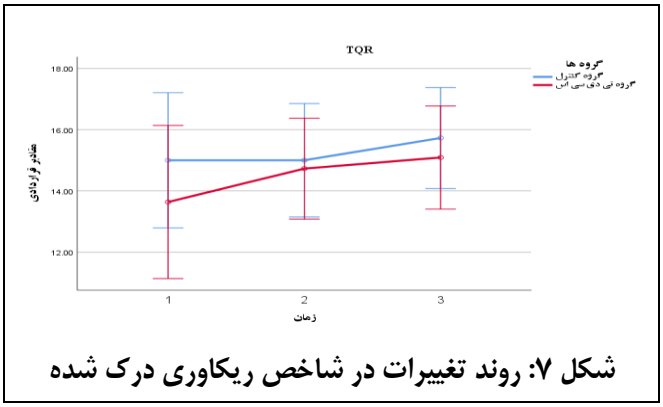


شکل۵: نتایج آزمون LSST در شاخص زمان شوت زدن



شکل۶: نتایج آزمون LSST در شاخص امتیاز شوت زدن

نتایج آزمون آنوا با اندازه‌گیری مکرر نشان داد در شاخص ریکاوری درک شده در هر بار اندازه گیری اختلافی بین تعامل گروه در زمان ($\eta p^2=$ ۰/۰۹، p=۰/۳۶۴، F=۱/۰۶)، در زمان درون هر گروه (p=۰/۲۰۰) و گروه (p=۰/۰۷۹) مشاهده نشد. در شکل ۷ روند تغییرات در شاخص ریکاوری درک شده بین دو حالت را مشاهده می‌کنید که اختلافی بین دو شرایط مشاهده نمی‌شود.



شکل ۷: روند تغییرات در شاخص ریکاوری درک شده

نتایج آزمون آنوا با اندازه‌گیری مکرر نشان داد اختلافی در تعامل گروه در زمان ($\eta p^2=$ ۰/۰۹، p=۰/۴۱۰، F=۰/۹۳) در EMG گرفته شده از عضله پهن جانبی وجود نداشت با این حال، اختلاف معنی‌داری در زمان ($\eta p^2=$ ۰/۳۰، p=۰/۰۲۷، F=۴/۳۵) و گروه ($\eta p^2=$ ۰/۴۹، p=۰/۰۱۱، F=۹/۸۱) مشاهده شد (شکل ۸).

شکل ۸: نتایج EMG گرفته شده از عضله پهن جانبی در پرش سارجنت

بحث و بررسی:

هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی اثر تحریک tDCS در ناحیه سمت چپ DLPFC بر عملکرد تکنیکی (آزمون LSST)، ریکاوری عصبی عضلانی (فعالیت EMG عضلانی)، و روانشناختی (پرسشنامه TQR و RPE) فوتبالیست‌های مرد بعد از یک جلسه فوتبال شبیه سازی شده بود. نتایج به دست آمده نشان داد امتیاز شوت در گروه دریافت کننده تحریک واقعی به طور معناداری افزایش پیدا کرد. از طرفی، تحریک tDCS بر فعالیت الکتریکی عضلات پایین تنه بی‌تاثیر بود. هم‌چنین، طی هر بار اندازه‌گیری فشار درک شده در هر دو گروه کاهش داشت، ولی ریکاوری درک شده تغییر معناداری نداشت. این نتایج نشان می‌دهد که تحریک سمت چپ DLPC می‌تواند باعث بهبود اجرای تکنیکی و بهبود وضعیت روانشناختی فوتبالیست‌ها بعد ازاجرای یک مسابقه فوتبال شود.

در ابتدا باید به این موضوع اشاره کرد که نتایج تحقیقات قبل نشان داده‌اند که فوتبال شبیه سازی شده باعث ایجاد خستگی و در نتیجه اختلال در مهارت‌های توپی مثل شوت و پاس می‌شوند. بنابراین، فوتبال شبیه سازی شده، ابزار

مناسبی برای ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیکی، متابولیکی و عملکردی به مداخلات در بازیکنان فوتبال است. سازوکارهای مرتبط با خستگی ناشی از فوتبال چند عاملی هستند. همانطور که فرض کرده بودیم tDCS اثرات مثبتی بر اجرای مهارت شوت در فوتبالیست‌ها داشت. در مقابل، آلوینو و همکاران (Alvino, 2023) نشان دادند تحریک آندال قشر حرکتی به مدت ۲۰ دقیقه بر مهارت‌های ویژه فوتبال (آزمون دقت پاس و شوت زدن) و درک فشار بازیکنان مبتدی فوتبال بی‌تاثیر است.

با توجه به اینکه عضلات پاها در پرش‌ها، تکل، ضربه زدن به توپ، چرخیدن، سرعت گرفتن نقش دارد. بنابراین قدرت آنها برای بهبود اجرای مهارت‌های فوتبال مهم است. ما فرض کرده بودیم که tDCS می‌تواند باعث ریکاوری سریع‌تر توان عضلات پایین تنه بعد از خستگی ناشی از اجرای فوتبال شبیه سازی شده شود. اما نتایج نشان داد این نوع تحریک تاثیری بر ارتفاع پرش شرکت کنندگان ندارد (Angius et al., 2016; Grosprêtre et al., 2021; Romero-Arenas et al., 2021). چندین مطالعه تاثیر tDCS را بر اجرای پرش بررسی کرده‌اند و نشان دادند tDCS هیچ اثری بر ارتفاع پرش و حداکثر توان ندارد (Park et al., 2022; Romero-Arenas et al., 2021). از طرف دیگر، برخی پژوهش‌ها بیان داشتند tDCS باعث بهبود عملکرد توان عضلانی پایین تنه می‌شود (Chen et al., 2021; Grosprêtre et al., 2021; Lattari et al., 2018 ;Lattari et al., 2020). ژیکیانگ نشان دادکه القای تحریک آندی به مدت ۲۰ دقیقه و با شدت ۲ میلی آمپر در دو طرف قشر پیش حرکتی باعث افزایش ارتفاع پرش نسبت به حالت شم می‌شود (Zhiqiang et al., 2023). علت این ناهمخوانی ممکن است به مونتاژ تحریک، شدت، مدت و محل تحریک‌ها مرتبط باشد. اعتمادی دو مونتاژ (مونتاژ DLPFC: آندی در قشر سمت چپ DLPFC و کاتدی در ناحیه supraorbital و مونتاژ M1 : آندی در ناحیه M1 و کاتدی در شانه سمت مقابل) به کار برد. مونتاژ m1 باعث افزایش معنادار ارتفاع پرش و تحریک پذیری عصبی عضلانی شد، اما مونتاژ DLPFC هیچ اثری بر ارتفاع پرش نداشت (Etemadi et al., 2023). برای مثال القای یک جلسه تحریک به مدت ۱۰ الی ۲۰ دقیقه، می‌تواند تنها به مدت ۳۰ دقیقه الی یک ساعت بعد از تحریک موثر باشد. اما القای تحریک به مدت یک الی دو هفته می‌تواند آثار طولانی مدتی به جای بگذارد (Gan et al., 2022; Matsunaga et al., 2004).

در اکثر تحقیقات برای بررسی توان عضلات، ناحیه پیش حرکتی m1 را مورد تحریک قرار داده‌اند. حداکثر توان وابسته به منابع عصبی و عضلانی است. به خوبی ثابت شده است که به کارگیری مجدد واحدهای حرکتی و هماهنگ کرن آنها از طریق القای tDCS آندی تعدیل می‌شود (molaiee et al., 2022). در همین راستا، محققان نشان دادندکه القای ۲ میلی آمپر tDCS آندی به مدت ۲۰ دقیقه در ناحیه M1 باعث بهبود اجرای CMJ، افزایش ارتفاع پرش می‌شود (Grosprêtre et al., 2021; Lattari et al., 2020).تفاوت اصلی این تحقیق با تحقیق ما محل تحریک است. در پژوهش‌های ذکر شده که بهبود ریکاوری توان مشاهده شد، تحریک در ناحیه M1 اعمال شده بود که مسئول هدایت فرمان عصبی به عضلات است (Grosprêtre et al., 2021)، ولی در تحقیق ما در منطقه DLPFC صورت گرفت که قشر پیش حرکتی را نیز درگیر می‌کند.

از دیگر نتایج تحقیق حاضر، عدم تغییر معنادار ادراک ریکاوری و فشار درک شده بعد از دریافت tDCS بود. با وجود اینکه طی هر بار اندازه‌گیری افت فشار درک شده در هر دو گروه مشاهده شد اما ریکاوری درک شده تغییر معناداری نداشت. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که tDCS بر شاخص‌های ذهنی اثر گذار است (Angius et al.,

2016; Buchheit et al., 2013; Kellmann et al., 2018). ریکاوری مناسب و احساس تندرستی برای حفظ کیفیت تمرین و عمکلرد فیزیکی ورزشکاران ضروری است (Buchheit et al., 2013; Meeusen et al., 2013) به ویژه زمانی که جلسات تمرینی فشرده باشد و چندبار در هفته مسابقه برگزار شود. موریه‌را نشان داد که القای ۲ میلی آمپر جریان به مدت ۲۰ دقیقه در ناحیه DLPFC باعث بهبود معنادار TQR بعد از مسابقه فوتبال در زنان فوتبالیست می‌شود (Kellmann et al., 2018). نتایج تحقیق ملایی نشان داد که شدت جریان ۲ میلی آمپر به مدت ۱۵ دقیقه باعث بهبود معنادار اجرای شنا، TQR و RPE می‌شود (molaiee et al., 2022). در تحقیق حاضر ریکاوری درک شده هیچ تفاوت معناداری در حالت tDCS آندی و شم مشاهده نشد. اوکانو و همکارانش پیشنهاد کردند که تحریک tdcs آندی فعالیت قشر اینسولار را تحت تاثیر قرار داده و در نتیجه میزان درک تلاش را کاهش و عملکرد ورزشی را افزایش می‌دهد (Okano et al., 2015).

تحریک با شدت ۲ میلی آمپر و به مدت ۲۰ دقیقه TDCS در پژوهش حاضر نتوانست خستگی عضلات پاها را از طریق تعدیل عصبی کاهش دهد. در مطالعه ما EMG عضلات راست رانی و دو سررانی بعد از انجام SJو CMJ در دو شرایط آندی و شم تفاوت معناداری نداشتند. مطالعات قبل نشان داده‌اند که ۱۵ دقیقه تحریک برای مشاهده اثرات بعدی tDCS کافی است (Oki et al., 2019). در حالیکه تنها تعداد کمی از مطالعات افزایش فعالیت EMG ناشی از تحریک tDCS را گزارش کرده‌اند (Kamali et al., 2019; Krishnan et al., 2014) بیشتر مطالعات بی‌تاثیر بودن (Cattagni et al., 2019; Cogiamanian et al., 2007; Kan et al., 2013; Oki et al., 2019) یا اثرات مخرب آن را گزارش کرده‌اند (Giboin & Gruber, 2018). گیبون و همکاران تاثیر تحریک کاتدی و آندی tDCS را بر آمپلی‌تود MVC قبل و در حین انجام تکلیف بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که هر دو نوع القای تحریک در طول اجرای تکلیف باعث کاهش آمپلی‌تود و EMG عضله پهن جانبی شد. در حالیکه تنها تحریک آندی که ۱۰ دقیقه قبل از اجرای مهارت القا شده بود باعث کاهش EMG شد (Giboin & Gruber, 2018). بنابراین، tDCS ابزار کافی برای افزایش هر نوع عملکردی نیست (مثلاً بیشینه، زیربیشنه و..). یکی از دلایل احتمالی که انجیوس به آن اشاره کرده است این است که انقباضات ایزومتریک زیربیشینه ممکن است بیشتر از انقباضات حداکثری تحت تاثیر tDCS قرار بگیرند (Angius et al., 2016). tDCS با ایجاد تغییرات در استراتژی‌های فراخوانی واحدهای حرکتی به عنوان یک مکانیسم می‌تواند روی فعالیت عضلات که از طریق EMG منعکس میشود، اثر بگذارد (Krishnan et al., 2014). با توجه به تحقیقات قبل، تحریک ناحیه M1 باعث افزایش EMG عضلات می‌شود، اما در تحقیقی که توسط اعتمادی و دیگران (۲۰۲۳) انجام شد تحریک آندی ناحیه DLPFC افزایش یافت اما تحریک ناحیه M1 تغییری به دنبال نداشت (Etemadi et al., 2023).

یکی از محدودیت‌های تحقیق حاضر حجم نسبتاً کم نمونه است. با این حال، با محاسبه درصد تغییرات و اندازه اثر با در نظر داشتن پیش آزمون و پس آزمون سعی شد این اثر به حداقل برسد. هم‌چنین، تحریک بخش پیش حرکتی (M1) نیز ممکن است بر نتایج تاثیرگذار بوده باشد. لذا برای دستیابی به نتایج بهتر در زمینه فعالیت عصبی عضلانی، ترکیب تحریک این بخش به همراه بخش DLPFC به محققان توصیه می‌شود. هم‌چنین، به محققان توصیه می‌شود به بررسی میزان تحریک پذیری قشری با استفاده از TMS قبل و بعد از القای TDCS بپردازند، زیرا

TMS و EMG همراه با هم، میزان تغییرات تحریک پذیری قشر مغز ناشی از تحریک TDCS را بهتر مشخص می‌کند.

نتیجه گیری

نتایج تحقیق ما نشان داد که تحریک tDCS می‌تواند اثرات مثبتی بر اجرای تکینکی فوتبالیست‌ها بعد از مسابقه فوتبال در فوتبالیست‌های جوان بگذارد، اما تاثیر معناداری بر افزایش فعالیت عصبی عضلانی ندارد. تحریک سمت چپ DLPFC باعث بهبود اجرای مهارت شوت و بهبود وضعیت ریکاوری فوتبالیست‌ها بعد از یک مسابقه فوتبال شبیه‌سازی شده می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد بتوان از این روش تحریک الکتریکی به عنوان یک روش ریکاوری مفید به دلیل در دسترس و کم هزینه بودن و هم چنین اثرات مثبتی که بر جای می‌گذارد بعد از مسابقات فوتبال بهره برد.

تقدیر و تشکر

این تحقیق مستخرج از رساله دکتری می‌باشد و سازمان ورزش و جوانان شهر تهران از آن حمایت مالی نموده است.

تضاد منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

سهم نویسندگان

تمامی نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت داشته‌اند.

منابع

Ali, A., Williams, C., Hulse, M., Strudwick, A., Reddin, J., Howarth, L., . . . McGregor, S. (2007). Reliability and validity of two tests of soccer skill. *J Sports Sci*, *25*(13), 1461-1470.

Alix-Fages, C., Romero-Arenas, S., Castro-Alonso, M., Colomer-Poveda, D., Río-Rodriguez, D., Jerez-Martínez, A., . . . Márquez, G. (2019). Short-Term Effects of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation on Endurance and Maximal Force Production. A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*, *8*(4).

Alvino, J. M. (2023). Neuromodulação por meio da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua e o desempenho no futebol.

Angius, L., Pageaux, B., Hopker, J., Marcora, S. M., & Mauger, A. R. (2016). Transcranial direct current stimulation improves isometric time to exhaustion of the knee extensors. *Neuroscience*, *339*, 363-375.

Angius, L., Santarnecchi, E., Pascual-Leone, A., & Marcora, S. M. (2019). Transcranial Direct Current Stimulation over the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex Improves Inhibitory Control and Endurance Performance in Healthy Individuals. *Neuroscience*, *419*, 34-45.

Baldari, C., Buzzachera, C. F., Vitor-Costa, M., Gabardo, J. M., Bernardes, A. G., Altimari, L. R., & Guidetti, L. (2018). Effects of transcranial direct current stimulation on psychophysiological responses to maximal incremental

exercise test in recreational endurance runners. *Frontiers in psychology*, 1867.

Brownstein, C. G., Dent, J. P., Parker, P., Hicks, K. M., Howatson, G., Goodall, S., & Thomas, K. (2017). Etiology and recovery of neuromuscular fatigue following competitive soccer match-play. *Frontiers in physiology*, *8*, 831.

Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J., Bourdon, P., Voss, S., Hocking, J., . . . Coutts, A. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of science and medicine in sport*, *16*(6), 550-555.

Cates, A., Lin, R., Mayberry, A., Clark, R., Chao, D., Taylor, T., . . . Wingeier, B. (2019). Repeated sessions of transcranial direct current stimulation (tDCS) with vertical jump training improves vertical jump performance in elite athletes. *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation*, *12*(2), 560.

Cattagni, T., Geiger, M., Supiot, A., de Mazancourt, P., Pradon, D., Zory, R., & Roche, N. (2019). A single session of anodal transcranial direct current stimulation applied over the affected primary motor cortex does not alter gait parameters in chronic stroke survivors. *Neurophysiologie Clinique*, *49*(4), 283-293.

Chen, C.-H., Chen, Y.-C., Jiang, R.-S., Lo, L.-Y., Wang, I.-L., & Chiu, C.-H. (2021). Transcranial direct current stimulation decreases the decline of speed during repeated sprinting in basketball athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(13), 6967.

Cogiamanian, F., Marceglia, S., Ardolino, G., Barbieri, S., & Priori, A. (2007). Improved isometric force endurance after transcranial direct current stimulation over the human motor cortical areas. *Eur J Neurosci*, *26*(1), 242-249.

Etemadi, M., Amiri, E., Tadibi, V., Grospretre, S., Valipour Dehnou, V., & Machado, D. G. d. S. (2023). Anodal tDCS over the left DLPFC but not M1 increases muscle activity and improves psychophysiological responses, cognitive function, and endurance performance in normobaric hypoxia: a randomized controlled trial. *BMC neuroscience*, *24*(1), 25.

Fertonani, A., Ferrari, C., & Miniussi, C. (2015). What do you feel if I apply transcranial electric stimulation? Safety, sensations and secondary induced effects. *Clinical Neurophysiology*, *126*(11), 2181-2188.

Gan, T., Huang, Y., Hao, X., Hu, L., Zheng, Y., & Yang, Z. (2022). Anodal tDCS over the left frontal eye field improves sustained visual search performance. *Perception*, *51*(4), 263-275.

Giboin, L. S., & Gruber, M. (2018). Anodal and cathodal transcranial direct current stimulation can decrease force output of knee extensors during an intermittent MVC fatiguing task in young healthy male participants. *Journal of Neuroscience Research*, *96*(9), 1600-1609.

Grosprêtre, S., Grandperrin, Y., Nicolier, M., Gimenez, P., Vidal, C., Tio, G., . . . Bennabi, D. (2021). Effect of transcranial direct current stimulation on the

psychomotor, cognitive, and motor performances of power athletes. *Scientific reports*, *11*(1), 9731.

Huang, L., Deng, Y., Zheng, X., & Liu, Y. (2019a). Transcranial Direct Current Stimulation With Halo Sport Enhances Repeated Sprint Cycling and Cognitive Performance [Original Research]. *Frontiers in physiology*, *10*.

Huang, L., Deng, Y., Zheng, X., & Liu, Y. (2019b). Transcranial direct current stimulation with halo sport enhances repeated sprint cycling and cognitive performance. *Frontiers in physiology*, 118.

Ispirlidis, I., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Michailidis, I., Douroudos, I., . . . Katrabasas, I. (2008). Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clinical journal of sport medicine*, *18*(5), 423-431.

Jurcak, V., Tsuzuki, D., & Dan, I. (2007). 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: their validity as relative head-surface-based positioning systems. *Neuroimage*, *34*(4), 1600-1611.

Kamali, A.-M., Saadi, Z. K., Yahyavi, S.-S., Zarifkar, A., Aligholi, H., & Nami, M. (2019). Transcranial direct current stimulation to enhance athletic performance outcome in experienced bodybuilders. *PLoS One*, *14*(8), e0220363.

Kan, B., Dundas, J. E., & Nosaka, K. (2013). Effect of transcranial direct current stimulation on elbow flexor maximal voluntary isometric strength and endurance. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, *38*(7), 734-739.

Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., . . . Heidari, J. (2018). Recovery and performance in sport: consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(2), 240-245.

Kenttä, G., & Hassmén, P. (1998). Overtraining and recovery. A conceptual model. *Sports Med*, *26*(1), 1-16.

Krishnan, C., Ranganathan, R., Kantak, S. S., Dhaher, Y. Y., & Rymer, W. Z. (2014). Anodal transcranial direct current stimulation alters elbow flexor muscle recruitment strategies. *Brain stimulation*, *7*(3), 443-450.

Lattari, E., Campos, C., Lamego, M. K., Legey, S., Neto, G. M., Rocha, N. B., . . . Machado, S. (2020). Can transcranial direct current stimulation improve muscle power in individuals with advanced weight-training experience? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *34*(1), 97-103.

Lattari, E., Oliveira, B. R., Monteiro Júnior, R. S., Marques Neto, S. R., Oliveira, A. J., Maranhao Neto, G. A., . . . Budde, H. (2018). Acute effects of single dose transcranial direct current stimulation on muscle strength: A systematic review and meta-analysis. *PloS one*, *13*(12), e0209513.

Matsunaga, K., Nitsche, M. A., Tsuji, S., & Rothwell, J. C. (2004). Effect of transcranial DC sensorimotor cortex stimulation on somatosensory evoked potentials in humans. *Clinical Neurophysiology*, *115*(2), 456-460.

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., . . . Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining

syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *European Journal of Sport Science*, *13*(1), 1-24.

molaiee, A., hosseinpoor, s., ghahramani, m., jabari, r., & jalilvand, m. (2022). The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation with two Different Currents of Immersion in water. *Sport Sciences Quarterly*, *13*(44), 13-30.

Moreira, A., Machado, D. G. d. S., Bikson, M., Unal, G., Bradley, P. S., Moscaleski, L., . . . Baptista, A. F. (2021). Effect of transcranial direct current stimulation on professional female soccer players' recovery following official matches. *Perceptual and Motor Skills*, *128*(4), 1504-1529.

Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in soccer. *Sports medicine*, *42*(12), 997-1015.

Nitsche, M. A., Liebetanz, D., Antal, A., Lang, N., Tergau, F., & Paulus, W. (2003). Modulation of cortical excitability by weak direct current stimulation–technical, safety and functional aspects. *Supplements to Clinical neurophysiology*, *56*, 255-276.

Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, *57*(10), 1899-1901.

Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2011). Transcranial direct current stimulation–update 2011. *Restorative neurology and neuroscience*, *29*(6), 463-492.

Okano, A. H., Fontes, E. B., Montenegro, R. A., Farinatti Pde, T., Cyrino, E. S., Li, L. M., . . . Noakes, T. D. (2015). Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. *Br J Sports Med*, *49*(18), 1213-1218.

Oki, K., Clark, L. A., Amano, S., & Clark, B. C. (2019). Effect of anodal transcranial direct current stimulation of the motor cortex on elbow flexor muscle strength in the very old. *Journal of geriatric physical therapy (2001)*, *42*(4), 243.

Park, S.-B., Han, D. H., Hong, J., & Lee, J.-W. (2022). Transcranial direct current stimulation of motor cortex enhances spike performances of professional female volleyball players. *Journal of Motor Behavior*, 1-13.

Rampinini, E., Bosio, A., Ferraresi, I., Petruolo, A., Morelli, A., & Sassi, A. (2011). Match-related fatigue in soccer players. *Med Sci Sports Exerc*, *43*(11), 2161-2170.

Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of sports sciences*, *15*(3), 257-263.

Reilly, T., & Ekblom, B. (2005). The use of recovery methods post-exercise. *J Sports Sci*, *23*(6), 619-627.

Romero-Arenas, S., Calderón-Nadal, G., Alix-Fages, C., Jerez-Martínez, A., Colomer-Poveda, D., & Márquez, G. (2021). Transcranial direct current stimulation does not improve countermovement jump performance in young healthy men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *35*(10), 2918-2921.

Russell, M., Rees, G., Benton, D., & Kingsley, M. (2011). An exercise protocol that replicates soccer match-play. *Int J Sports Med*, *32*(7), 511-518.

Thomas, K., Dent, J., Howatson, G., & Goodall, S. (2017). Etiology and recovery of neuromuscular fatigue following simulated soccer match-play. *Med Sci Sports Exerc*, *49*(5), 955-964.

Vitor-Costa, M., Okuno, N. M., Bortolotti, H., Bertollo, M., Boggio, P. S., Fregni, F., & Altimari, L. R. (2015). Improving Cycling Performance: Transcranial Direct Current Stimulation Increases Time to Exhaustion in Cycling. *PloS one*, *10*(12), e0144916.

Zhiqiang, Z., Wei, W., Yunqi, T., & Yu, L. (2023). Effects of Bilateral Extracephalic Transcranial Direct Current Stimulation on Lower Limb Kinetics in Countermovement Jumps. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(3), 2241.

The effect of transcranial direct current electrical stimulation on the recovery of neuromuscular and technical performance of young soccer players after a simulated soccer match

Fateme Shiravand[1], Sadegh Amani -Shalamzari[*1], Pezhman Motamedi[1], Ehsan Amiri[2], Daniel Gomez Da Silva Machado[3]

1 Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Science, Kharazmi University, Tehran, Iran
2 Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.
3 Research Group in Neuroscience of Human Movement (NeuroMove), Department of Physical Education, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brazil.

[*]**Corresponding author**: amani_sadegh@khu.ac.ir

Abstract

Objectives: The challenge for coaches is to quickly return to their initial state during soccer matches. The purpose of this study was to examine the impact of tDCS stimulation on the recovery of neuromuscular and skill performance of soccer players following a simulated soccer match.

Methods: Twelve young volunteer soccer players were randomly divided into two tDCS groups, anodal and Sham. tDCS stimulation with an intensity of 2 mA and for 20 minutes was applied in the left part of the posterolateral prefrontal cortex (DLPFC) in three time periods, immediately, 24 and 48 hours after simulated soccer. Recovery status, pressure perception, shooting skill, vertical jump height and electrical activity of the latissimus dorsi muscle during jumping were investigated in both sham and tDCS conditions

Results: Variance analysis with repeated measurements showed that tDCS stimulation significantly increased the shooting score and significantly decreased the number of shooting errors. The recovery status and perceived pressure and electrical activity of lower body muscles were not affected by tDCS stimulation.

Conclusion: The findings indicate that recovery with tDCS stimulation can restore the technical performance of young soccer players after a soccer match, although it had no effect on increasing neuromuscular activity. Therefore, this method can be used as an effective method to reduce physical and psychological pressure after playing soccer.

Key words: Recovery Status, Technical Skills, Stimulated Soccer Match