

اثر حاد توانمندسازی پس‌فعالی با تحریک فراجمه‌ای با نوبز تصادفی بر برخی متغیرهای الکتروفیزیولوژیک و عملکردی در مردان ورزشکار

حسین رضانی^۱، ضیاء فلاح‌محمدی^۲، سمیه نامداری طجری^۳، رضا خانبابایی^۴

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی عصب و عضله، دانشگاه مازندران
۲. دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه مازندران (نویسنده مسئول)
۳. استادیار رشد و رفتار حرکتی، دانشگاه مازندران
۴. استادیار نوروفیزیولوژی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۲

چکیده

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثرهای ترکیب توانمندسازی پس‌فعالی (PAP) و تحریک فراجمه‌ای و نوبز تصادفی (tRNS)، بر حداکثر فعالیت عضلات در آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی در آزمون نگه‌داشتن پای راست در حالت باز روی دستگاه بدن‌سازی بود. در این مطالعه، ۱۰ دانشجوی ورزشکار از رشته‌های کشتی، دوومیدانی و والیبالی با میانگین سنی ۲۹/۱ سال به‌صورت داوطلبانه شرکت کردند. آن‌ها در چهار جلسه مجزا و با فاصله ۲۴ ساعت، یکی از چهار پروتکل گرم‌کردن معمول و دریافت tRNS ساختگی (گروه کنترل)، گرم‌کردن معمول و دریافت گرم‌کردن معمول و اجرای یک نوبت حرکت جلو پا با پای راست روی دستگاه بدن‌سازی و گرم‌کردن معمول و دریافت tRNS به‌همراه اجرای یک نوبت حرکت جلو پا با پای راست روی دستگاه بدن‌سازی را اجرا کردند. در هنگام اجرای آزمون‌ها، هم‌زمان سطوح فعالیت امواج مغزی و عضلات پهن خارجی، راست رانی و پهن داخلی پای راست، به‌ترتیب با استفاده از الکتروانسفالوگرافی و الکترومیوگرافی ثبت شدند. نتایج نشان‌دهنده افزایش معنادار توان مطلق امواج مغزی تنها در کانال Cz در هر سه روز پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون در هر دو آزمون MVIC ($P = 0.001$) و نگه‌داشتن پای راست در حالت باز روی دستگاه بدن‌سازی ($P = 0.001$) بود. مقادیر حداکثر فعالیت عضلات هدف در آزمون MVIC و مقادیر IEMG عضلات هدف در آزمون نگه‌داشتن پای راست در حالت باز روی دستگاه بدن‌سازی، حاکی از افزایش معنادار در هر سه روز پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون در هر سه عضلات هدف بود ($P = 0.001$). مدت زمان نگه‌داشتن پای راست در حالت باز روی دستگاه بدن‌سازی، به‌صورت چشمگیری در هر سه روز پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون افزایش یافت ($P = 0.001$). به‌نظر می‌رسد به‌کارگیری tRNS، PAP و ترکیب این دو با یکدیگر پس از گرم‌کردن نسبت به گرم‌کردن به‌تنهایی، سبب افزایش فعالیت مغزی، حداکثر فعالیت عضله، انتگرال الکترومیوگرافی و مدت زمان نگه‌داشتن پای راست در دو آزمون نام‌برده می‌شود که در این‌میان، ترکیب tRNS و PAP به‌مراتب دارای اثرهای هم-افزایی در مقایسه با این دو روش به‌تنهایی است.

واژگان کلیدی: توانمندسازی پس‌فعالی، تحریک الکتریکی مغز از روی جمجمه، الکترومیوگرافی، الکتروانسفالوگرافی، حداکثر انقباض ایزومتریک ارادی، انتگرال الکترومیوگرافی.

1. Email: Hosseinramezani128@yahoo.com
2. Email: ziafalm@yahoo.com
3. Email: somayehnamdar@yahoo.com
4. Email: reza.khanbabaie@gmail.com

مقدمه

قبل از مسابقه، ورزشکاران برای افزایش کارایی خود را گرم می‌کنند. برخی، از دویدن‌های مداوم و حرکات کششی و برخی دیگر، از دویدن‌های تکراری یا حتی ماساژ استفاده می‌کنند. این موضوع موجب رشد چشمگیر پژوهش‌هایی شده است که تلاش می‌کنند راهبردهایی را برای افزایش توان و بهبود موقت (در زمان گرم کردن و قبل از مسابقه) در برون‌ده توان عضلانی و همچنین، کاهش خستگی عضلانی شناسایی کنند. در همین راستا، برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده از انقباض‌های ارادی در بخش اختصاصی گرم کردن که از آن به‌عنوان توانمندسازی پس‌فعالی (PAP)^۱ یاد می‌کنند، می‌تواند موجب افزایش فسفوریلاسیون زنجیره‌های سبک تنظیمی سر میوزین شود که این خود به افزایش حساسیت میوفیبریل‌ها به یون کلسیم و در نتیجه، افزایش اتصال پل‌های عرضی در طول سارکومر منجر می‌شود (۱-۳). همچنین، PAP به افزایش تحریک‌پذیری مجتمع نوروهای حرکتی واقع در نخاع (افزایش H-reflex)، افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی و در نهایت، افزایش نیروی تولیدی و سرعت توسعه نیرو به‌صورت حاد کمک می‌کند (۴، ۲). به‌هرحال، دستیابی به آثار مفید PAP تحت تأثیر عوامل متعددی است که از این میان می‌توان به مقادیر بار آماده‌شدن اشاره کرد (۵، ۶). در حقیقت، مقدار بار آماده‌شدن بر مقدار فراخوانی واحدهای حرکتی به‌دلیل غلبه بر بار اعمال‌شده اثرگذار است و مقدار فراخوانی واحد حرکتی بر این مبنا تعیین می‌شود (هرچند سرعت انجام کار و دامنه حرکتی نیز بر این امر اثرگذارند) (۸، ۷)؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در هنگام آماده‌شدن شرایط برای دستیابی به PAP، هرچقدر بتوانیم فراخوانی بیشتری از واحدهای حرکتی در اختیار داشته باشیم، متعاقب آن، به فسفوریلاسیون بیشتری از زنجیره‌های سبک تنظیمی سرهای میوزین و تحریک‌پذیری بیشتر مجتمع نوروهای حرکتی واقع در نخاع دست خواهیم یافت و بیشترین بهره را از PAP خواهیم برد.

دیگر راهکارهایی که می‌توانند به افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی منجر شوند، افزایش تحریک‌پذیری نوروهای حرکتی در قشر مغز است؛ یعنی اصلی‌ترین مکانی که تعیین می‌کند چه مقدار باید نوروها تحریک شوند تا تعداد واحدهای حرکتی موردنیاز برای غلبه بر مقاومت یا انجام عملی را فراخوانی کنند (۹). در همین راستا، می‌توان به روش‌ها و ابزارهای نوین در حوزه درمان و پزشکی اشاره کرد که توانایی اثرگذاری بر تحریک‌پذیری نوروهای قشر مغز دارند. تحریک الکتریکی مغز از روی مجموعه یکی از روش‌های مؤثر در این حوزه به‌شمار می‌آید که انواع گوناگونی دارد (۱۰). پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه الگوهای متفاوت تحریک الکتریکی حاکی هستند که الگوی تحریک

فراجمه‌ای با نویز تصادفی (tRNS)^۱ احتمالاً در مقایسه با سایر روش‌های تحریک الکتریکی، با وجود مدت زمان کمتر تحریک (۱۰ دقیقه برای tRNS و ۲۰ دقیقه برای سایر الگوهای تحریک)، دارای قدرت تحریک‌پذیری بیشتری نیز است (۱۰-۱۳). tRNS باعث تحریک کانال‌های سدیمی واقع در غشای نورون می‌شود و با ورود یون‌های سدیم، آستانه تحریک‌پذیری (آستانه پتانسیل عمل) نورون‌ها کاهش می‌یابد و باعث تولید پتانسیل عمل راحت‌تر، سریع‌تر و بیشتر می‌شود (۱۴، ۱۱). همچنین، نظریه دیگری که در زمینه سازوکار tRNS می‌توان بیان کرد، این است که tRNS باعث رخدادن پدیده تشدید تصادفی^۲ می‌شود و در ادامه، به دستکاری نوسان‌های نورونی و جمع‌شدن جریان‌های کوچک دپولاریزه‌کننده در نورون منجر می‌شود و این موجب نرمال‌شدن الگوی پاسخ‌های عصبی در سیستم عصبی مرکزی می‌شود و در نهایت، به افزایش بهره و کارکرد مفیدتر نورون‌ها در ایجاد پتانسیل عمل کمک می‌کند (۱۵-۱۷)؛ به‌عنوان مثال، در این خصوص می‌توان به پژوهش‌ها و همکاران (۱۸) اشاره کرد که روش‌های مختلف تحریک الکتریکی مغز و توانایی این روش‌ها در افزایش تحریک‌پذیری قشر مغز و متعاقب آن، افزایش در فراخوانی واحدهای حرکتی را مقایسه کردند. آن‌ها سه روش تحریک الکتریکی مغز شامل ۱۰ دقیقه تحریک الکتریکی فراجمه‌ای با جریان مستقیم با یک میلی‌آمپر، تحریک متناوب (استفاده از امواج الکترومغناطیسی) و ۱۰ دقیقه تحریک فراجمه‌ای با نویز تصادفی با یک میلی‌آمپر و فرکانس ۶۴۰ هرتز را بر مقادیر پتانسیل برانگیخته حرکتی آزمودنی‌ها، در بازه‌های زمانی متفاوت بررسی کردند. نتایج حاکی از افزایش معنادار در هر سه روش تحریکی در تمامی بازه‌ها در مقایسه با تحریک ساختگی بود، اما الگوی تحریک فراجمه‌ای با نویز تصادفی، قوی‌ترین اثر و تحریک الکتریکی فراجمه‌ای با جریان مستقیم، طولانی‌ترین اثر و افزایش مقادیر پتانسیل برانگیخته حرکتی را نشان دادند. همچنین، در همین راستا، اینکای و همکاران (۱۰) تأثیر سه روش تحریک الکتریکی مغز از روی جمجمه را بر افزایش تحریک‌پذیری قشر مغز در بازه‌های زمانی پنج، ۱۰ و ۲۰ دقیقه پس از تحریک بررسی کردند. آن‌ها ۱۵ فرد سالم را به‌عنوان آزمودنی انتخاب کردند و هر سه الگوی تحریکی شامل تحریک الکتریکی فراجمه‌ای با جریان مستقیم، تحریک الکتریکی فراجمه‌ای با جریان متناوب و تحریک فراجمه‌ای با نویز تصادفی را با شدت یک میلی‌آمپر و مدت زمان ۱۰ دقیقه، در روزهای متفاوت به‌کار بردند. آن‌ها مقادیر تحریک‌پذیری قشر مغز را با استفاده از پتانسیل برانگیخته حرکتی که با استفاده از تحریک الکترومغناطیسی تک‌پالس بررسی شد، سنجیدند. نتایج نشان داد هر سه الگوی تحریکی باعث افزایش معنادار پتانسیل برانگیخته حرکتی شدند، اما در خصوص مقایسه این سه الگوی تحریکی با تحریک ساختگی (sham)، فقط الگوی

-
1. Transcranial Random Noise Stimulation
 2. Stochastic Resonance

تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای با جریان متناوب و تحریک فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی، افزایش معنادار داشتند. به‌طور کلی، این پژوهشگران اعلام کردند تحریک فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی مؤثرترین روش تحریک الکتریکی مغز از روی جمجمه است که توانست در تمامی نقاط زمانی، تحریک‌پذیری قشر و فراخوانی واحدهای حرکتی را به‌صورت معنادار افزایش دهد؛ بنابراین، انتظار می‌رود سه مزیت و برتری الگوی tRNS؛ یعنی مدت زمان موردنیاز کمتر، قدرت تحریک‌پذیری بیشتر و همچنین، شباهت این الگوی تحریک مغزی با امواج مغزی (فرکانسی و تصادفی‌بودن) بتواند باعث افزایش تحریک‌پذیری نورون‌های قشر حرکتی در کوتاه‌ترین زمان ممکن شوند و در نتیجه، به افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی منجر شوند. این، خود می‌تواند در جهت افزایش احتمالی تعداد فیبرهای عضلانی فسفوریله‌شده در هنگام استفاده از بار آماده‌شدن به‌دلیل دستیابی به PAP، تسهیل راه‌های کورتیکواسپینال و افزایش H-reflex سودمند باشد. همچنین، گفتنی است خروجی حرکتی^۱ به‌طور انحصاری به فعالیت نورون‌های واقع در قشر حرکتی خلاصه نمی‌شود؛ بلکه به تحریک‌پذیری مجتمع نورون‌های حرکتی واقع در نخاع نیز وابسته است (۱۹، ۲).

حال، با توجه به اطلاعات نظری بیان‌شده در مورد نقاط مشترک عملکردی بین PAP و tRNS، احتمال می‌رود ترکیب tRNS با PAP بتواند اثرهای هم‌افزایی چشمگیری بر مقدار خروجی حرکتی عضله اسکلتی داشته باشد؛ بنابراین، می‌توان انتظار داشت از اثرهای PAP بهره بیشتری گرفت. تاکنون در هیچ پژوهشی به استفاده از مزایای تحریک الکتریکی مغز از روی جمجمه، به‌عنوان حوزه‌ای نوین و کارآمد در افزایش توان خروجی عضله و ترکیب آن با پدیده‌های دیگر همچون PAP پرداخته نشده است. علاوه‌براین، تاکنون در هیچ پژوهشی آثار PAP بر سطوح فعالیت مغزی بررسی نشده است. همچنین، پژوهش‌های بسیار اندکی در زمینه اثر به‌کارگیری الگوی tRNS بر افزایش توان خروجی عضله و حوزه ورزش انجام شده‌اند که عمدتاً با استفاده از تحریک مغناطیسی فراجمجمه‌ای^۲ و بررسی مقادیر پتانسیل برانگیخته حرکتی^۳ بوده‌اند، نه استفاده از آزمون‌های عملکردی و سنجش حقیقی و میدانی تولید نیروی عضلانی آزمودنی‌ها؛ براین‌اساس، انتظار می‌رود پرداختن به این موضوع مهم به دستیابی به اطلاعات جدید در حوزه ورزش قهرمانی و چگونگی فراهم‌آوردن شرایط مناسب‌تر برای ورزشکاران، پیش از مسابقه و در مرحله گرم‌کردن منجر شود. به‌همین دلیل، در پژوهش حاضر، به بررسی آثار ترکیب PAP با tRNS بر سطوح فعالیت مغزی، حداکثر نیروی تولیدی و کار فیزیولوژیک

-
1. Motor Output
 2. Transcranial Magnetic Stimulation
 3. Motor Evoked Potential

عضلات پهن خارجی، راست رانی و پهن داخلی در هنگام اجرای آزمون‌های حداکثر انقباض ایزومتریک ارادی (MVIC)^۱ و نگاه داشتن پا در حالت باز روی دستگاه بدن‌سازی پرداخته می‌شود.

روش پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی و با روش نیمه‌تجربی، به صورت یک‌سویه‌کور اجرا شد (شخصی که آزمودنی‌ها را برای اعمال بیشترین توان خود در هنگام اجرای آزمون‌ها تشویق می‌کرد، به صورت دوسویه‌کور در پژوهش حضور داشت). در این مطالعه، ۱۰ مرد ورزشکار (کسی که حداقل دارای یک مقام در سطح استان بود و به صورت حرفه‌ای حداقل پنج روز در هفته به تمرین مشغول بود) از دانشجویان دانشگاه مازندران که در رشته‌های ورزشی کشتی (چهار نفر)، دوومیدانی (سه نفر) و والیبال (سه نفر) فعالیت داشتند، پای برتر آن‌ها پای راست بود (جدول شماره ۱) و هیچ‌گونه سابقه اختلال‌های مغزی یا آسیب‌دیدگی و سابقه عمل جراحی در ناحیه مفصل زانو نداشتند، شرکت کردند. آن‌ها به صورت داوطلبانه و پس از بررسی از طریق پرسش‌نامه، به عنوان آزمودنی انتخاب شدند. ۷۲ ساعت پیش از شروع فرایند، آزمودنی‌ها برای تکمیل پرسش‌نامه مشخصات فردی و وضعیت سلامتی، آشنایی با پروتکل‌های تمرینی، نحوه اعمال تحریک الکتریکی مغز، گرفتن آزمون و جمع‌آوری اطلاعات، به دست آوردن یک تکرار بیشینه (IRM) در حرکت اکستنشن مفصل زانوی پای راست با استفاده از دستگاه بدن‌سازی جلوپا و امضای فرم رضایت‌نامه که شامل هدف پژوهش، روش اجرای کار، مزیت و مشکلات احتمالی، مسئولیت داوطلبان و کاربرد نتایج پژوهش بود، به آزمایشگاه فراخوانده شدند. در جدول شماره یک، ویژگی‌های توصیفی آزمودنی‌ها ارائه شده است. در این پژوهش، به دلیل احتمال هم‌زمان شدن فصل مسابقه‌ها با جمع‌آوری داده‌ها، نگرانی احتمالی ورزشکاران از آسیب‌دیدگی در زمان تعیین IRM و بی‌توجهی ورزشکاران به درخواست ما برای اعمال حداکثر نیروی خود، برای تعیین IRM، از پروتکل برزیکی^۲ استفاده شد (۲۰). این پژوهش دارای کد اخلاق به شماره IR.UMZ.REC.1397,051 از دانشگاه مازندران است.

آزمودنی‌ها به صورت تصادفی و متقاطع، در چهار نوبت با اندازه‌های تکراری، در معرض چهار نوع متغیر مستقل در چهار روز متفاوت قرار گرفتند. آزمودنی‌ها در هر روز با فاصله دست‌کم ۲۴ ساعت، یکی از سطوح چهارگانه (جدول شماره دو) را اجرا کردند. در هر روز، آزمودنی‌ها پروتکل گرم‌کردن یکسانی را اجرا کردند. آن‌ها، ابتدا با سرعت شش تا هشت کیلومتر بر ساعت به مدت پنج دقیقه روی تردمیل دویدند و پس از آن، دو تا پنج دقیقه حرکات نرمشی انجام دادند. گفتنی است از آزمودنی‌ها خواسته

1. Maximum Voluntary Isometric Contraction
2. Brzycki

شد به دلیل تأثیر منفی حرکات کششی استاتیک بر تولید حداکثر نیرو و توان عضلانی، در گرم کردن خود از انجام حرکات کششی استاتیک خودداری کنند (۲۲، ۲۱).

سطوح چهارگانه: اطلاعات به دست آمده از سطح یک، به عنوان پیش‌آزمون و اطلاعات به دست آمده از سطوح دو، سه و چهار، به عنوان پس‌آزمون لحاظ شدند. در هر چهار سطح، به دلیل بررسی سطوح فعالیت مغزی پایه (توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما) و پیش‌فرض ما از یکسانی آن در هر چهار سطح، پیش از شروع فرایند آزمایشگاهی، در حالت استراحت و نشسته روی صندلی، مقادیر فعالیت مغزی پایه ثبت شدند.

سطح یک: ابتدا مقادیر فعالیت مغزی پایه ثبت شدند. سپس، با استفاده از سیستم مکان‌یابی ۲۰-۱۰، نقطه Cz را که معادل ناحیه چهار برادمن (Vertex) واقع در قشر مغز است و محل قرارگیری نورون‌های حرکتی عضلات ران است (۲۳)، با پدهای دستگاه tRNS به مدت ۳۰ ثانیه^۱ (۲۵، ۲۴) با فرکانس ۱۰۰ تا ۶۴۰ هرتز و شدت دو میلی‌آمپر (۱۱)، به صورت ساختگی^۲ تحریک کردیم. پس از ۱۰ دقیقه استراحت، آزمودنی‌ها به گرم کردن عمومی بدن اقدام کردند و دوباره هفت دقیقه استراحت کردند. سپس، دو نوبت آزمون MVIC را در حرکت باز شدن مفصل زانوی پای راست، با وهله‌های دو دقیقه استراحت (۲۶، ۲۷) در بین هر آزمون MVIC انجام دادند. دوباره بعد از دو دقیقه استراحت، آزمون نگه‌داشتن پای راست در مقابل مقاومتی معادل ۳۰ درصد 1RM خود در حالت کاملاً باز را با استفاده از دستگاه بدن‌سازی جلوپا انجام دادند (جدول شماره ۲).

سطح دو: ابتدا مقادیر فعالیت مغزی پایه ثبت شدند. سپس، با استفاده از پدهای دستگاه tRNS، نقطه Cz واقع در قشر مغز را به مدت ۱۰ دقیقه با فرکانس ۱۰۰ تا ۶۴۰ هرتز و شدت دو میلی‌آمپر تحریک کردیم (۲۸، ۱۲، ۱۱). پس از ۱۰ دقیقه استراحت، آزمودنی‌ها به گرم کردن عمومی بدن اقدام نمودند و دوباره هفت دقیقه استراحت کردند. سپس، دو نوبت آزمون MVIC را در حرکت باز شدن مفصل زانوی پای راست، با وهله‌های دو دقیقه استراحت در بین هر آزمون MVIC انجام دادند. دوباره بعد از دو دقیقه استراحت، آزمون نگه‌داشتن پای راست در مقابل مقاومتی معادل ۳۰ درصد 1RM خود در حالت کاملاً باز را با استفاده از دستگاه بدن‌سازی جلوپا انجام دادند (جدول شماره ۲).

سطح سه: ابتدا مقادیر فعالیت مغزی پایه ثبت شدند. سپس، آزمودنی‌ها بدن را به صورت عمومی گرم کردند و یک نوبت شش‌تکراری حرکت جلو پا را با پای راست تمرین مقاومتی (۸۰ درصد 1RM) اجرا

۱. الکتروود به مدت ۱۰ دقیقه روی جمجمه قرار می‌گیرد، اما تنها ۳۰ ثانیه آغازین دارای تحریک الکتریکی است. در دو حالت تحریک حقیقی و ساختگی، از آزمودنی‌ها در مورد تفاوت‌های احتمالی و احساسشان سؤال شد.

کردند^۱. براساس پژوهش‌های پیشین، مقدار بار اعمال‌شده که بتواند بهترین عملکرد را در PAP به‌ارمغان آورد، معادل ۸۰ درصد IRM فرد است (۲۹). بعد از هفت دقیقه استراحت (۳۱، ۳۰، ۶)، آزمودنی‌ها دو نوبت آزمون MVIC را در حرکت بازشدن مفصل زانوی پای راست، با وهله‌های دو دقیقه استراحت دربین هر آزمون MVIC انجام دادند. دوباره بعد از دو دقیقه استراحت، آزمودنی‌ها آزمون نگه‌داشتن پای راست درمقابل مقاومتی معادل ۳۰ درصد IRM خود در حالت کاملاً باز را با استفاده از دستگاه بدن‌سازی جلوپا انجام دادند (جدول شماره ۱ دو).

سطح چهار: ابتدا مقادیر فعالیت مغزی پایه ثبت شدند. سپس، با استفاده از پدهای دستگاه IRNS، به تحریک ناحیه چهار برادمن واقع در قشر مغز به مدت ۱۰ دقیقه با فرکانس ۱۰۰ تا ۶۴۰ هرتز و شدت دو میلی‌آمپر اقدام کردیم. پس از آن، آزمودنی‌ها پس از هفت دقیقه استراحت به گرم‌کردن عمومی بدن و اجرای یک نوبت شش‌تکراری حرکت جلو پا با پای راست تمرین مقاومتی (۸۰ درصد IRM) اقدام کردند. دوباره بعد از هفت دقیقه استراحت، دو نوبت آزمون MVIC را در حرکت بازشدن مفصل زانوی پای راست، با وهله‌های دو دقیقه استراحت دربین هر آزمون MVIC اجرا کردند. آن‌گاه بعد از دو دقیقه استراحت، آزمون نگه‌داشتن پای راست درمقابل مقاومتی معادل ۳۰ درصد IRM خود در حالت کاملاً باز را با استفاده از دستگاه بدن‌سازی جلوپا انجام دادند (جدول شماره ۱ دو).

جدول ۱- ویژگی‌های توصیفی آزمودنی‌ها (انحراف معیار ± میانگین)

سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (سانتی‌متر)	یک تکرار بیشینه (کیلوگرم)
۲۹/۱ ± ۱/۹۲	۷۳/۸ ± ۴/۳۵	۱۷۸/۹ ± ۶/۷	۸۹ ± ۱۲/۸

۱. دربین تمام آزمودنی‌ها، سرعت انجام کار با استفاده از مترونوم یکسان‌سازی شد.

جدول ۲- روش کار

اجرای آزمون نگه‌داشتن پا	اجرای آزمون MVIC	هفت دقیقه استراحت	۱۰ دقیقه گرم‌کردن	۱۰ دقیقه استراحت	اعمال تحریک ساختگی بر قشر مغز	ثبت EEG استراحتی	سطح یک
اجرای آزمون نگه‌داشتن پا	اجرای آزمون MVIC	هفت دقیقه استراحت	۱۰ دقیقه گرم‌کردن	۱۰ دقیقه استراحت	اعمال تحریک بر قشر مغز	ثبت EEG استراحتی	* سطح دو
اجرای آزمون نگاه‌داشتن پا		اجرای آزمون MVIC	هفت دقیقه استراحت	۱۰ دقیقه گرم‌کردن و اجرای یک نوبت شش‌تکراری حرکت جلو پا	ثبت EEG استراحتی	** سطح سه	
اجرای آزمون نگه‌داشتن پا	اجرای آزمون MVIC	هفت دقیقه استراحت	۱۰ دقیقه گرم‌کردن و اجرای یک نوبت شش‌تکراری حرکت جلو پا	هفت دقیقه استراحت	اعمال تحریک بر قشر مغز	ثبت EEG استراحتی	سطح چهار

* استراحت‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که قبل از شروع آزمون‌ها، مدت زمان ۳۰ دقیقه از اعمال تحریک گذشته باشد؛ زیرا، براساس پژوهش‌های پیشین، بیشترین سطح تحریک‌پذیری قشر مغز، در مدت زمان ۳۰ دقیقه پس از اعمال تحریک مغزی رخ می‌دهد (۱۸، ۳۲).

** استراحت‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که قبل از اجرای آزمون‌ها، هفت تا ۱۰ دقیقه استراحت وجود داشته باشد؛ زیرا، براساس پژوهش‌های پیشین، بیشترین سطح افزایش نیروی ناشی از اثرهای PAP، در استراحت‌های هفت تا ۱۰ دقیقه پس از اجرای تمرین مقاومتی رخ می‌دهد (۳۰، ۳۱، ۴).

ثبت الکتروانسفالوگرافی: هنگام اجرای آزمون‌های MVIC در حرکت بازشدن مفصل زانوی پای راست و نگاه‌داشتن پای راست در حالت کاملاً باز روی دستگاه بدن‌سازی جلوپا، هم‌زمان اطلاعات الکتروانسفالوگرافی نواحی مرتبط با فعالیت عضلات ران و همچنین، فعالیت بدنی (Cz, C3, C4, Pz,) (P3, P4, Fz, F3, F4) (۳۳، ۳۴) با استفاده از دستگاه BrainMaster ۱۹ کاناله ساخت کشور آمریکا با فرکانس نمونه‌برداری ۲۵۰ هرتز ثبت شدند. سپس، با استفاده از نرم‌افزار متلب^۱، EEGlab و

به‌کارگیری تکنیک فیلتر میان‌گذر با دامنه هشت تا ۸۰ هرتز، حذف نویز برق شهری (۵۰ هرتز)، استفاده از تکنیک تحلیل مستقل کامپوننت^۱ (ICA) و الگوریتم حذف نویزهای چندگانه^۲ (MARA)، سعی شد استخراج اطلاعات و حذف (تعدیل) نویزها به بهترین روش ممکن انجام شود (۳۶، ۳۵). سپس، توان مطلق^۳ (دامنه مطلق) امواج آلفا (هشت تا ۱۳ هرتز)، بتا (۱۵ تا ۳۰ هرتز) و گاما (۳۰ تا ۸۰ هرتز) که در ارتباط با حرکت و فعالیت بدنی هستند، استخراج و تجزیه و تحلیل شد (۳۷، ۳۴). برای مقایسه مقدار فعالیت مغزی در آزمون نگاه‌داشتن پا در هر روز، مقدار فعالیت مغزی در این آزمون به حداکثر فعالیت مغزی در آزمون MVIC در همان روز نرمال شد و سپس، مقایسه آماری شد. نحوه چیدمان الکترودها براساس سیستم مکان‌یابی ۲۰-۱۰ و با استفاده از کلاه مخصوص دستگاه BrainMaster انجام شد. همچنین، به آزمودنی‌ها گفته شد که در روز آزمون‌گیری، با سری تمیز در آزمایشگاه حاضر شوند و حداقل دو ساعت قبل از مراجعه به آزمایشگاه از مصرف نوشیدنی‌های کافئینی و الکلی خودداری کنند. همچنین، در مدت ثبت امواج مغزی از پلک‌زدن، انقباض عضلات گردن و صورت، فشردن چشم‌ها و دندان‌ها به یکدیگر خودداری کنند. محیط اجرای آزمون‌ها در مکانی با نور و حداقل صدا انجام شد که تا حد امکان از تداخل‌های حسی جلوگیری شود.

اعمال تحریک الکتریکی مغز: تحریک الکتریکی مغز از روی جمجمه، با استفاده از دستگاه دوکاناله Neurostim2 ساخت کشور ایران و با الگوی نویز تصادفی (tRNS) و استفاده از الکترودهای کربنی با اندازه ۲ × ۲ برای الکتروود آند و ۴ × ۹ برای الکتروود کاتد انجام شد (۳۹، ۳۸، ۲۸). نحوه قرار گرفتن الکترودهای کاتد و آند بدین صورت بود که برای اجتناب از اثرهای احتمالی منفی الکتروود کاتد بر قشر مغز، الکتروود کاتد روی شانه و الکتروود آند روی جمجمه قرار گرفتند (۲۴، ۱۲). همچنین، پوشش اسفنجی روی پدهای کربنی با محلول نمکی با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار مرطوب شد و آماده قرار گرفتن روی سر و شانه شد (۴۰).

ثبت الکترومیوگرافی: ثبت الکترومیوگرافی با استفاده از دستگاه ۱۶ کاناله Biovision ساخت کشور آلمان و فرکانس نمونه‌برداری ۲۰۰۰ هرتز صورت گرفت. پیش از هر اقدامی، پوست نواحی موردنظر کاملاً با ژیلت تمیز شد و پس از گرم‌کردن، با الکترولیت به‌خوبی تمیز شد. سپس، الکتروودگذاری روی پوست انجام گرفت. الکتروودگذاری براساس روشی که در SENIAM آمده است (۴۱)، انجام شد. مکان الکتروودگذاری در حین اجرای هر دو آزمون یکسان بود و فاصله مرکز تا مرکز الکتروودها، دو سانتی‌متر بود و الکتروود مرجع روی کنديل خارجي استخوان درشت‌نی قرار گرفت (شکل شماره یک). از نرم‌افزار

1. Independent Component Analysis
2. Multiple Artifact Rejection Algorithm
3. Absolute Power (Absolute Amplitude)

متلب و تکنیک فیلتر پایین و بالاگذر به ترتیب ۵۰۰ و ۱۰ هرتز، درجه^۱ چهار و نویز برق شهری (۵۰ هرتز)، به دلیل حذف نویزها و استخراج اطلاعات درست حاصل از فعالیت عضله استفاده شد. هنگام اجرای آزمون‌های MVIC در حرکت بازشدن مفصل زانوی پای راست و نگاه داشتن پای راست در حالت کاملاً باز روی دستگاه بدن‌سازی جلوپا، هم‌زمان اطلاعات الکترومیوگرافی عضلات پهن خارجی، راست رانی و پهن داخلی (به‌عنوان فعالیت گروه عضلانی چهارسر)، به ترتیب با استفاده از حداکثر فعالیت عضله و انتگرال الکترومیوگرافی^۲ تجزیه و تحلیل شدند.

آزمون MVIC: هنگام اجرای آزمون MVIC در حرکت بازشدن مفصل زانوی پای راست، پا و مفصل زانو در زاویه ۸۰ درجه با استفاده از تسمه‌ای از جنس کتان در محلی ثابت به‌طور کامل ثابت نگه داشته شدند. سپس، از آزمودنی‌ها خواسته شد حدود شش ثانیه به تدریج عضلات خود را به حداکثر انقباض ممکن و توان عضلانی خود برسانند و سعی کنند مفصل زانوی خود را باز کنند (۴۲، ۴۱). این آزمون در دو نوبت و با استراحت دو دقیقه در بین هر نوبت اجرا شد. سپس، در بررسی‌های بعدی، بهترین اجرای هر فرد به‌عنوان حداکثر فعالیت عضله در حین آزمون MVIC انتخاب شد.

آزمون نگاه داشتن پا در حالت کاملاً باز روی دستگاه بدن‌سازی جلوپا: نحوه اجرای آزمون نگاه داشتن پای راست در حالت کاملاً باز روی دستگاه بدن‌سازی جلوپا، بدین‌صورت بود که هر آزمودنی با شنیدن صدا، پای خود را در مقابل مقاومتی معادل ۳۰ درصد IRM خود بالا می‌آورد و پس از بالا آمدن مناسب (۹۰ درجه) پا، سعی می‌کرد وضعیت پا را در موقعیت یادشده حفظ کند و باید از پایین آمدن پا و خم شدن مفصل زانو جلوگیری می‌کرد. در همین هنگام، آزمودنی به‌صورت شنیداری از مکانی شاخص که نشان‌دهنده مقدار درست بازشدن پا و بالا آمدن مناسب پا بود، مطلع می‌شد و بازخورد دریافت می‌کرد. چنانچه باوجود شنیدن بازخورد، آزمودنی نمی‌توانست شاخص را در نقطه مورد نظر ما حفظ کند، کار متوقف می‌شد و مدت زمان او ثبت می‌شد (شکل شماره یک). گفتنی است مقدار درست بازشدن پا و بالا آوردن پا با استفاده از گونیامتر برای هر فرد، به‌صورت مجزا قبل از شروع آزمون مشخص می‌شد و با شاخص نشانه‌گذاری می‌شد. برای مقایسه مقادیر انتگرال الکترومیوگرافی به دست آمده از این آزمون، مقدار انتگرال الکترومیوگرافی به مقادیر حداکثر فعالیت عضله در آزمون MVIC در همان روز نرمال شد و سپس، مقایسه آماری شد. این آزمون با الگوبرداری از پژوهش‌های پیشین در زمینه خستگی عضلانی و اعمال تغییراتی در خور تجهیزات و ماهیت پژوهش حاضر، به‌صورت پژوهشگر ساخته طراحی و اجرا شد.

1. Order

2. Integrated EMG



شکل ۱- نحوه اجرای آزمون نگاه‌داشتن پا

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آمار توصیفی برای تعیین میانگین، انحراف معیار، پراکندگی و رسم جداول استفاده شد. برای تعیین طبیعی بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک^۱ و برای تعیین همگنی واریانس‌ها از آزمون کرویت ماچولی^۲ استفاده شد. با هدف آزمون فرضیه‌های پژوهش، برای مقایسه تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته، از تحلیل واریانس یک‌راهه با اندازه‌گیری‌های تکراری^۳ و برای بیان معناداری تفاوت بین اندازه‌گیری تکراری، از آزمون تعقیبی بونفرونی^۴ استفاده شد. گفتنی است در پژوهش حاضر، به دلیل تأیید پیش فرض کرویت ماچولی داده‌ها، از ضریب تصحیح کروی فرض شده^۵ استفاده شده است. در مورد تمامی متغیرها، سطح معناداری آزمون‌ها در سطح آلفای پنج صدم ($P \leq 0.05$) در نظر گرفته شد. برای محاسبه میانگین، انحراف معیار و تحلیل واریانس برای اندازه‌گیری‌های تکراری، از برنامه اس.پی.اس.اس.^۶ نسخه ۲۲ استفاده شد.

-
1. Shapiro-Wilk Test
 2. Mauchly's Test of Sphericity
 3. Analysis of Variance with Repeated Measure (ANOVA R.M)
 4. Bonferroni Post Hoc test
 5. Sphericity Assumed
 6. Statistic Program of Social Science (SPSS)

نتایج

ابتدا سطوح فعالیت مغزی پایه (توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما) در حالت استراحت و پیش از شروع فرایند آزمون‌گیری، در هر نه کانال حاکی از نبود تغییرات معنادار در بین سطوح چهارگانه بود. درحین آزمون MVIC، مقادیر توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما تنها در کانال Cz، به‌صورت معنادار در هر سه سطح دو، سه و چهار در مقایسه با سطح یک افزایش یافتند (آلفا $F = 26.35$, $P = 0.001$ ، بتا $F = 38.56$, $P = 0.001$ و گاما $F = 75.55$, $P = 0.001$) (جدول شماره سه). درحین آزمون نگاهداشتن پای راست، مقادیر توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما تنها در کانال Cz، به‌صورت معنادار در هر سه سطح دو، سه و چهار در مقایسه با سطح یک افزایش یافتند (آلفا $F = 22.19$, $P = 0.001$ ، بتا $F = 32.32$, $P = 0.001$ و گاما $F = 24.11$, $P = 0.001$) (جدول شماره چهار). در دیگر کانال‌ها باوجود افزایش اندک (یک تا سه درصد)، هیچ تفاوت معنادار مشاهده نشد. درخصوص آزمون تعقیبی و مقایسه دوه‌دو بین سطوح چهارگانه توان مطلق امواج EEG در آزمون‌های MVIC و نگاهداشتن پای راست، در هر سه امواج EEG، تنها در مقایسه سطح دو با سطح سه شاهد تفاوت معنادار نبودیم و مقایسه‌های دوه‌دوی دیگر همگی حاکی از وجود تفاوت معنادار بین مقایسه‌ها بودند (جدول شماره پنج).

جدول ۳- مقادیر توان مطلق امواج آلفا، بتا و گامای کانال Cz درحین آزمون MVIC (μv)
(انحراف معیار \pm میانگین)

سطوح	آزمون MVIC		
	آلفا	بتا	گاما
سطح یک	0.020 ± 0.0052	0.019 ± 0.0028	0.030 ± 0.0069
سطح دو	0.023 ± 0.0059	0.023 ± 0.0029	0.035 ± 0.0069
سطح سه	0.024 ± 0.0062	0.023 ± 0.0031	0.037 ± 0.0069
سطح چهار	0.029 ± 0.0070	0.033 ± 0.0084	0.050 ± 0.0088

جدول ۴- مقادیر توان مطلق امواج آلفا، بتا و گامای کانال Cz درحین آزمون نگاهداشتن پای راست (μv)
(انحراف معیار \pm میانگین)

سطوح	آزمون نگاهداشتن پای راست		
	آلفا	بتا	گاما
سطح یک	$2228/62 \pm 895/43$	$12377/36 \pm 4954/14$	$8096/91 \pm 2634/70$
سطح دو	$2309/98 \pm 911/86$	$12899/58 \pm 5196/53$	$8691/36 \pm 2886/03$
سطح سه	$2376/05 \pm 917/73$	$13032/74 \pm 5181/06$	$8895/66 \pm 2825/72$
سطح چهار	$2633/51 \pm 1089/16$	$13999/80 \pm 5750/74$	$10638/52 \pm 3843/02$

جدول ۵- مقایسه دوبه‌دوی توان مطلق امواج EEG بین سطوح چهارگانه درحین آزمون‌های MVIC و نگاهداشتن پای راست توسط آزمون تعقیبی بونفرونی در کانال Cz

آزمون نگاهداشتن پای راست			آزمون MVIC			مقایسه دوبه‌دو	
معناداری			معناداری				
گاما	بتا	آلفا	گاما	بتا	آلفا		
* ۰/۰۰۱	* ۰/۰۰۳	* ۰/۰۰۷	* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۲۷	سطح دو	سطح یک
* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۰۱	* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۲۳	سطح سه	
* ۰/۰۰۲	* ۰/۰۰۱	* ۰/۰۰۲	* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۰۰	سطح چهار	
۰/۱۵۵	۰/۰۸۲	۰/۱۴۵	۰/۱۲۳	۰/۱۳۵	۱/۰۰۰	سطح سه	سطح دو
* ۰/۰۰۸	* ۰/۰۰۲	* ۰/۰۱۳	* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۰۳	* ۰/۰۰۳	سطح چهار	
* ۰/۰۱۴	* ۰/۰۰۵	* ۰/۰۲۸	* ۰/۰۰۰	* ۰/۰۰۳	* ۰/۰۰۵	سطح چهار	

* وجود تفاوت معنادار بین مقایسه دوبه‌دو

درحین آزمون MVIC، حداکثر فعالیت عضله، به‌صورت معنادار در هر سه روز پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون، در هر سه عضله هدف افزایش یافت (پهن خارجی $F = 68.66$ ، $P = 0.00$)، (راست رانی $F = 87.54$ ، $P = 0.001$) و (پهن داخلی $F = 65.45$ ، $P = 0.001$) (جدول شماره شش). درحین آزمون نگاهداشتن پای راست، انتگرال الکترومیوگرافی به‌صورت معنادار در هر سه روز پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون، در هر سه عضله هدف افزایش یافت (پهن خارجی $F = 51.85$ ، $P = 0.001$)، (راست رانی $F = 57.60$ ، $P = 0.001$) و (پهن داخلی $F = 68.69$ ، $P = 0.001$) (جدول شماره شش). درخصوص آزمون تعقیبی و مقایسه دوبه‌دو بین سطوح چهارگانه حداکثر فعالیت عضله در آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی در آزمون نگاهداشتن پای راست، در هر سه عضله هدف، تنها در مقایسه سطح دو با سطح سه شاهد تفاوت معنادار نبودیم و مقایسه‌های دوبه‌دوی دیگر همگی حاکی از وجود تفاوت معنادار بین مقایسه‌ها بودند (جدول شماره هفت).

جدول ۶- مقادیر حداکثر فعالیت عضله درحین آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی درحین آزمون نگاهداشتن پای راست (mV) (انحراف معیار \pm میانگین)

سطوح	سطح یک	سطح دو	سطح سه	سطح چهار
حداکثر فعالیت عضله در آزمون MVIC	پهن خارجی	۰/۳۳۱ \pm ۰/۰۴۷	۰/۴۷۸ \pm ۰/۰۷۰	۰/۵۱۹ \pm ۰/۰۸۸
	راست رانی	۰/۴۹۵ \pm ۰/۰۶۵	۰/۶۸۲ \pm ۰/۱۰۳	۰/۷۲۶ \pm ۰/۰۴۱
	پهن داخلی	۰/۵۹۵ \pm ۰/۰۹۳	۰/۷۹۸ \pm ۰/۱۰۰	۰/۹۰۳ \pm ۰/۱۸۲

ادامه جدول ۶- مقادیر حداکثر فعالیت عضله در حین آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی در حین آزمون نگاهداشتن پای راست (mV) (انحراف معیار \pm میانگین)

سطوح	سطح یک	سطح دو	سطح سه	سطح چهار	سطوح
پهن خارجی	۶۳/۲۴ \pm ۱۲/۷۸	۸۶/۰۳ \pm ۱۰/۷۵	۹۱/۳۰ \pm ۱۴/۰۵	۱۱۱/۷۱ \pm ۲۰/۴۸	انتگرال الکترومیوگرافی در آزمون نگاهداشتن پای راست
راست رانی	۷۵/۱۵ \pm ۱۲/۵۴	۹۴/۵۴ \pm ۱۲/۱۳	۱۰۳/۲۳ \pm ۱۴/۱۴	۱۲۸/۸۱ \pm ۱۵/۳۸	
پهن داخلی	۵۶/۰۳ \pm ۱۱/۱۵	۷۵/۷۸ \pm ۱۵/۹۷	۹۴/۱۵ \pm ۱۳/۹۵	۱۱۳/۶۵ \pm ۱۶/۶۷	

جدول ۷- مقایسه دوه‌دوی حداکثر فعالیت عضله در حین آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی در حین آزمون نگاهداشتن پای راست بین سطوح چهارگانه توسط آزمون تعقیبی بونفرونی

مقایسه دوه‌دو	آزمون MVIC					
	معناداری			معناداری		
	پهن خارجی	راست رانی	پهن داخلی	پهن خارجی	راست رانی	پهن داخلی
سطح دو	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
سطح سه	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
سطح چهار	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
سطح دو	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
سطح سه	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

* وجود تفاوت معنادار بین مقایسه دوه‌دو

مدت زمان نگاهداشتن پای راست در حالت کاملاً باز روی دستگاه بدن‌سازی جلویا، به‌صورت معنادار ($F = 80.52, P = 0.001$) در هر سه روز پس‌آزمون در مقایسه با پیش‌آزمون، به‌ترتیب دارای افزایش ۲۰، ۳۰ و ۵۸ درصدی بود (جدول شماره هشت). در خصوص آزمون تعقیبی و مقایسه دوه‌دو بین سطوح چهارگانه مدت زمان نگاهداشتن پای راست، تنها در مقایسه سطح دو با سطح سه شاهد تفاوت

معنادار نبودیم و مقایسه‌های دوبه‌دوی دیگر همگی حاکی از وجود تفاوت معنادار در بین مقایسه‌ها بودند (جدول شماره نه).

جدول ۸- مدت زمان نگاه‌داشتن پای راست (به ثانیه) (انحراف معیار \pm میانگین)

سطوح	مدت زمان نگاه‌داشتن پای راست
سطح یک	$35 \pm 2/34$
سطح دو	$42 \pm 2/61$
سطح سه	$46 \pm 4/54$
سطح چهار	$55 \pm 5/26$

جدول ۹- مقایسه دوبه‌دوی مدت زمان نگاه‌داشتن پای راست بین سطوح چهارگانه توسط آزمون تعقیبی

بونفرونی

مدت زمان نگاه‌داشتن پای راست		
مقایسه دوبه‌دو	معناداری	
سطح دو	* ۰/۰۰۰	
سطح سه	* ۰/۰۰۰	سطح یک
سطح چهار	* ۰/۰۰۰	
سطح سه	* ۰/۱۳۱	سطح دو
سطح چهار	* ۰/۰۰۰	
سطح چهار	* ۰/۰۰۰	سطح سه

* وجود تفاوت معنادار بین مقایسه دوبه‌دو

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مشاهده‌نشدن معناداری در سطوح فعالیت مغزی و توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما در حالت استراحت و پیش از شروع فرایند آزمون‌گیری در بین سطوح چهارگانه، نشان‌دهنده یکسان بودن فعالیت مغزی پایه در هر چهار روز آزمون‌گیری است و تغییراتی که در مقادیر فعالیت مغزی و توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما هنگام اجرای آزمون‌ها در روزهای متفاوت مشاهده شدند، احتمالاً به دلیل به کارگیری مداخله‌های متفاوت در قبل از اجرای آزمون‌ها هستند، نه تغییرات فعالیت مغزی پایه آزمودنی‌ها در روزهای متفاوت.

افزایش معنادار فعالیت مغزی و توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما در کانال Cz در هنگام اجرای آزمون‌های MVIC و نگاه‌داشتن پا در سطح دو نسبت به سطح یک، نشان‌دهنده احتمال تأثیرپذیری مثبت و کارآمد tRNS بر کاهش آستانه تحریک‌پذیری (آستانه پتانسیل عمل) و رخ دادن پدیده تشدید تصادفی

در نورون‌های واقع در ناحیه Cz است (۱۴-۱۷، ۱۱) که می‌تواند در تولید پتانسیل عمل راحت‌تر و بیشتر در این ناحیه از قشر حرکتی در هنگام اجرای آزمون‌ها مفید واقع شود. این نتایج با پژوهش‌های دانیلا^۱ و همکاران (۲۸) و بنس^۲ و همکاران (۳۲) همسو بود. در خصوص افزایش معنادار فعالیت مغزی و توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما در کانال Cz در هنگام اجرای آزمون‌های MVIC و نگه‌داشتن پا در سطح سه نسبت به سطح یک، می‌توان به رخ‌دادن تقویت بلندمدت^۳ اشاره کرد که به‌عنوان افزایش انتقال پیام بین دو نورون است که در اثر فعال‌شدن هم‌زمان نورون‌ها و فعالیت اخیر در بین این نورون-هاست و می‌تواند به پلاستیسیته سیناپسی^۴ و در نتیجه، تسهیل سیناپسی^۵ در نورون‌های قشر حرکتی مرتبط با عضلات هدف منجر شود (۴۳، ۴۴)؛ زیرا، اجرای یک نوبت فعالیت مقاومتی با شدت قابل توجه (۸۰ درصد 1RM هر فرد) در پیش از اجرای آزمون‌ها باعث فعال‌شدن نورون‌های مرتبط با عضلات هدف در قشر حرکتی می‌شود و این فعالیت نسبتاً گسترده می‌تواند به رخ‌دادن تسهیل سیناپسی در تک‌تک نورون‌های فراخوانده‌شده، تنها در ناحیه Cz منجر شود. این، خود در هنگام اجرای آزمون‌ها باعث فعال‌شدن راحت‌تر، سریع‌تر و بیشتر نورون‌های ناحیه Cz می‌شود. متأسفانه، تاکنون در هیچ پژوهشی به اثرهای PAP بر سطوح فعالیت مغزی پرداخته نشده است و در این خصوص نمی‌توان به گزارش همسوبودن یا نبودن پژوهش حاضر با دیگر پژوهش‌ها پرداخت. در ادامه، به بررسی افزایش معنادار فعالیت مغزی و توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما در کانال Cz در هنگام اجرای آزمون‌های MVIC و نگه‌داشتن پا در سطح چهار نسبت به سطح یک، می‌پردازیم. این افزایش نشان‌دهنده کارآمدبودن بسیار جالب توجه ترکیب دو روش tRNS و PAP با یکدیگر است که می‌تواند یکی از فرضیه‌های اصلی ما، یعنی استفاده از tRNS به دلیل افزایش تحریک‌پذیری نورون‌های قشر حرکتی باشد و در نتیجه، افزایش تعداد نورون‌های فعال‌شده در ناحیه CZ در هنگام اجرای یک نوبت تمرین مقاومتی را تأیید کند. این، خود می‌تواند به افزایش هرچه بیشتر تسهیل سیناپسی در ناحیه Cz منجر شود که این مطلب به معنی افزایش فعالیت مغزی در کانال Cz در هنگام اجرای آزمون‌هاست؛ به عبارتی، در اینجا شاهد ترکیب اثرهای افزایش تحریک‌پذیری نورون‌های قشر حرکتی با رخ‌دادن تسهیل سیناپسی در نورون‌های ناحیه Cz هستیم. متأسفانه، تاکنون در هیچ پژوهشی به بررسی اثرهای ترکیب tRNS و PAP بر سطوح فعالیت مغزی پرداخته نشده است و تنها می‌توان به پژوهش‌هایی که به اثرهای tRNS بر تحریک‌پذیری مغزی پرداخته‌اند، اشاره کرد. در همین راستا، می‌توان به پژوهش‌های

-
1. Daniella
 2. Bence
 3. Long Term Potentiation
 4. Synaptic Plasticity
 5. Synaptic Facilitation

بنس لاکز و همکاران (۳۲) و لایلا چایب و همکاران (۴۵) اشاره کرد که با نتایج پژوهش حاضر همسو هستند.

گفتنی است مشاهده افزایش معنادار فعالیت مغزی و توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما تنها در کانال Cz در سطح دو نسبت به سطح یک، می‌تواند به دلیل استفاده از پد کربی کوچک آند باشد که می‌تواند به اعمال تحریک متمرکزتر منجر شود (۳۹، ۳۸، ۱۲). از سوی دیگر، افزایش اندک غیرمعنادار فعالیت مغزی دیگر کانال‌ها EEG می‌تواند احتمالاً به دلیل انتشار جریان الکتریکی توسط مایع مغزی نخاعی به دیگر نواحی مغزی باشد که می‌تواند افزایش اندکی را در سطوح فعالیت مغزی این نواحی ایجاد کند (۴۰، ۲۵). همچنین، افزایش معنادار فعالیت مغزی و توان مطلق امواج آلفا، بتا و گاما تنها در کانال Cz در سطح سه نسبت به سطح یک، می‌تواند به دلیل به‌کارگیری انحصاری نوروهای حمایت‌کننده از عضلات هدف در هنگام اجرای آزمون‌ها باشد، اما وجود افزایش اندک غیرمعنادار در فعالیت مغزی دیگر کانال‌ها احتمالاً می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت نقاط مختلف قشر مغز مانند قشر حرکتی، پیش‌حرکتی، مکمل حرکتی و حسی و ایجاد مدارهای ارتباطی با دیگر نقاط قشر مغز مانند نقاط مربوط به تفکر، احساسات و انگیزه بوده باشد (۴۷، ۴۶، ۳۴)؛ زیرا، این‌گونه به نظر می‌رسد که در هنگام اجرای یک نوبت تمرین مقاومتی، این نقاط به دلیل تولید نیروی بیشتر و غلبه بر بار اعمال‌شده، به فعالیت و ارتباط بیشتر با یکدیگر مجبور شده‌اند و این خود باعث افزایش فعالیتی اندک در سطوح فعالیت مغزی در هنگام اجرای آزمون‌ها شده است.

مشاهده‌نشدن تفاوت معنادار در مقادیر فعالیت مغزی و توان مطلق امواج آلفا، بتا و گامای کانال Cz در مقایسه سطح دو با سطح سه، می‌تواند احتمالاً به دلیل یکسان بودن توانایی tRNS در کاهش آستانه تحریک‌پذیری نوروهای حرکتی و اثرهای اجرای یک نوبت تمرین مقاومتی بر رخ دادن تسهیل سیناپسی باشد که متعاقب آن، هر دو به تولید پتانسیل عمل راحت‌تر و بیشتر در این ناحیه از قشر حرکتی در هنگام اجرای آزمون‌ها منجر شده‌اند. در خصوص مشاهده افزایش معنادار فعالیت مغزی و توان مطلق امواج آلفا، بتا و گامای کانال Cz در مقایسه سطح چهار با سطوح دو و سه می‌توان به ترکیب اثرهای افزایش تحریک‌پذیری نوروهای قشر حرکتی در سطح دو با رخ دادن تسهیل سیناپسی در نوروهای ناحیه Cz در سطح سه اشاره کرد. این افزایش تحریک‌پذیری نوروها می‌تواند به فراخوانی هرچه بیشتر نوروها در هنگام اجرای یک نوبت تمرین مقاومتی کمک کند و سطح بیشتری از تسهیل سیناپسی را به‌ارمغان آورد و شاهد هم‌افزایی در سطح چهار نسبت به سطح دو و سه باشیم. افزایش معنادار حداکثر فعالیت عضله در آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی در آزمون نگه‌داشتن پا در سطح دو نسبت به سطح یک، نشان‌دهنده تأثیرپذیری مثبت و کارآمد tRNS است که می‌تواند به کاهش آستانه تحریک‌پذیری (آستانه پتانسیل عمل) و رخ دادن پدیده تشدید تصادفی در نوروهای

واقع در ناحیه Cz منجر شود. این، خود می‌تواند به تولید پتانسیل عمل راحت‌تر و بیشتر در این ناحیه از قشر حرکتی منجر شود و در پی آن، باعث افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی در عضلات هدف در هنگام اجرای آزمون‌ها می‌شود؛ زیرا، اطلاعات نظری به این موضوع اشاره دارند که یکی از نقاط مهم در تعیین مقادیر خروجی حرکتی، مقادیر فعالیت نورون‌های واقع در قشر حرکتی است و چنانچه بتوانیم در افزایش تحریک‌پذیری این نورون‌ها موفق شویم، شاهد افزایش خروجی حرکتی نیز خواهیم بود (۱۹، ۲). متأسفانه، تاکنون در هیچ پژوهشی به بررسی اثرهای tRNS بر سطوح فعالیت عضلانی به صورت عملکردی و میدانی پرداخته نشده است؛ بنابراین، در این خصوص نمی‌توان به گزارش همسوبودن یا نبودن پژوهش حاضر با دیگر پژوهش‌ها پرداخت و تنها می‌توان به پژوهش‌هایی تا حد امکان مشابه از این دست اکتفا کرد. در همین رابطه، می‌توان به پژوهش‌های اینکای^۱ و همکاران (۱۰) و ورا^۲ و همکاران (۱۸) اشاره کرد. به‌طور کلی، این پژوهشگران بیان کردند تحریک فراجمجمه‌ای با نویز تصادفی مؤثرترین روش تحریک الکتریکی مغز از روی جمجمه است که می‌تواند در تمامی نقاط زمانی، تحریک‌پذیری قشر و فراخوانی واحدهای حرکتی را به صورت معنادار افزایش دهد که این نتایج به صورت غیرمستقیم نیز با نتایج پژوهش حاضر در زمینه افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی ناشی از استفاده از tRNS، همسو به نظر می‌رسد. در خصوص وجود افزایش معنادار حداکثر فعالیت عضله در آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی در آزمون نگه‌داشتن پا در سطح سه نسبت به سطح یک، می‌توان به افزایش تحریک‌پذیری مجتمع نورون‌های حرکتی واقع در نخاع (افزایش H-reflex) و متعاقب آن، افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی در عضلات هدف اشاره کرد که در نهایت، به افزایش نیروی تولیدی و به تعویق افتادن خستگی عضلانی منجر می‌شود (۴، ۲). در این میان می‌توان به پژوهش‌های دانیل^۳ (۳)، هامادا^۴ (۴۸) و فاراپ^۵ (۴۹) اشاره کرد که با پژوهش حاضر همسو هستند. در ادامه، به بررسی وجود افزایش معنادار حداکثر فعالیت عضله در آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی در آزمون نگه‌داشتن پا در سطح چهار نسبت به سطح یک، پرداخته می‌شود. این افزایش نشان‌دهنده کارآمد بودن بسیار جالب توجه ترکیب دو روش tRNS و PAP با یکدیگر است که می‌تواند یکی دیگر از فرضیه‌های اصلی پژوهش، یعنی استفاده از tRNS و احتمال موفقیت در افزایش تحریک‌پذیری نورون‌های واقع در ناحیه Cz و متعاقب آن، افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی عضلات هدف در هنگام اجرای یک نوبت تمرین مقاومتی باشد و همچنین، افزایش تحریک‌پذیری مجتمع

-
1. Inukai
 2. Vera
 3. Daniel
 4. Hamada
 5. Farup

نورون‌های حرکتی واقع در نخاع (افزایش H-reflex) را تأیید کند. متأسفانه، تاکنون در هیچ پژوهشی به بررسی اثرهای ترکیب tRNS و PAP بر سطوح فعالیت عضلانی پرداخته نشده است؛ بنابراین، در این خصوص نمی‌توان به گزارش همسوبودن یا نبودن پژوهش حاضر با دیگر پژوهش‌های پیشین پرداخت.

مشاهده‌نشدن تفاوت معنادار در مقادیر حداکثر فعالیت عضله در آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی در آزمون نگاه‌داشتن پا در مقایسه سطح دو با سطح سه، می‌تواند احتمالاً به دلیل یکسان‌بودن سهم نورون‌های حرکتی قشر مغز و مجتمع نورون‌های حرکتی نخاع در تولید خروجی حرکتی باشد که توسط tRNS و PAP فعال شده‌اند و به تولید خروجی حرکتی تقریباً یکسانی در هنگام اجرای آزمون‌ها منجر شده‌اند. درخصوص مشاهده افزایش معنادار مقادیر حداکثر فعالیت عضله در آزمون MVIC و انتگرال الکترومیوگرافی در آزمون نگاه‌داشتن پا در مقایسه سطح چهار با سطوح دو و سه، می‌توان به فعال‌کردن بیشتر و هم‌زمان هر دو محل مرتبط با خروجی حرکتی (نورون‌های حرکتی واقع در قشر مغز و نخاع) اشاره کرد؛ به‌صورتی که ترکیب این دو روش نسبت به اجرای تکی هر کدام از روش‌ها، حاکی از احتمال اثرهای دوچندان و هم‌افزایی ترکیب این دو روش با یکدیگر است.

پیام مقاله: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که به‌کارگیری PAP پس از گرم‌کردن نسبت به گرم‌کردن به‌تنهایی، احتمالاً سبب افزایش اتصال پل‌های عرضی در طول سارکومر، افزایش تحریک‌پذیری مجتمع نورون‌های حرکتی واقع در نخاع و رخ‌دادن تسهیل سیناپسی در نورون‌های قشر حرکتی می‌شود و درنهایت، به افزایش حداکثر فعالیت عضله و زمان نگاه‌داشتن پا در حالت کاملاً باز روی دستگاه بدن‌سازی جلوپا منجر می‌شود. همچنین، استفاده از tRNS قبل از گرم‌کردن نسبت به گرم‌کردن به‌تنهایی، باعث افزایش تحریک‌پذیری نورون‌های قشر حرکتی و فعالیت مغزی و نیز افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی در عضلات هدف می‌شود و درنهایت، به افزایش حداکثر فعالیت عضله و زمان نگاه‌داشتن پا در حالت کاملاً باز روی دستگاه بدن‌سازی جلوپا منجر می‌شود. دراین‌میان، ترکیب PAP و tRNS با یکدیگر، به‌مراتب اثرهای هم‌افزایی در مقایسه با این دو روش به‌تنهایی دارد و نشان‌دهنده فعال‌کردن بیشتر و هم‌زمان هر دو محل مرتبط با خروجی حرکتی (نورون‌های حرکتی واقع در قشر مغز و نخاع) است. همچنین، ترکیب این دو روش باعث دستیابی هرچه‌بیشتر به اثرهای PAP می‌شود و درنهایت، شاهد افزایش چشمگیری در حداکثر فعالیت عضله و زمان نگاه‌داشتن پا در حالت کاملاً باز روی دستگاه بدن‌سازی جلوپا در مقایسه با این دو روش به‌تنهایی هستیم؛ بنابراین، امید است مربیان و ورزشکاران از دستاوردهای این پژوهش در راستای به‌حداکثر رساندن توان عضلانی و به‌تأخیر انداختن خستگی عضلانی و افت عملکرد استفاده کنند.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از رساله دکترای فیزیولوژی ورزشی گرایش عصب و عضله دانشگاه مازندران است. لازم است از همهٔ آزمودنی‌ها و افرادی که در تمامی مراحل پژوهش اعم از جمع‌آوری اطلاعات و برنامه‌نویسی متلب به ما یاری رساندند، تشکر فراوان می‌کنیم.

منابع

1. Bank ST. Postactivation potentiation: Practical implications in the collegiate setting. [Masters's thesis]. [Missoula]: University of Montana; 2016.
2. Ruggiero L. Neural contribution to postactivation potentiation. [Master's thesis]. [Jyväskylä, Finland]: University of Jyväskylä; 2015.
3. Daniel B, Sebastian R, David B, Carl F. Post-activation potentiation (PAP) in endurance sports. *EUR J Sport SCI*. 2018;18(4): 595-610.
4. Xenofondos A, Laparidis K, Kyranoudis A, Galazoulas Ch, Bassa E, Kotzamanidis C. Post-activation potentiation: Factors affecting it and the effect on performance. *J Phy Edu Sport*. 2010;28(3):32-8.
5. José O, Alex C, Carolina B, Alexandre S. Effect of postactivation potentiation on short sprint performance: A systematic review and meta-analysis. *Asian J Sports Med*. 2017;8(4):145-66.
6. Laurent S, Gregory H. Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances :A systematic review with meta-analysis. *Sports Med*. 2015;46(2):231-40.
7. Gardiner PF. Advanced neuromuscular exercise physiology. Illinois: Hum Kin; First Edition: 2011. 113-5.
8. Artur G, Adam M, Adam Z, Kazimierz M, Petr S. Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Hum Kin*. 2016;52:95-106.
9. Latash ML. Neurophysiological basis of movement. *Hum Kin*. 2008; 195-7.
10. Yasuto I, Kei S, Ryoki S, Shota T, Shota Miyaguchi, Sho Kojima, et al. Comparison of three non-invasive transcranial electrical stimulation methods for increasing cortical excitability. *Fro Hum Neurosci*. 2016;10:668-75.
11. Andrea A, Christoph H. Transcranial alternating current and random noise stimulation: Possible mechanisms. *Neu Plas*. 2016;12:30-7.
12. Kerrie H, Janet T, Colleen L. Comparison of the effects of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on motor cortical excitability. *Convulsive The*. 2014;31(1):67-72.
13. Roi K. The stimulated brain: Cognitive enhancement using non-invasive brain stimulation. Massachusetts: Academic Press; First edition: 2014. 38-9.
14. Leila Ch, Andrea A. Walter Paulus. Transcranial random noise stimulation-induced plasticity is NMDA-receptor independent but sodium-channel blocker and benzodiazepines sensitive. *Frontiers Hum Neu*. 2015;9(125):218-25.
15. Leila Ch, Gyula K, Csaba C, Mark G, Walter P, Andrea A. Short-duration transcranial random noise stimulation induces blood oxygenation level dependent response attenuation in the human motor cortex. *Exp Brain Res*. 2009;198:439-44.

16. André B, Michael N, Colleen L. Transcranial direct current stimulation in neuropsychiatric disorders. New York: Springer; 2016. p. 88-9.
17. Anna F, Cornelia P, Carlo M. Random noise stimulation improves neuroplasticity in perceptual learning. *Neu sci*. 2011;31(43):15416-23.
18. Vera M, Georg F, Andrea A. Comparing the Efficacy of Excitatory Transcranial Stimulation Methods Measuring Motor Evoked Potentials. *Neural Pla*. 2014;3:6-19.
19. Ehsan A, Reza Gh, Hamid R, Zahra R, Kamran A, Abozar K. Changes in corticospinal excitability and motoneurons responsiveness during and within a time-course after submaximal fatiguing contractions. *Sci Res Ins (Sport Phy)*. 2016;(39):33-50. (In Persian).
20. Matt B. Strength testing: Predicting a one-rep max from repetitions to fatigue. *J Phy Edu R D*. 1993;64:88-90.
21. Mohamad Sh, Samira Gh, Davood M, Zohre B, Ali K. The short-term effect of static and dynamic stretching exercises on the functional and common ratio of hamstring muscle to quadriceps in athletic women. *Sci Res Ins (Sport Phy)*. 2016;(37):17-34. (In Persian).
22. Juliana T, Mario C, Adriane S, Estélio D. Acute effects of static stretching on muscle strength. *Biomedical Hum Kin*. 2009;1:52-5.
23. Marcelo C, Nilo O, Henrique B, Maurizio B, Paulo B, Felipe F, et al. Improving cycling performance: Transcranial direct current stimulation increases time to exhaustion in cycling. *PLOS ONE*. 2015;10(12):1371-86.
24. Okano A, Fontes B, Montenegro A, Farinatti T, Cyrino S, Li M, et al. Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. *Br J Sports Med*. 2015;49(18):1213-8.
25. Luca A, James H, Samuele M, Alexis M. The effect of transcranial direct current stimulation of the motor cortex on exercise induced pain. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115(11):2311-9.
26. Mohebi H, Norasteh A, Farahani H. Comparison of extensor and knee flexor muscle electromyography activity in two different Squat. *Olympic*. 2009;17(2):8-16. (In Persian).
27. Jafreshad T, Farahpoor N. Comparison of muscle electromyography activity in ancient artificial skill and breast press. *Sports med stu*. 2012;11:57-68. (In Persian).
28. Daniella T, Leila Ch, Vera M, Andrea A, Walter P. Increasing human brain excitability by transcranial high-frequency random noise stimulation. *Neuroscience*. 2008;28(52):14147-55.
29. Batista MA, Roschel H, Barroso R, Ugrinowitsch C, Tricoli V. Influence of strength training background on postactivation potentiation response. *Str Con Res*. 2011;25(9):2496-2502.
30. Ferreira SL, Panissa VL, Miarka B, Franchini E. Postactivation potentiation: Effect of various recovery intervals on bench press power performance. *Str Con Res*. 2012;26(3):739-44.
31. Bapiran M, Rajabi H, Motamedi P. The effect of intensity and specificity of muscle pre-activation on maximum force, leg velocity and vertical jump performance in trained men. *Sport Sci Res Ins (Sport Phy)*. 2016;(33):37-50. (In Persian).

32. Bence O, Andrea A, Holger R, Walter P. Increasing human leg motor cortex excitability by transcranial high frequency random noise stimulation. *Restora Neu*. 2014;32:403-10.
33. Szu L, Chii J, Po W, Yu W. Analysis of electroencephalography alteration during sustained cycling exercise using power spectrum and fractal dimension. Paper presented at: International Automatic Control Conference; Taichung, Taiwan: 2016 Nov 9-11.
34. Hendrik E, Filomeno C, Christian M, Jennifer B, Andrea P, Benno N. Changes in cortical activity measured with EEG during a high-intensity cycling exercise. *J Neu phy*. 2016;115:379-88.
35. Joseph G, Klaus G, Scott M, Daniel F. Removal of movement artifact from high-density EEG recorded during walking and running. *J Neu phy*. 2010;103:3526-34.
36. Pedro R, Felix H, Florian G, Vinzenz T, Matthias L. Methodological aspects of EEG and body dynamics measurements during motion. *Fro Hum Neu*. 2014;24(8):156-72
37. Chakarov V, Naranjo J, Schulte J, Omlor W, Huethe F, Kristeva R. Beta-range EEG-EMG coherence with isometric compensation for increasing modulated low-level forces. *J Neurophysiol*. 2009;102(2):1115-20.
38. Thomas R, Roi K. Transcranial electrical stimulation (tES) mechanisms and its effects on cortical excitability and connectivity. *Inh Met Dis*. 2018;41:1123-30.
39. Berkan G, Pedro S, Dylan E, Felipe F, Marom B. Classification of methods in transcranial electrical stimulation (tES) and evolving strategy from historical approaches to contemporary innovations. *Neu Met*. 2013;219(2):297-311.
40. Angius L, Pageaux B, Hopker J, Marcora M, Mauger R. Transcranial direct current stimulation improves isometric time to exhaustion of the knee extensors. *Neuroscience*. 2016;17(339):363-75.
41. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, et al. SENIAM 9: European recommendations for surface electromyography. *Roe Res Devel*. 1999;15(2): 6-22.
42. Peter K. The ABC of EMG. A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. Noraxon USA. 2005;1:75-9.
43. Tim B, Graham C, Richard M, Klaus R. Long-term potentiation in the hippocampus: Discovery, mechanisms and function. *Neuroforum*. 2018; 24(3):103-20.
44. Cooke SF, Bliss TV. Plasticity in the human central nervous system. *Brain*. 2006;129:1659-73.
45. Leila Ch, Walter P, Andrea A. Evaluating aftereffects of short-duration transcranial random noise stimulation on cortical excitability. *Neu Plas*. 2011;(4):5-17.
46. Gerald H, Adrian P, Gustavo D, Arvind K. Portraits of communication in neuronal networks. *Nat Rev Neu*. 2019; 20:117-27.
47. Dixon ML, Thiruchselvam R, Todd R, Christoff K. Emotion and the prefrontal cortex: An integrative review. *Psychol Bul*. 2017;143(10):1033-81.
48. Hamada T, Sale DG, Macdougall JD. Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(2):403-11.
49. Farup J, Sorensen H. Postactivation potentiation: Upper body force development changes after maximal force intervention. *J str con res*. 2010;24(7):1874-9.

ارجاع‌دهی

رمضانی حسین، فلاح‌محمدی ضیاء، نامداری طجری سمیه، خانبابایی رضا. اثر حاد توانمندسازی پس‌فعالی با تحریک فراجمجه‌ای با نویز تصادفی بر برخی متغیرهای الکتروفیزیولوژیک و عملکردی مردان ورزشکار. فیزیولوژی ورزشی. زمستان ۱۳۹۸؛ ۱۱(۴۴): ۳۱-۵۴. شناسه دیجیتال: 10.22089/spj.2019.7691.1948

Ramezani H, Fallah Mohammadi Z, Namdar Tajari S, Khanbabaie R. The Acute Effect of Post-Activation Potentiation with Transcranial Random Noise Stimulation on Some Electrophysiological and Functional Variables of Athletic Men. Sport Physiology. Winter 2020; 11(44): 31-54. (In Persian). DOI: 10.22089/spj.2019.7691.1948

**The Acute Effect of Post-Activation Potentiation with
Transcranial Random Noise Stimulation on Some
Electrophysiological and Functional Variables of Athletic Men**

**H. Ramezani¹, Z. Fallah Mohammadi², S. Namdar Tajari³, R.
Khanbabaie⁴**

1. Ph.D. Student of Neuromuscular Physiology, Mazandaran University
2. Associate Professor of Exercise Physiology, Mazandaran University (Corresponding Author).
3. Assistant Professor of Sports Biomechanic and Motor Behavior, Mazandaran University
4. Assistant Professor of Neurophysics, Babol Noshirvani University of Technology

Received: 2019/08/02

Accepted: 2019/11/03

Abstract

The present study investigated the effect of combined post-activation potentiation (PAP) and transcranial random noise stimulation (tRNS) on maximal muscle activity in maximum voluntary isometric contraction test (MVIC) and integrated electromyography (IEMG) when knee extension was kept on the leg extension machine. 10 athlete students from wrestling, track and field and volleyball with mean age of 29/1 years performed one of four protocols that included usual warm-up plus sham tRNS (control group), usual warm-up plus tRNS, usual warm-up plus performing a set of right leg extension (80% of 1 repetition maximal) on the leg extension machine and usual warm-up plus tRNS plus a set of right leg extension in four separate sessions which occurred 24 hours after each other. The brain waves activity levels and electromyogram activity of vastus lateralis, rectus femoris and vastus medialis muscles were recorded simultaneously by using electroencephalography and electromyography respectively when the subjects performed were performing the test. The results showed a significant increase in the absolute power of all three brain waves in the Cz channel for every three conditions of the post-test compared to the pre-test during both MVIC ($P=0.001$) and keeping leg extension tests on leg extension machine ($P=0.001$). The amounts of maximum muscle activity for MVIC test and muscle IEMG values during keeping leg extension on the leg extension machine showed a significant increase in every three post-test conditions compared to the pre-test for all muscles ($P=0.001$). The duration of keeping leg extension on the leg extension machine was significantly increased for every three post-test conditions compared to the pre-test ($P=0.001$). It seems applying of tRNS and PAP, and also combined use of them after warm up can increase brain activity, maximum muscle activity, integrated electromyography and the duration of keeping leg extension in both tests comparing to just warm up. Ultimately, combined use of tRNS and PAP has an impressive effect compared to applying them separately.

Keywords: Post-Activation Potentiation, Transcranial Random Noise Stimulation, Electromyography, Electroencephalography, Maximum Voluntary Isometric Contraction and Integrated EMG.

1. Email: Hosseinramezani128@yahoo.com
2. Email: ziafalm@yahoo.com
3. Email: somayehnamdar@yahoo.com
4. Email: reza.khanbabaie@gmail.com