



The response of corticospinal excitability to different intensities of postactivation potentiation in young trained subjects

Hassan Kosari^{1*}, Pejman Motamedi², Hamid Rajabi³, Shahriar Gharibzadeh⁴, Shapour Jaberzadeh⁵

1. PhD in Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor at Exercise Physiology Department, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Professor at Exercise Physiology Department, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University of Tehran, Tehran, Iran.
4. Associate Professor at Institute of Cognitive and Brain Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
5. Professor at School of Medical and Health Sciences, Monash University, Melbourne, Australia.

Abstract

Background and Aim: Changes in corticospinal excitability will cause a change in the neural output and finally the maximum force will be changed. Various training and non-training factors affect this neuromuscular response and it seems that the intensity of the intervention is one of the effective factors in this regard. Based on this, the present study sought to investigate the response of corticospinal excitability to different intensities of postactivation potentiation in young trained subjects. **Materials and Methods:** Eight young men (24.8±2.70 year) performed the research protocol in three separate sessions with preparatory contractions during the handgrip movement with intensities of 20, 50 and 80% root mean square of maximal voluntary contraction. Several times after that, the amount of corticospinal excitability, the electrical activity of the flexor carpi radialis muscle (FCR) and the maximum force in the handgrip were measured with a dynamometer. Then, the results were extracted by using the statistical method of repeated-measures analysis of variance at a significance level of $p < 0.05$. **Results:** The amplitude of motor evoked potential increased after preparatory contraction with intensity of 20%, but it decreased significantly after intensity of 50% and 80%; so that, there was no significant difference between the intensity of 50% and 80%. On the other hand, the amount of voluntary force measured by the maximum voluntary contraction did not show any significant change as well as the electrical activity immediately and after 5 minutes of preparatory contraction. **Conclusion:** None of the changes in corticospinal excitability were associated with changes in muscle strength and electrical activity. Therefore, there is a complex interaction between changes in supraspinal excitability following preparatory contractions and their effect on an individual's ability to improve or maintain force output, and further investigations are needed in this area.

Keywords: Postactivation potentiation, Transcranial magnetic stimulation, Resistance exercise, Surface electromyography, Motor evoked potential.

Cite this article:

Kosari, H., Motamedi, P., Rajabi, H., Gharibzadeh, S., & Jaberzadeh, S. (2024). The response of corticospinal excitability to different intensities of postactivation potentiation in young trained subjects. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*, 12(31), 74-85.

* Corresponding Author, Address: Shahid Keshwari Sport Complex, Faculty of Sport Sciences, Kharazmi University of Tehran; Tehran, Iran;

E-mail: kosarihassan@gmail.com

 <https://doi.org/10.22077/jpsbs.2024.6018.1759>





پاسخ تحریک پذیری مسیر قشری - نخاعی به شدت های مختلف توانمندسازی پس فعالی در افراد جوان تمرین کرده

حسن کوثری^{۱*}، پژمان معتمدی^۲، حمید رجبی^۳، شهریار غریب زاده^۴، شاپور جبرزاده^۵

۱. دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.
۲. استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.
۳. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.
۴. دانشیار پژوهشکده علوم شناختی و مغز، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۵. استاد دانشکده علوم پزشکی و سلامت، دانشگاه موناخ، ملبورن، استرالیا.

چکیده

زمینه و هدف: تغییر در تحریک پذیری قشری - نخاعی، باعث تغییر در برون داد عصبی و در نهایت، تغییر نیروی بیشینه خواهد شد. عوامل مختلف تمرینی و غیر تمرینی بر این پاسخ عصبی - عضلانی تاثیر می گذارند و به نظر می رسد که شدت مداخله، از عوامل موثر در این خصوص باشد. بر این اساس، پژوهش حاضر به دنبال بررسی پاسخ تحریک پذیری مسیر قشری - نخاعی به شدت های مختلف توانمندسازی پس فعالی در افراد جوان تمرین کرده بود. **روش تحقیق:** تعداد هشت فرد جوان تمرین کرده ($24/8 \pm 2/70$ سال) پروتکل تحقیق را در سه جلسه مجزا با انقباضات آماده ساز در حرکت مشت کردن (Handgrip) با شدت های ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد ریشه دوم حداکثر انقباض ارادی، اجرا کردند و در چند نوبت پس از آن، میزان تحریک پذیری قشری - نخاعی، فعالیت الکتریکی عضله زند اعلائی قدامی و نیروی بیشینه در حرکت مشت کردن، با دینامومتر اندازه گیری شد. سپس با استفاده از روش آماری تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر و در سطح معنی داری $p < 0/05$ ، نتایج استخراج گردید. **یافته ها:** میزان دامنه پتانسیل برانگیختگی حرکتی، پس از انقباض آماده ساز با شدت ۲۰ درصد افزایش یافت، اما با شدت انقباض آماده ساز ۵۰ و ۸۰ درصد، نسبت به شدت ۲۰ درصد کاهش پیدا کرد؛ این در حالی بود که بین دو شدت ۵۰ و ۸۰ درصد؛ تفاوت معنی داری وجود نداشت. از طرف دیگر، در میزان نیروی ارادی سنجیده شده به وسیله حداکثر انقباض ارادی و همچنین فعالیت الکتریکی آن بلافاصله و پس از ۵ دقیقه از انقباض آماده ساز؛ تغییر معنی داری مشاهده نشد. **نتیجه گیری:** هیچکدام از تغییرات در میزان تحریک پذیری قشری - نخاعی با تغییرات نیرو و فعالیت الکتریکی عضله همراه نبود. بنابراین، تعامل پیچیده ای بین تغییرات در تحریک پذیری فوق نخاعی به دنبال انقباضات آماده ساز و تأثیر آنها بر توانایی فرد برای بهبود یا حفظ نیروی تولیدی وجود دارد و به بررسی های بیشتر در این زمینه نیاز است.

واژه های کلیدی: توانمندسازی پس فعالی، تحریک مغناطیسی فراجمه ای، فعالیت مقاومتی، الکترومیوگرافی سطحی، پتانسیل برانگیختگی حرکتی.

مقدمه

ورزشکاران همواره به دنبال راهی جهت بهبود عملکرد ورزشی بوده اند و روش های بسیار متعددی در جهت ارتقای عملکرد ورزشی از جمله کمک های ارگونومیک (راهبرد های تغذیه ای و دارویی)، روش های مختلف تمرینی و دخالت های پزشکی را اعمال کرده اند (گوسن و سل^۱، ۲۰۰۰). برای مثال، قبل از مسابقه، ورزشکاران برای افزایش کارایی عضلانی و عصبی، گرم کردن را انجام می دهند. در این راستا، برخی از دوییدن های مداوم و حرکات کششی و برخی دیگر، از دوییدن های تکراری یا حتی ماساژ و یا فعالیت های مقاومتی، استفاده می کنند. این موضوع سبب رشد چشمگیر پژوهش هایی شده است که تلاش می کنند راهبردهایی را برای افزایش توان و بهبود موقت (در زمان گرم کردن و قبل از مسابقه) در برون ده توان عضلانی و همچنین، کاهش خستگی عضلانی، شناسایی نمایند. پژوهش های زیادی نشان داده اند که اجرای انقباض های ارادی بیشینه و زیر بیشینه، باعث بهبود موقت توان عضلانی و عملکرد در انقباضات بعدی می شوند که به آن توانمندسازی پس فعالی^۲ (PAP) می گویند. حالت PAP به عنوان یک پدیده تسهیل کننده عصبی-عضلانی (توانمند سازی) بعد از اجرای فعالیت با شدت بالا، تعریف شده است (گوسن و سل، ۲۰۰۰). به نظر می رسد که توانمندسازی، به یک تحریک یا شدت تمرینی مناسب و یک فاصله استراحتی کافی، برای اطمینان از این که خستگی سبب اختلال در عملکرد نمی شود؛ وابسته است. در طی PAP، واحدهای حرکتی فعال شده برای مدتی پس از اجرای انقباض های بیشینه یا نزدیک بیشینه، تسهیل کننده باقی می ماند. در این زمان، عوامل قدرت، توان و استقامت عضلانی می توانند افزایش یابند (مک براید^۳ و دیگران، ۲۰۰۵). بنابراین، PAP به شرط کم بودن اندازه خستگی حاصل از آن، سبب بهبود حاد در عملکرد و قدرت عضلانی می شود (عبدالملکی و دیگران، ۲۰۱۳؛ باپیران^۴ و دیگران، ۲۰۱۷).

مکانیسم های مختلفی برای توجیه افزایش نیرو و توان در

پدیده توانمندسازی بیان شده است و مهم ترین آن ها از دیدگاه عضلانی، فسفوریلاسیون زنجیره سبک میوزین (MLC) و افزایش حساسیت به کلسیم می باشد (کاسترو^۵ و دیگران، ۲۰۲۰). از دیدگاه عصبی نیز به نظر می رسد که فراخوانی واحد های حرکتی از طریق افزایش قدرت سیناپسی و به کارگیری نورون های با فراخوانی بالاتر، افزایش می یابد (میدینگر^۶، ۲۰۱۷). بنابراین، افزایش تحریک پذیری سیستم عصبی نیز از مکانیسم های توانمندسازی پس فعالی است (ابودردا^۷ و دیگران، ۲۰۱۵؛ تالیس^۸ و دیگران، ۲۰۱۴). افزایش فعالیت عضلانی بعد از چند انقباض نسبتاً شدید، بیان کننده افزایش برون ده عصبی از مراکز عصبی است و این می تواند توسط الکترومیوگرافی^۹ (EMG) یا تحریک مغناطیسی فراجمعه ای^{۱۰} (TMS) بررسی شود (باسره و رجبی، ۲۰۲۲). به همین منظور، طی ۳۰ سال گذشته از دستگاه TMS^{۱۱} جهت بررسی تغییرات رخ داده در سیستم عصبی به دنبال انواع مداخله های تمرینی، استفاده شده است (امیری و دیگران، ۲۰۱۸؛ باسره و رجبی، ۲۰۲۲؛ کاوه ای و دیگران، ۲۰۱۹).

تکنیک TMS یک روش غیرتهاجمی است که سطوح تحریک پذیری قشری و نخاعی را تعیین می کند (باسره و دیگران، ۲۰۲۲) و میزان فعال شدن مسیرهای قشری - نخاعی توسط یک میدان مغناطیسی اعمال شده بر ناحیه قشر حرکتی اولیه^{۱۲} که به ناحیه M1 نیز مشهور است، را نشان می دهد. TMS یک تغییر پالس جریان سریع در سیم پیچ است که بر روی قشر حرکتی قرار دارد و منجر به شروع یک میدان مغناطیسی می شود. میزان میدان مغناطیسی پدیدار شده، باعث ایجاد جریان الکتریکی از طریق پوست سر و دپولاریزاسیون غشای نورون های قشری می شود. در حقیقت، TMS سبب ارسال ولتاژهای پایین رونده ای (پتانسیل عمل) می شود که از مسیر قشری نخاعی ارسال می گردند و سبب پاسخ عضلانی می شوند که به پتاسیل برانگیختگی حرکتی^{۱۳} (MEP) معروف است (کیدجل^{۱۴} و دیگران، ۲۰۱۷؛ سیدیکو^{۱۵} و دیگران، ۲۰۱۹).

مطالعات انجام شده در حیطه TMS و PAP، نشان دهنده

1. Gossen & Sale

2. Post activation potentiation

3. McBride

4. Bapiran

5. Castro

6. Meidinger

7. Aboodarda

8. Talis

9. Electromyography

10. Transcranial magnetic stimulation

11. Transcranial magnetic stimulation

12. The primary motor cortex

13. Motor evoked potential

14. Kidgell

15. Siddique

شده‌اند (بالبی^۹ و دیگران، ۲۰۰۲؛ استووارت^{۱۰} و دیگران، ۲۰۰۲؛ تالیس و دیگران، ۲۰۱۴)، همچنین عضله زند اعلائی قدامی^{۱۱} (FCR) از عضلات ناحیه دست، به دلیل سهولت در روش شناختی کار با دستگاه EMG و TMS، مورد استفاده قرار گرفته است (استووارت و دیگران، ۲۰۰۲). از آنجا که در مطالعات پیشین، اثر شدت‌های مختلف انقباض آماده‌ساز بر تحریک پذیری مسیر قشری - نخاعی عضله زند اعلائی قدامی، کمتر ارزیابی شده است (بالبی و دیگران، ۲۰۰۲؛ استووارت و دیگران، ۲۰۰۲؛ تالیس و دیگران، ۲۰۱۴)، و از آنجا که PAP تحت تاثیر شدت انقباض آماده‌ساز قرار می‌گیرد (باپیران و دیگران، ۲۰۱۷)؛ پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات شدت‌های توانمندسازی پس‌فعالی بر تحریک پذیری مسیر قشری - نخاعی و شاخص عملکردی آن در افراد سالم ورزشکار به اجرا درآمد.

روش تحقیق

جامعه آماری و نمونه تحقیق: جامعه آماری این تحقیق، افراد سالم ورزشکار و فعال دانشگاه خوارزمی تهران، در دامنه سنی بین ۲۰ تا ۲۷ سال بودند که به صورت داوطلبانه در تحقیق شرکت کردند. بعد از فراخوان و دعوت به همکاری؛ بر اساس توان آماری ۰/۷۰، خطای نوع اول ۰/۰۵ و اندازه اثر ۰/۵۰ گزارش شده (بر اساس میانگین و انحراف استاندارد متغیر MEP بلافاصله بعد از فعالیت در گروه کنترل و مداخله مربوط به مطالعه ابودردا و دیگران، ۲۰۱۵)؛ با نرم افزار G*Power 3.1، تعداد نمونه برای هر گروه، هفت نفر برآورد شد. با این حال، با در نظر گرفتن احتمال ریزش، تعداد هشت شرکت کننده انتخاب شدند که به صورت متقاطع در زمان‌های مختلف در آزمون‌ها شرکت کردند (جدول یک). معیارهای ورود به تحقیق شامل افراد ورزشکار و فعال دانشگاهی در دامنه سنی ۲۰ تا ۲۷ سال بودند که سابقه آشنایی با تمرین مقاومتی (به مدت حداقل ۶ ماه) و گواهی صحت سلامتی از طرف پزشک داشتند. از طرف دیگر، معیارهای خروج از تحقیق شامل داشتن سابقه بیماری عصبی - عضلانی، شکستگی در ناحیه دست و مصرف داروی موثر بر سیستم عصبی در زمان اجرای تحقیق بود. همچنین از آزمودنی

آن است که افزایش برون ده عصبی همیشه با افزایش عملکرد همراه نیست و یا افزایش عملکرد، همیشه افزایش برون ده عصبی را نشان نمی‌دهد. به‌طور مثال، توماس^۱ و دیگران (۲۰۱۵) افزایش در عملکرد پرش عمودی با پرش پیش حرکت^۲ (CMJ) را بعد از سه نوبت سه تکراری حرکت اسکات، مشاهده کردند. این درحالی بود که برون ده عصبی پتانسیل برانگیختگی حرکتی (MEP) هیچ تغییری نداشت. از طرفی، نتایج تحقیق اسمیت^۳ و دیگران (۲۰۲۰) بیانگر آن بود که با وجود افزایش عوامل مهاری بعد از فعالیت آماده‌ساز، نیروی ارادی افزایش می‌یابد. PAP می‌تواند تحت تاثیر ترکیبی از عوامل قرار گیرد (تیلین و بیشاپ^۴، ۲۰۰۹)؛ عواملی که عمدتاً نوع انقباض‌های آماده‌ساز (میاموتو^۵ و دیگران، ۲۰۱۱)، شدت (فوکوتانی^۶ و دیگران، ۲۰۱۴)؛ میاموتو و دیگران، ۲۰۱۱)، و توزیع نوع تارهای عضلات درگیر در انقباض آماده‌ساز و آستانه خستگی پذیری عضله را شامل می‌شود (همدا^۷ و دیگران، ۲۰۰۰). در همین راستا، گزارش شده است که میزان توانمندسازی انقباض با شدت انقباض آماده‌ساز مرتبط است. در نگاه اول، هرچه شدت انقباض آماده‌ساز بالاتر باشد. توانمندسازی عضله بیشتر می‌شود (ساساکی^۸ و دیگران، ۲۰۱۲). با این حال، شواهد اخیر از این فرضیه حمایت می‌کند که آستانه شدت انقباض آماده‌ساز منتج شده به حداکثر PAP؛ در بین عضلات مختلف و با توجه به ترکیب تارهای عضلانی و نقش عضله، متفاوت است (فوکوتانی و دیگران، ۲۰۱۴). در واقع، مقدار PAP پس از یک شدت انقباض آماده‌ساز نزدیک به فراخوانی کامل واحدهای حرکتی در یک عضله، اشباع می‌شود (فوکوتانی و دیگران، ۲۰۱۴). این نتایج دال بر آن است که می‌بایست حوضچه نورون حرکتی کل عضله برای نمایش بالاترین قدرت انقباض؛ فراخوانی شود. بنابراین، برای برخی از عضلات، شدت‌های انقباضی زیر بیشینه که فعال‌سازی کامل نورون‌های حرکتی را ممکن می‌کند، برای برانگیختن حداکثر PAP کافی است (فوکوتانی و دیگران، ۲۰۱۴).

عضلات ناحیه دست به دلیل تحریک پذیری بالاتر نسبت به سایر عضلات، در مطالعات گذشته بررسی

1. Thomas

2. Counter movement jump

3. Smith

4. Tillin & Bishop

5. Miyamoto

6. Fukutani

7. Hamada

8. Sasaki

9. Balbi

10. Stuart

11. Flexor carpi radialis

شرح داده شد و فرم رضایت نامه از آن ها اخذ گردید. در ضمن، این کار تحقیقاتی با شناسه اخلاق IR.SSRI. REC.1401.1771 در پژوهشگاه تربیت بدنی ثبت شد.

ها خواسته شد در طول مدت تحقیق، در فعالیت های دیگر شرکت نکنند. قبل از شروع پروتکل تحقیق، کلیاتی از تمام مراحل اجرای پروتکل تمرینی برای شرکت کنندگان

جدول ۱. توصیف (میانگین \pm انحراف استاندارد) ویژگی های فردی شرکت کنندگان در مطالعه

سن (سال)	قد (سانتی متر)	وزن (کیلوگرم)	شاخص توده بدنی (کیلوگرم/متر مربع)
24/60 \pm 1/50	175/60 \pm 5/50	72/40 \pm 8/52	23/60 \pm 2/90

این انقباضات، محاسبه شد (کیسر^۳ و دیگران، ۲۰۱۹). برای قرارگیری الکترودهای سطحی بر روی عضلات مورد نظر، ابتدا موهای زائد ناحیه قرار گیری الکترودها تراشیده شد و سپس، این نواحی با الکل تمیز گردید. محل قرار گیری الکترودها در ناحیه میانی عضله FCR و الکترودهای خنثی نیز روی زوائد استخوانی طبق دستورالعمل سنیوم^۴ متصل شد (باسره و دیگران، ۲۰۲۲). با حصول اطمینان از این که الکترودها بر روی شکم عضله قرار دارد، الکترودها موازی با جهت تارهای عضلانی و به فاصله دو سانتی متر (مرکز تا مرکز) از هم، بر روی برآمدگی مرکز عضله قرار داده شد. داده های SEMG با استفاده از دستگاه مدل ME6000 ساخت کشور آلمان در سطح ۱۰۰۰ هرتز و با فیلتر ۱۰ تا ۵۰۰ هرتز در سه زمان قبل، بلافاصله بعد و پنج دقیقه بعد از فعالیت آماده ساز؛ ثبت گردید.

اجرای TMS: برای این تحقیق از دستگاه TMS مگستیم رپید^۵ ساخت کشور انگلیس، دارای سیم پیچ به شکل هشت لاتین استفاده شد. با توجه به این که عضله مورد هدف در این تحقیق، عضله FCR (سمت راست) بود، محل قرار گیری سیم پیچ در سمت چپ قشر حرکتی (M1) قرار گرفت. برای آن که تحریک در تمامی مرتبه ها به میزان یکسانی انجام پذیرد، ابتدا محل تحریک با جستجو و یافتن منطقه ای که بیشترین پاسخ در آنجا ایجاد می شود، تعیین گردید. برای این کار با ۷۰ درصد توان دستگاه TMS، تحریک بر روی ناحیه مورد نظر ایجاد شد؛ سپس مکان سیم پیچ تغییر داده شد، تا مکانی که بیشترین MEP را داشته باشد، مشخص شود. در تمام طول ارزیابی ها، از این ناحیه برای تحریک هر آزمودنی استفاده شد (کیسر و دیگران، ۲۰۱۹).

استفاده از EMG برای بازخورد در طی فعالیت

پروتکل تحقیق: پروتکل این تحقیق شامل فعالیت مقاومتی در حرکت مشتمل کردن با شدت های ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد میانگین ریشه دوم^۱ (RMS) فعالیت الکتریکی عضله در آزمون MVC بود. هر جلسه فعالیت مقاومتی شامل گرم کردن عمومی و گرم کردن اختصاصی کمر بند شانه ای بود و پس از آن، فعالیت اصلی مشتمل بر پنج انقباض دو ثانیه ای با دو ثانیه استراحت بین هر انقباض؛ اجرا شد (ماسون^۲ و دیگران، ۲۰۱۹). همچنین، ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد RMS بیشینه آزمون MVC، به عنوان ملاک تعیین شدت فعالیت مقاومتی در نظر گرفته شد. نحوه ترتیب اجرای جلسات با هر یک از شدت های ذکر شده به صورت کنترل موازنه با فاصله زمانی یک روزه بود؛ بدین صورت که هر یک از آزمودنی ها در سه جلسه مجزا به صورت کنترل موازنه، شدت های مختلف را اجرا نمودند.

فعالیت EMG در خلال آزمون MVC: برای یافتن MVC، دو انقباض پنج ثانیه ای در حرکت مشتمل کردن با استراحت دو دقیقه ای از آزمودنی ها گرفته شد و بهترین رکورد به عنوان MVC ثبت شد. در صورت اختلاف بیش از ۵ درصد، آزمون سوم گرفته شد. در صورت لزوم و در حین اجرای MVC، از تشویق کلامی هم استفاده گردید (ابودردا و دیگران، ۲۰۱۵). داده های EMG برای هر آزمودنی در خلال آزمون MVC برای عضله FCR، اندازه گیری شد. برای MVC عضله FCR، از آزمودنی ها خواسته شد که در حالت نشسته بر روی نیمکت و با زاویه ۹۰ درجه آرنج، مشتمل کردن دست خود را با کمک ابزار دینامومتر با حداکثر توان انجام دهند. برای عضله FCR هر آزمودنی، سه انقباض پنج ثانیه ای با دو دقیقه استراحت بین هر انقباض در نظر گرفته شد و با کمک دینامومتر، حداکثر قدرت بیشینه ثبت شد. RMS در بازه زمانی سه ثانیه ای

1. Root mean square
2. Mason

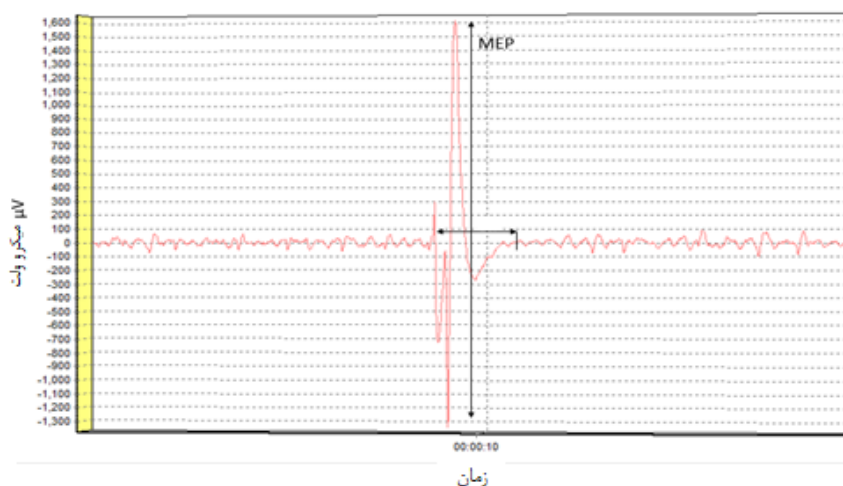
3. Kesar
4. Senioum

5. Magstim Rapid 2

آوری داده با دستگاه EMG آغاز شد (ماسون و دیگران، ۲۰۱۹). متغیرهای تحقیق در حالت استراحتی اندازه‌گیری شدند. در حالت استراحتی عضله، نقطه قرار گیری سیم پیچ TMS بر روی ناحیه ای است که عضله FCR را تحریک می‌کند. متغیرهای تحقیق از طریق TMS و دستگاه EMG، ۳۰ ثانیه بعد از اتمام پروتکل تحقیق و هر پنج ثانیه یک بار، اندازه‌گیری شدند؛ بدین صورت که با ۷۰ درصد برون ده توان دستگاه بر روی ناحیه مورد نظر، تحریک اعمال شد و پاسخ MEP در سطح عضله FCR به مدت ۳۰ ثانیه و هر پنج ثانیه یک بار، به صورت اوج به اوج اندازه‌گیری گردید (استوارت و دیگران، ۲۰۰۲) (شکل یک).

مقاومتی: برای این کار داده‌های خام دستگاه EMG در مانیتور نمایش داده شد و میزان RMS آزمودنی با استفاده از نرم افزار به صورت آنلاین برای عضله FCR محاسبه و ثبت گردید. این بازخورد به آزمودنی‌ها کمک می‌کرد تا بتوانند با شدت تعیین شده فعالیت مقاومتی را اجرا نمایند (کیسر و دیگران، ۲۰۱۹).

جمع آوری داده‌ها با TMS و EMG: برای اعمال تحریکات TMS، آزمودنی بر روی صندلی قرار گرفت، به گونه‌ای که زانو در زاویه ۹۰ درجه قرار گیرد. برای کاهش تاثیر وزن پا، هر دو پا بر روی یک فوم قرار گرفت (کیسر و دیگران، ۲۰۱۹). ۱۰۰ میلی ثانیه قبل از اعمال تحریک TMS، جمع



شکل ۱. نمودار اوج به اوج MEP در عضله FCR

واریانس با اندازه‌گیری مکرر بر روی داده‌های زمان پایه MEP نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سه شدت PAP وجود ندارد ($p=0/23$). با این حال، نتایج این آزمون نشان داد که تعامل معنی‌داری بین شدت PAP و زمان‌های مختلف اندازه‌گیری در میانگین MEP در ۳۰ ثانیه بعد از فعالیت وجود دارد ($F_{(12,126)}=1/95$, $p=0/03$). در ادامه، نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که میزان تحریک پذیری با شدت ۲۰ درصد، افزایش هفت درصدی نسبت به شدت ۸۰ درصد ($p<0/001$) و افزایش ۲۵ درصدی نسبت به شدت ۵۰ درصد دارد ($p<0/04$)؛ این در حالی بود که بین شدت ۵۰ و ۸۰ درصد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p=0/43$). همچنین نتایج از نظر زمانی (Time) تفاوت معنی‌داری را

روش تجزیه و تحلیل آماری: توزیع طبیعی داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک^۱ بررسی شد. برای بررسی تحریک پذیری قشری - نخاعی از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر^۲ (3×7) و برای سایر متغیرهای تحقیق، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (3×3) بهره برداری گردید. آزمون تعقیبی بونفرونی^۳ هم، برای مقایسه جفت زوجی‌ها استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ و نرم افزار Excel ۲۰۱۶ انجام گرفت و سطح معنی‌داری $p<0/05$ در نظر گرفته شد.

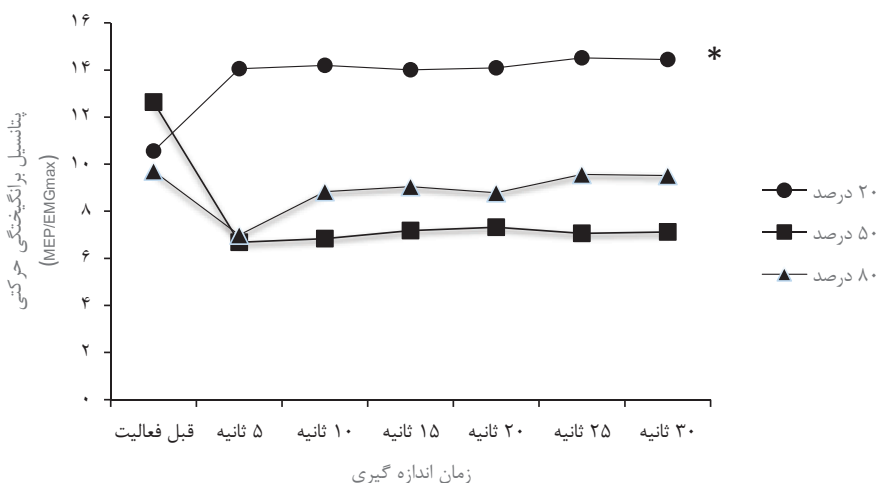
یافته‌ها

تحریک پذیری قشری - نخاعی: آزمون تحلیل

1. Shapiro-Wilk

2. Repeated-Measures Analysis of Variance

3. Bonferroni



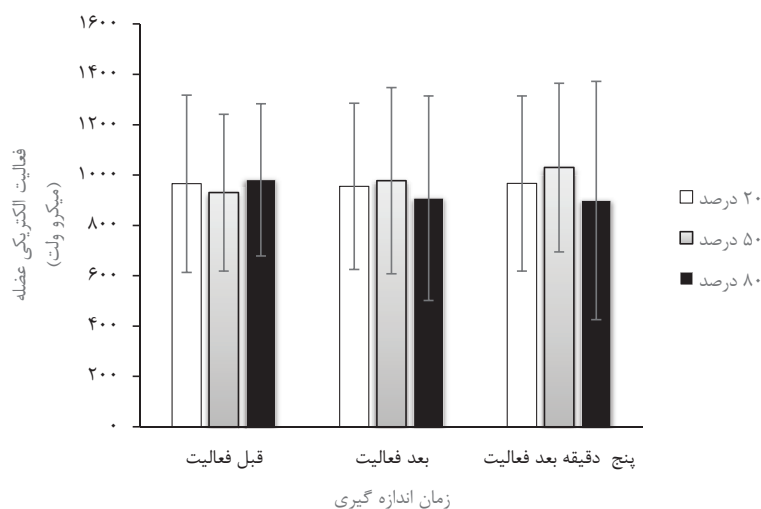
شکل ۲. مقایسه پتانسیل برانگیختگی حرکتی در شدت ها و زمان های مختلف اندازه گیری. * نشانه تفاوت معنی داری با سایر شدها؛ سطح معنی داری $p \leq 0.05$.

در MEP نشان ندادند ($F_{(1/27,26/78)} = 0.41, p = 0.57$) (شکل دو). مختلف اندازه گیری RMS، وجود ندارد ($F_{(4,28)} = 0.57, p = 0.68$) و فعالیت الکتریکی عضله: نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر نشان داد که RMS آزمودنی ها در پیش آزمون و در سه شدت مختلف، تفاوت معنی داری ندارند و تعامل معنی داری بین شدت PAP و زمان های

مختلف اندازه گیری RMS، وجود ندارد ($F_{(4,28)} = 0.57, p = 0.68$) و همچنین اثر اصلی زمان ($F_{(2,14)} = 0.24, p = 0.78$) و جلسات ($F_{(2,14)} = 0.94, p = 0.06$) تفاوت معنی داری نداشتند (شکل سه). جدول دو، درصد تغییرات فعالیت الکتریکی را نشان می دهد.

جدول ۲. درصد تغییرات فعالیت الکتریکی و MVC

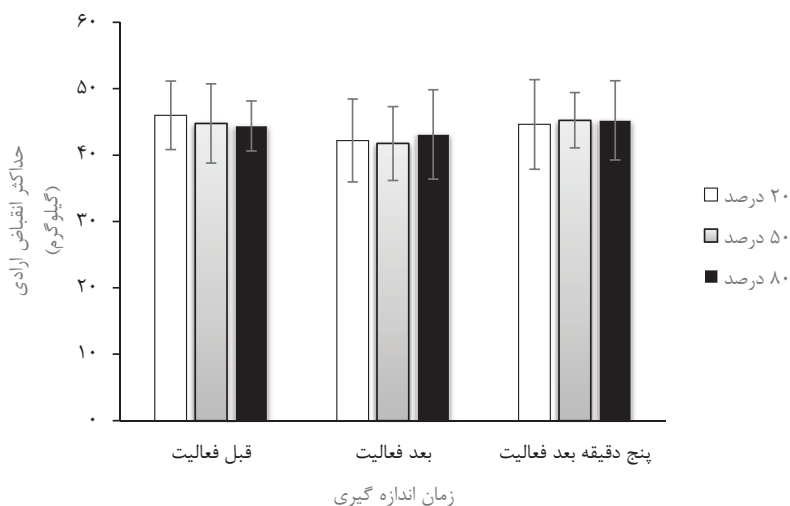
پنج دقیقه بعد از فعالیت			بعد از فعالیت			شدت فعالیت
در ۸۰ در مقابل ۵۰	در ۲۰ در مقابل ۸۰	در ۲۰ در مقابل ۵۰	در ۸۰ در مقابل ۵۰	در ۲۰ در مقابل ۸۰	در ۲۰ در مقابل ۵۰	
-۱۲	-۷	۶/۵	-۱۱	-۴	۲/۵	فعالیت الکتریکی (RMS) (میکرو ولت)
-۰/۳	۱/۵	۱/۵	۳/۵	۲	-۱	حداکثر انقباض ارادی (کیلوگرم)



شکل ۳. مقایسه فعالیت الکتریکی عضله در شدت ها و زمان های مختلف اندازه گیری.

اندازه‌گیری MVC وجود ندارد ($F_{(۴,۳۸)}=۰/۴۵$, $p=۰/۷۶$). نتایج اثرات اصلی زمان ($F_{(۳,۱۴)}=۰/۱۰$, $p=۰/۹۰$) و جلسات ($F_{(۳,۱۴)}=۴/۰۶$, $p=۰/۰۶$) نیز تفاوت معنی داری نداشتند (شکل چهار). جدول دو، درصد تغییرات MVC را نشان می‌دهد.

حداکثر انقباض ارادی: نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر بر روی داده‌های زمان پیش آزمون MVC، نشان داد که تفاوت معنی داری بین سه شدت ($p=۰/۰۸$) و تعامل معنی داری بین شدت PAP و زمان‌های مختلف



شکل ۴. مقایسه حداکثر انقباض ارادی در شدت‌ها و زمان‌های مختلف اندازه‌گیری.

بحث

آماده‌ساز، افزایش می‌باید (ابودردا و دیگران، ۲۰۱۵؛ بالبی و دیگران، ۲۰۰۲؛ کولینز^۲ و دیگران، ۲۰۱۷؛ تالیس^۳ و دیگران، ۲۰۱۴). به‌طور مثال، تالیس و دیگران (۲۰۱۴) در تحقیق خود نشان دادند که میزان MEP با افزایش شدت فعالیت آماده‌ساز از ۲۰ به ۴۰ درصد، افزایش می‌یابد. همچنین، ابودردا و دیگران (۲۰۱۵) گزارش کرده‌اند که میزان MEP بعد از پنج انقباض دو ثانیه‌ای با شدت ۵۰ درصد MVC، افزایش پیدا می‌کند. از طرفی، تحقیقات دیگری نیز وجود دارند که بر آن که میزان دامنه MEP بعد از پنج انقباض دو ثانیه‌ای با شدت ۵۰ درصد MVC، تغییری نمی‌کند (توماس^۴ و دیگران، ۲۰۱۷). دلایل مختلفی برای این ناهم‌سویی در نتایج وجود دارد، که احتمالاً بیشتر آن‌ها به روش‌شناسی کار با دستگاه TMS، همچنین نوع انقباض آماده‌ساز و سطح مهارت آزمودنی‌ها؛ مربوط می‌شود. کولینز و دیگران (۲۰۱۷) در تحقیق خود نشان دادند، زمانی که دامنه MEP بعد از انقباض آماده‌ساز و در شرایط استراحتی عضله گرفته شود، افزایش می‌یابد؛ در حالی که میزان MEP در شرایط فعالیت پنج درصد MVC، تغییری نمی‌کند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد

فرض ما بر آن بود که سنجش پاسخ‌های سیستم عصبی مرکزی با استفاده از ابزاری همچون TMS می‌تواند تا حدودی افزایش نیروی انقباضی پس از فعالیت آماده‌ساز را توضیح دهد. در تحقیق حاضر مشخص شد که شدت‌های مختلف PAP سبب تغییری معنی داری در میزان MEP می‌شود و تحلیل داده‌ها نشان داد که میزان MEP در شدت ۲۰ درصد MVC، روندی افزایشی دارد؛ این در حالی بود که با افزایش شدت از ۲۰ به ۵۰ یا ۸۰ درصد، میزان MEP کاهش یافت. از طرف دیگر، شدت‌های مختلف، تغییری در متغیرهای MVC و RMS MVC ایجاد نکردند.

از دامنه MEP در شرایطی که بر اساس EMGmax هر آزمودنی، طبیعی (نرمال) شده باشد، می‌توان برای تفسیر نقش سیستم عصبی در پدیده PAP استفاده کرد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقاتی که نشان دادند میزان MEP بعد از فعالیت آماده‌ساز و با افزایش شدت فعالیت، کاهش می‌یابد؛ همسو است (استووارت و دیگران، ۲۰۰۲)؛ نتو^۱ و دیگران، ۱۹۹۳). با وجود این، تحقیقات دیگری نیز وجود دارند که نشان می‌دهند میزان MEP بعد از فعالیت

ایزومتریک به عنوان یک انقباض آماده ساز، سبب فعال شدن گیرنده‌های مکانیکی به جای گیرنده‌های متابولیکی و افزایش عوامل مهاری می شود (کنیفکی^۱ و دیگران، ۱۹۷۸) و در مطالعه حاضر نیز، از این نوع انقباض استفاده شد. با این حال، لازم است در مطالعات آینده، سهم عوامل مهاری در کاهش MEP بعد از فعالیت آماده ساز بررسی شود تا درک درستی از این عوامل بدست آید.

در مطالعه حاضر نشان داده شد که میزان MVC و RMS آن در شدت‌های مختلف، تغییری نمی‌کند و این با نتایج اسمیت و دیگران (۲۰۲۰) مبنی بر آن که نیروی ارادی بعد از انقباض آماده ساز، افزایش می‌یابد؛ همخوانی ندارد. در مطالعه (اسمیت و دیگران، ۲۰۲۰)، میزان برون‌ده عصبی با وجود افزایش عوامل مهاری سیستم عصبی، تغییری نداشته است. در تحقیق حاضر نیز میزان فعالیت الکتریکی عضلانی بعد از افزایش شدت فعالیت الکتریکی از ۵۰ به ۸۰، کاهش غیر معنی داری داشت (به ترتیب ۴- و ۱۱- درصد) که می‌تواند نشان دهنده کاهش تحریک پذیری موتونورون‌های حرکتی باشد. از آنجا که کلین^۲ و دیگران (۲۰۰۱) در تحقیق خود نشان داده اند که نرخ شلیک واحدهای حرکتی بلافاصله بعد از انقباض آماده ساز، کاهش پیدا می‌کند؛ می‌توان گفت که توانمندسازی، فقط محدود به عوامل عضلانی نیست و عوامل عصبی نیز می‌توانند در آن دخیل باشند. از طرفی، میزان MVC بلافاصله بعد از فعالیت در شدت ۸۰ درصد، افزایش غیر معنی دار داشت که احتمالاً ناشی از بازسازی ظرفیت تولید نیروی عضله می‌باشد؛ چرا که اندازه‌گیری MVC، ۳۰ ثانیه بعد از آخرین انقباض آماده ساز صورت گرفته است. در کل می‌توان گفت که احتمالاً عضله، توانمندسازی را فقط در سطح بافتی تجربه کرده است و افزایش مشاهده شده در قدرت یا عملکرد عضلانی، بدون افزایش در برون‌ده عصبی، رخ داده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد که تحریک پذیری فوق نخاعی پس از فعالیت آماده ساز کم شدت، بهبود می‌یابد؛ اما با افزایش شدت فعالیت در انقباضات ایزومتریک، دچار کاهش می‌شود. این یافته‌ها دال بر آن است که تعامل پیچیده بین تغییرات

که اندازه‌گیری دامنه MEP در یک بازه زمانی ۳۰ ثانیه‌ای بعد از فعالیت آماده ساز و با افزایش شدت انقباض، به طور غیر معنی داری کاهش می‌یابد. این نتایج با نتایج ابودردا و دیگران (۲۰۱۵) مبنی بر این که میزان دامنه MEP بعد از فعالیت آماده ساز، افزایش پیدا می‌کند؛ ناهمسو است. شاید تفاوت اصلی در زمان اندازه‌گیری MEP باشد، چرا که ابودردا و دیگران (۲۰۱۵) دو ثانیه بعد از انقباض آماده ساز، MEP را اندازه‌گیری کرده‌اند، اما در تحقیق حاضر، هر پنج ثانیه یک بار، MEP اندازه‌گیری شده است. به اعتقاد محققین، نوع انقباض آماده ساز بر تحریک پذیری عصبی اثر گذار است (جنسن^۳ و دیگران، ۲۰۰۵). در تحقیقات مختلف نشان داده شده است که بعد از ۱۵۰ تا ۳۰۰ انقباض بالستیک^۴، میزان دامنه MEP افزایش می‌یابد (کارول^۵ و دیگران، ۲۰۰۸)؛ در حالی که در تحقیقاتی که از انقباض ایزومتریک استفاده شده، میزان دامنه MEP با کاهش همراه بوده است (نتو و دیگران، ۱۹۹۳). نتو و دیگران (۱۹۹۳) در تحقیق خود نشان دادند که هرگاه وزنه‌ای به مدت ۳۰ ثانیه نگه داشته شود، میزان دامنه MEP افت می‌کند. این تغییر، با افزایش شدت انقباض آماده ساز، در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد و این فرض را تایید می‌کند که میزان تخلیه نوروترانسمیتری بعد از این نوع انقباض‌ها، به شدت افزایش می‌یابد (انوکا^۶ و دیگران، ۱۹۸۰؛ تریمبل و هارپ^۷، ۱۹۹۸)؛ چرا که میزان دامنه MEP در شدت‌های پایین، با افزایش همراه بوده است. به علاوه، از آنجا که سطح مهارت آزمودنی‌ها همسان نبود، این احتمال وجود دارد که سطح مهارت افراد بر میزان دامنه MEP اثر گذاشته باشد (جنسن و دیگران، ۲۰۰۵)؛ و شاید به همین دلیل، دامنه انحراف استاندارد قابل توجهی در میزان MEP (در مطالعه حاضر) دیده شد. از طرفی، کاهش MEP با افزایش شدت فعالیت آماده‌ساز می‌تواند دال بر آن باشد که پروتکل به کار برده شده در تحقیق حاضر، سبب برتری نسبی خستگی نسبت به توانمند سازی شده است. از آنجا که میزان عوامل مهاری بلافاصله بعد از فعالیت آماده ساز افزایش می‌یابد (اسمیت و دیگران، ۲۰۲۰)؛ این کاهش با افزایش درگیری می‌تواند با عوامل مهاری در سطح نخاعی و فوق نخاعی توضیح داده شود. به علاوه، انقباض

1. Jensen

2. Ballistic contractions

3. Carroll

4. Enoka

5. Trimble & Harp

6. Kniffki

7. Klein

در تحریک پذیری فوق نخاعی و نخاعی به دنبال انقباضات آماده ساز، و تأثیر آن ها بر توانایی فرد برای بهبود یا حفظ تولید نیرو؛ به خوبی قابل تبیین نیست و نیاز به بررسی بیشتر دارد.

هیچ گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

از تمامی شرکت کنندگان و همکاران جهت همکاری صمیمانه در مراحل مختلف پژوهش، تشکر و قدردانی می گردد.

تعارض منافع

منابع

- Abdolmalekia, A., Motamedian, P., Anbarianm, M., & Rajabi, H. (2013). The effect of type and intensity of voluntary contractions on some of vertical jump's electrophysiological variables in track and field athletes. *Olympic Quarterly*, 20(4), 7. [In Persian]
- Aboodarda, S.J., Copithorne, D.B., Pearcey, G.E., Button, D.C., & Power, K.E. (2015). Changes in supraspinal and spinal excitability of the biceps brachii following brief, non-fatiguing submaximal contractions of the elbow flexors in resistance-trained males. *Neuroscience Letters*, 607, 66-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2015.09.028>
- Amiri, E., Gharakhanlou, R., Rajabi, H., Rezasoltani, Z., Azma, K., & Kavehee, A. (2018). Changes in corticospinal excitability and motoneurons responsiveness during and within a time-course after submaximal fatiguing contractions. *Sport Physiology*, 10(39), 33-50. <https://doi.org/10.22089/spj.2018.1362>
- Balbi, P., Perretti, A., Sannino, M., Marcantonio, L., & Santoro, L. (2002). Postexercise facilitation of motor evoked potentials following transcranial magnetic stimulation: A study in normal subjects. *Muscle & Nerve*, 25(3), 448-452. <http://dx.doi.org/10.1002/mus.10066>
- Bapiran, M., Rajabi, H., & Motamedi, P. (2017). The effect of intensity and specificity of muscle pre-activation on maximum force, leg velocity and vertical jump performance in trained men. *Sport Physiology*, 9(33), 37-50. [In Persian]. <https://doi.org/10.22089/spj.2017.1711.1212>
- Basereh, A., & Rajabi, H. (2022). Application of transcranial magnetic stimulation (tms) in exercise responses and exercise adaptations. *Sport Physiology*, 14(53), 60-17. [In Persian]. <https://doi.org/10.22089/spj.2021.10502.2135>
- Basereh, A., Rajabi, H., Gharibzadeh, S., & Jaberzadeh, S. (2022). Adaptations of cortical-spinal excitatory and inhibitory pathways in strength changes caused by resistance training in untrained individuals based on transcranial magnetic stimulation. *Sport Physiology & Management Investigations*, 14(1), 81-97. [In Persian]. [doi: 20.1001.1.1735.5354.1401.14.1.6.4.677](https://doi.org/10.11735.5354.1401.14.1.6.4.677)
- Brasil-Neto, J.P., Pascual-Leone, A., Valls-Solé, J., Cammarota, A., Cohen, L.G., & Hallett, M. (1993). Postexercise depression of motor evoked potentials: A measure of central nervous system fatigue. *Experimental Brain Research*, 93(1), 181-184. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00227794>
- Carroll, T. J., Lee, M., Hsu, M., & Sayde, J. (2008). Unilateral practice of a ballistic movement causes bilateral increases in performance and corticospinal excitability. *Journal of Applied Physiology*, 104(6), 1656-1664. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.01351.2007>

- Castro-Garrido, N., Valderas-Maldonado, C., Herrera-Valenzuela, T., Ferreira Da Silva, J., Guzmán-Muñoz, E., Vásquez-Gómez, J., ... & Valdés-Badilla, P. (2020). Effects of post-activation potentiation exercises on kicking frequency, fatigue rate and jump performance in taekwondo athletes: A case study. *Retos*, 38, 679-683. <http://dx.doi.org/10.47197/retos.v38i38.76755>
- Collins, B.W., Gale, L.H., Buckle, N.C., & Button, D.C. (2017). Corticospinal excitability to the biceps brachii and its relationship to postactivation potentiation of the elbow flexors. *Physiological Reports*, 5(8), e13265. <http://dx.doi.org/10.14814/phy2.13265>
- Enoka, R.M., Hutton, R.S., & Eldred, E. (1980). Changes in excitability of tendon tap and hoffmann reflexes following voluntary contractions. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 48(6), 664-672. [http://dx.doi.org/10.1016/0013-4694\(80\)90423-x](http://dx.doi.org/10.1016/0013-4694(80)90423-x)
- Fukutani, A., Hirata, K., Miyamoto, N., Kanehisa, H., Yanai, T., & Kawakami, Y. (2014). Effect of conditioning contraction intensity on postactivation potentiation is muscle dependent. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24(2), 240-245. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.01.002>
- Gossen, E.R., & Sale, D.G. (2000). Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *European Journal of Applied Physiology*, 83(6), 524-530. <http://dx.doi.org/10.1007/s004210000304>
- Hamada, T., Sale, D.G., MacDougall, J.D., & Tarnopolsky, M.A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 88, 2131-2137. <http://dx.doi.org/10.1152/jappl.2000.88.6.2131>
- Jensen, J. L., Marstrand, P.C., & Nielsen, J.B. (2005). Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system. *Journal of Applied Physiology*, 99(4), 1558-1568. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.01408.2004>
- Kavehee, A., Gharakhanlou, R., Rajabi, H., Rezasoltani, Z., Azema, K., & Amiri, E. (2019). The effect of upper limb exhaustive activity on corticospinal excitability and motoneuron responsiveness of lower limb. *Sport Physiology*, 11(41), 17-30. <https://doi.org/10.22089/spj.2018.1411>
- Kesar, T.M., Tan, A., Eicholtz, S., Baker, K., Xu, J., Anderson, J. T., ... & Borich, M.R. (2019). Agonist-antagonist coactivation enhances corticomotor excitability of ankle muscles. *Neural Plasticity*, 2019. <http://dx.doi.org/10.1155/2019/5190671>
- Kidgell, D.J., Bonanno, D.R., Frazer, A.K., Howatson, G., & Pearce, A.J. (2017). Corticospinal responses following strength training: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Neuroscience*, 46(11), 2648-2661. <http://dx.doi.org/10.1111/ejn.13710>
- Klein, C.S., Ivanova, T.D., Rice, C.L., & Garland, S.J. (2001). Motor unit discharge rate following twitch potentiation in human triceps brachii muscle. *Neuroscience Letter*, 316(3), 153-156. [http://dx.doi.org/10.1016/s0304-3940\(01\)02389-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0304-3940(01)02389-8)
- Kniffki, K.D., Mense, S., & Schmidt, R.F. (1978). Responses of group iv afferent units from skeletal muscle to stretch, contraction and chemical stimulation. *Experimental Brain Research*, 31(4), 511-522. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00239809>
- Mason, J., Howatson, G., Frazer, A.K., Pearce, A.J., Jaberzadeh, S., Avela, J., & Kidgell, D.J. (2019). Modulation of intracortical inhibition and excitation in agonist and antagonist muscles following acute strength training. *European*

Journal of Applied Physiology, 119(10), 2185-2199. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-019-04203-9>

Mcbride, J. M., Nimphius, S., & Erickson, T. M. (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(4), 893-897. <http://dx.doi.org/10.1519/00124278-200511000-00029>

Meidinger, R. L. (2017). *Post-Activation Potentiation: Decay or Fatigue Delay*. All NMU Master's Theses. 152.

Miyamoto, N., Yanai, T., & Kawakami, Y. (2011). Twitch potentiation induced by stimulated and voluntary isometric contractions at various torque levels in human knee extensor muscles. *Muscle & Nerve*, 43(3), 360-366. <http://dx.doi.org/10.1002/mus.21871>

Sasaki, K., Tomioka, Y., & Ishii, N. (2012). Activation of fast-twitch fibers assessed with twitch potentiation. *Muscle & Nerve*, 46(2), 218-227. <http://dx.doi.org/10.1002/mus.23290>

Siddique, U., Rahman, S., Frazer, A.K., Howatson, G., & Kidgell, D.J. (2019). Determining the sites of neural adaptations to resistance training: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 1-25. <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-019-01152-3>

Smith, C.B., Allen, M.D., & Rice, C.L. (2020). Coexistence of peripheral potentiation and corticospinal inhibition following a conditioning contraction in human first dorsal interosseous muscle. *Journal of Applied Physiology*, 129(4), 926-931. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00238.2020>

Stuart, M., Butler, J.E., Collins, D.F., Taylor, J.L., & Gandevia, S.C. (2002). The history of contraction of the wrist flexors can change cortical excitability. *The Journal of Physiology*, 545(3), 731-737. <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2002.032854>

Talis, V., Kazennikov, O., Castellote, J., Grishin, A., & Ioffe, M. (2014). Prior history of fdi muscle contraction: Different effect on mep amplitude and muscle activity. *Experimental Brain Research*, 232(3), 803-810. <http://dx.doi.org/10.1007/s00221-013-3789-5>

Thomas, K., West, D., Howatson, G., & Goodall, S. (2017). Heavy-resistance exercise-induced increases in jump performance are not explained by changes in neuromuscular function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(1), 35-44. <http://dx.doi.org/10.1111/sms.12626>

Tillin, N.A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147-166. <http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200939020-00004>

Trimble, M.H., & Harp, S.S. (1998). Postexercise potentiation of the h-reflex humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 933-941. <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-199806000-00024>