

مطالعات کاربردی تندرستی در فیزیولوژی ورزش

سال هشتم، شماره دوم؛

پاییز و زمستان ۱۴۰۰؛ صفحات ۱۰۲-۱۰۸

Open Access

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر تمرین مقاومتی درونگرا و برونگرا بر روی سرعت هدایت پتانسیل عمل تارهای عضلانی عضله چهار سر ران

رضا اکبری^۱، علی یعقوبی^{۲*}

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹

با اسکن QR فوق می‌توانید جزئیات مقاله حاضر را در سایت www.jahssp.azaruniv.ac.ir/ مشاهده کنید

چکیده

هدف: هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر ۸ هفته تمرین مقاومتی درونگرا و برونگرا بر روی سرعت هدایت پتانسیل عمل تارهای عضلانی عضله چهار سر ران بود. **روش شناسی:** ۳۰ نفر از پسر غیرفعال (سن: ۲۱±۲/۳ سال؛ وزن: ۷۱/۳±۸/۶ کیلوگرم و قد: ۱/۷۶±۰/۱ متر) برای این پژوهش انتخاب شدند. آزمودنی‌ها به صورت تصادفی به دو گروه تمرین درونگرا (۱۵ نفر) و تمرین برونگرا (۱۵ نفر) تقسیم شدند. حداکثر انقباض ارادی (MVC) و سیگنال الکترومیوگرافی سطحی قبل و بعد از هشت هفته تمرین برونگرا و درونگرا با شدت ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه، از عضله چهار سر ران ثبت گردید. برای تجزیه تحلیل داده‌ها از تجزیه تحلیل واریانس چند طرفه و آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. **یافته‌ها:** نتایج تحقیق نشان داد که MVC اکستنشن زانو بعد از هشت هفته تمرینات مقاومتی درونگرا و مقاومتی برونگرا به طور معناداری افزایش یافت ($P=0/001$). همچنین میزان افزایش در فرکانس توان میانه و سرعت هدایت پتانسیل عمل تارهای عضلانی بعد از هشت هفته تمرینات مقاومتی برونگرا به طور معناداری بزرگتر از میزان افزایش آن بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا بود ($P<0/05$). **نتیجه گیری:** در مجموع افزایش بزرگتر در حداکثر انقباض ارادی اکستنشن زانو همراه با افزایش در فرکانس توان میانه و سرعت هدایت پتانسیل عمل تارهای عضلانی بعد از تمرینات مقاومتی برونگرا، بیانگر سازگاری بهتر و فراخوانی بیشتر تارهای عضلانی تند انقباض در اثر تمرینات مقاومتی برونگرا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تمرین درونگرا، تمرین برونگرا، سرعت هدایت پتانسیل عمل، حداکثر انقباض ارادی.

نحوه ارجاع: رضا اکبری، علی یعقوبی. "بررسی تأثیر تمرین مقاومتی درونگرا و برونگرا بر روی سرعت هدایت پتانسیل عمل تارهای عضلانی عضله چهار سر ران". مطالعات کاربردی تندرستی در فیزیولوژی ورزش. ۱۴۰۰؛ ۸(۲): ۱۰۸-۱۰۲.

این مقاله با تبعیت از مجوز CC By 4.0 با دو شرط استناد به نویسنده و استفاده برای مقاصد غیرتجاری به طور رایگان در دسترس می‌باشد. استفاده، توزیع، بازتولید محتوای آن فقط برای اهداف غیرتجاری مجاز است و در غیر این صورت باید از سازنده اثر اجازه گرفته شود.

حق چاپ متعلق به نویسندگان و امتیاز انتشار آن متعلق به مجله "مطالعات کاربردی تندرستی در فیزیولوژی ورزش" است که توسط دانشگاه شهید مدنی آذربایجان منتشر می‌شود.

شاپای الکترونیکی: ۶۵۰۷-۲۶۷۶

DOI: 10.22049/JAHSSP.2021.27528.1408

DOR: 20.1001.1.26766507.1400.8.2.12.8



Copyright ©The authors

Publisher: Azarbaijan Shahid Madani University

Investigating the effects of eccentric and concentric resistance training on Action Potential Conduction Velocity of quadriceps muscle fibers

Reza Akbari¹, Ali Yaghoubi^{1*}

Receive 2021 July 22 ; Accepted 2021 October 19

Abstract

Aim: The purpose of present study was investigating the effects of 8 weeks of eccentric and concentric resistance training on Action potential conduction velocity of quadriceps muscle fibers. **Methods:** 30 male inactive subjects (age: 22.3±2.1 years; weight 71.3±8.6 kg and height: 1.76±0.1 m) were recruited for this controlled laboratory study. Subjects were randomly divided into two groups: the eccentric training group (No=15) and the concentric training group (No=15). The maximal voluntary contraction (MVC) of quadriceps muscles and surface electromyography signals were recorded before and after 8 weeks of resistance concentric and eccentric training with 80% of 1RM. The multifactorial variance and Tukey Post hoc tests were used for data analysis. **Results:** The results showed that MVC of knee extension after eccentric resistance training and concentric resistance training significantly increased ($P=0.001$). Also the increase in the mean power frequency and Action potential conduction velocity of muscle fibers after eccentric resistance training was significantly more than the increase after concentric resistance training ($P<0.05$). **Conclusions:** The higher increase in maximum voluntary contraction of knee extension is associated with increasing the frequency of moderate strength and Action potential conduction velocity of muscle fibers after eccentric resistance training indicates better adaptation and recruitment of fast-twitch muscle fibers to eccentric resistance training.

Keywords: eccentric training, concentric training, Action potential conduction velocity, Maximum voluntary contraction.



Scan this QR code to see the accompanying video, or visit jahssp.azaruniv.ac.ir

1. Master of Sports Physiology, Department of Sport Science, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran.

2. Assistant Professor of Sports Physiology, Department of Sport Science, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran. (Corresponding Author):
Email: Yaghoubiali65@gmail.com

Cite as: Reza Akbari, Ali Yaghoubi: " Investigating the effects of eccentric and concentric resistance training on Action Potential Conduction Velocity of quadriceps muscle fibers". Applied Health Studies in Sport Physiology. 2021: 8 (2), 102-108.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. © 2021 The Authors. JAHSSP published by Azarbaijan Shahid Madani University

Journal ISSN (online): 2676-6507

DOI: 10.22049/JAHSSP.2021.27528.1408

DOR: 20.1001.1.26766507.1400.8.2.12.8



Copyright ©The authors

Publisher: Azarbaijan Shahid Madani University

مقدمه

تمامی ورزشکاران با این انگیزه تمرین می کنند که در رقابت های ورزشی بتوانند به بهترین شکل توانایی های خود را به نمایش بگذارند و در این راستا مربیان برنامه های تمرینی مختلفی را در جهت بهبود عملکرد ورزشی ورزشکاران مورد استفاده قرار می دهند. شواهدی وجود دارد که نشان می دهد تمرینات مقاومتی برونگرا باعث افزایش بیشتر توده عضلانی می شوند (۱، ۲) و در تحقیق دیگری عنوان شده است که بیشترین هایپرتروفی و بهترین عملکرد ورزشی بدون تمرینات برونگرا به دست نمی آید (۳).

تارهای عضلانی به دو نوع تند انقباض و کند انقباض تقسیم می شود. کند انقباض ها دارای حجم کمتر و نیروی انقباض پائین، مقاوم در برابر خستگی و ظرفیت هوازی بالا همچنین دارای تراکم مویرگی بالا می باشند. تارهای عضلانی تند انقباض سرعت انقباض بالایی داشته و خیلی زود خسته می شوند. اندازه بزرگ و تراکم مویرگی پائین، ظرفیت هوازی پائین از دیگر مشخصات این عضلات می باشد (۴). علاوه بر این سرعت هدایت پتانسیل عمل (APCV)^۱ در تارهای تند انقباض سریع تر از تارهای عضلانی کند انقباض است و این نوع از تارها برای فعالیت های سرعتی و انفجاری مناسب هستند. پژوهش های زیادی فعالیت تارهای عضلانی را بعد از تمرینات مقاومتی مورد بررسی قرار داده اند. این پژوهش ها نشان داده اند که فعالیت تارهای عضلانی بعد از تمرینات مقاومتی بهبود یافته است (۲، ۳، ۵-۷). برای مثال تیپال^۲ و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کردند که افزایش در قدرت یا استقامت عضلانی در نتیجه سازگاری عصبی عضلانی به تمرین ایجاد می گردد و مربوط به یکی از این دو عامل است (۶). افزایش صدور فرکانس پتانسیل عمل واحدهای حرکتی و افزایش به کارگیری تعداد واحدهای حرکتی در حین تمرین و تمرین دادن انتخابی واحدهای حرکتی تند و یا کند انقباض نقش مهمی را در پیشبرد برنامه های تمرینی ایفا می کند. بر طبق اصل اندازه در یک فرایند انقباضی ابتدا واحدهای حرکتی کند انقباض که دارای آستانه تحریکی پائینی هستند، درگیر می شوند و سپس واحدهای حرکتی تند انقباض که آستانه تحریکی بالاتری دارند، فعال می شوند (۸-۱۰). از آنجائی که سیستم عصبی مرکزی در انقباضات معمول عضلانی ترجیحاً از واحدهای حرکتی کند انقباض که دارای آستانه تحریکی پائینی هستند، استفاده می کند، بنابراین فراخوانی واحدهای حرکتی تند انقباض در بسیاری از تمرینات میسر نبوده و عملاً امکان تقویت مناسب این تارها وجود نخواهد داشت (۱۱). بدین جهت مربیان و دست اندرکاران ورزشی همواره درصدد بهینه سازی برنامه تمرینی برای تقویت و یا سازگاری عضلات متناسب با ویژگی های مهارتی موجود در رشته های ورزشی مختلف هستند.

یکی از روش های بهینه سازی برنامه تمرینی استفاده از انقباضات عضلانی مختلف جهت تحریک یا سازگاری عضلانی می باشد. انقباضات برونگرا از جمله انقباضات عضلانی هستند که در آن سیستم عصبی مرکزی از استراتژی متفاوتی نسبت به دو نوع دیگر (ایستا و دورنگرا) جهت حفظ انقباض عضلانی استفاده می کند (۱۲). برای مثال کانه پا^۳ و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که فرآیند به کارگیری تارهای عضلانی در انقباضات برونگرا نسبت به دو نوع دیگر (ایستا

و دورنگرا) متفاوت بوده و تارهای عضلانی تند انقباض بیشتر درگیر می گردند تا تارهای عضلانی کند انقباض و حتی قسمت های متفاوتی را در قشر حرکتی درگیر می کنند (۱۳). بنابراین تحقیق حاضر درصدد پاسخگویی به این سوال است که آیا بین برنامه تمرینی دورنگرا و برونگرا بر APCV تارهای عضلانی و سازگاری های عصبی عضلانی چهار سر ران تفاوتی وجود دارد؟

روش شناسی

تحقیق حاضر از نوع تحقیقات نیمه تجربی بود که با دو گروه تجربی با طرح پیش آزمون و پس آزمون اجرا شد. آزمودنی های این پژوهش شامل ۳۰ نفر از پسران غیر فعال شهرستان بجنورد با دامنه سنی ۲۵-۲۰ سال بود که پس از فراخوان به صورت داوطلبانه و در دسترس در این پژوهش شرکت نمودند. در ابتدا از آزمودنی ها خواسته شد فرم رضایتنامه و پرسشنامه اطلاعات فردی را تکمیل کنند. آزمودنی ها در شش ماه گذشته فعالیت ورزشی منظم نداشتند و فاقد سابقه بیماری قلبی و عروقی، بیماری های کلیوی، خونی، کبدی، تنفسی، اختلالات هورمونی، استعمال دخانیات و اختلال خواب بودند، طی یک سال گذشته تحت عمل جراحی قرار نگرفته بودند و همچنین هیچ آسیب شدیدی در اندام تحتانی نداشتند. در ضمن توسط پزشک نیز از انجام فعالیت ورزشی منع نشده بودند. همچنین تمامی آزمودنی ها سابقه مصرف داروی خاصی نداشتند.

از آزمودنی ها خواسته شد تا در تاریخ مشخصی در جلسه توجیهی شرکت کنند. در جلسه ی بعد آزمودنی ها با نحوه انجام پروتکل تمرینی آشنا شدند و سپس حداکثر انقباض ارادی^۴ (MVC) ایزومتریک عضله چهارسر ران با استفاده از لودسل الکترونیکی ۵۰۰ کیلوگرمی که قابلیت همابنگ شدن^۵ با دستگاه الکترومیوگرافی را داشت، اندازه گیری شد. فعالیت الکترومیوگرافی سطحی توسط الکترودهای خطی هشت کاناله که بر روی سطح پوست قرار داده شده بودند، از عضلات پهن داخلی و پهن خارجی در طی MVC اکستنشن زانو ثبت گردید. در پایان جلسه آزمودنی ها به صورت تصادفی ساده به دو گروه (۱) تمرین مقاومتی برونگرا و (۲) تمرین مقاومتی دورنگرا (هر کدام ۱۵ نفر) تقسیم شدند. پای برتر با توجه تمایل آزمودنی ها در آزمون شوت به توپ مشخص و تمامی اندازه گیری ها روی پای برتر انجام شد.

برای ثبت فعالیت الکترومیوگرافی از الکتروود ثبت کننده ی سیگنال (الکترودهای خطی هشت کاناله) با استفاده از دستگاه الکترومیوگرافی ۶۴ کاناله ساخت شرکت بیوالکترونیکا^۶ ایتالیا (EMG amplifier, EMG-16 LISIN-OT, Bioelettronica, , Torino Italy, bandwidth 10-500 Hz) استفاده شد. برای تعیین محل دقیق نصب الکترودها ابتدا فاصله بین لبه داخلی، خارجی و لبه قدامی کشکک و ستیغ خاصه با استفاده از متر پارچه ای اندازه گیری گردید، آن گاه الکترودهای خطی هشت کاناله در حد فاصل ۱۰٪ بین لبه داخلی کشکک و ستیغ خاصه بر روی عضله پهن داخلی، در حد فاصل ۱۰٪ بین لبه خارجی کشکک و ستیغ خاصه بر روی عضله پهن خارجی قرار داده شد (۱۴). محل قرارگیری الکترودها در شکل ۱ ارائه شده است. قبل از قرار دادن

^۴ Maximal Voluntary Contraction

^۵Synchronization

^۶ Bioelettronica

^۱ Action Potential Conduction Velocity

^۲ Taipale

^۳ Canepa



شکل ۱. محل قرار گیری الکترودها روی عضله پهن داخلی و خارجی

یافته‌ها

در جدول ۱ یافته‌های آزمون آماری در خصوص مقایسه اثر تمرین مقاومتی درونگرا و برونگرا بر MVC، APCV و فرکانس توان میانه در گروه‌های تحقیق ارائه شده است.

نتایج حاصل از تجزیه تحلیل واریانس دوطرفه نشان داد که MVC اکستنشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا و مقاومتی برونگرا به طور معناداری افزایش یافت ($F=51.21$ و $P=0.001$). از طرفی میزان افزایش در MVC اکستنشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی برونگرا به طور معناداری بزرگتر از میزان افزایش آن بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا بود ($F=5.8$ و $P=0.024$).

از تجزیه تحلیل واریانس سه طرفه برای محاسبه ی تغییر در فرکانس توان میانه الکترومیوگرافی و APCV، برای عضله چهارسران (پهن داخلی و خارجی) در طی MVC اکستنشن زانو از مرحله ی پیش آزمون تا مرحله ی پس آزمون برای گروه تمرینی مقاومتی درونگرا و گروه تمرینی مقاومتی برونگرا استفاده گردید. APCV تارهای عضلانی عضله چهارسران (پهن داخلی و خارجی) در طی MVC اکستنشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی برونگرا طور معناداری افزایش یافت ($F=30.48$ و $P=0.001$). با این حال APCV تارهای عضلانی عضله چهارسران (پهن داخلی و خارجی) در طی MVC اکستنشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا هیچ تفاوت معناداری با مرحله پیش آزمون نداشت ($P>0.05$).

همچنین نتایج تجزیه تحلیل واریانس سه طرفه نشان داد که فرکانس توان میانه ی الکترومیوگرافی برای عضله چهارسران (پهن داخلی و خارجی) در طی MVC اکستنشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی برونگرا به طور معناداری افزایش یافت. ($F=9.73$ و $P=0.001$)؛ اما فرکانس توان میانه ی الکترومیوگرافی برای عضله چهارسران (پهن داخلی و خارجی) در طی MVC اکستنشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا هیچ تفاوت معناداری با مرحله پیش آزمون نداشت ($P>0.05$).

جدول ۱. میزان MVC، APCV و فرکانس توان میانه تارهای عضلانی عضلات پهن داخلی و خارجی در طی MVC اکستنشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا و برونگرا

شاخص	گروه تمرینی	عضله	پیش آزمون	پس آزمون	مقدار F^{\dagger}	مقدار P^{\dagger}
MVC	برونگرا	چهار سر	۰/۲۸۴±۰/۰۱	۰/۳۷۵±۰/۰۱	۵۱/۲۱	۰/۰۰۱*
	درونگرا	چهار سر	۰/۲۴۹±۰/۰۱	۰/۳۰۷±۰/۰۱	*	*
APCV	برونگرا	پهن خارجی	۰/۳۲۶±۰/۰۹	۰/۳۸۹±۰/۰۶	۳۰/۴۸	۰/۰۰۱*
		پهن داخلی	۰/۳۲۶±۰/۰۶	۰/۳۹۲±۰/۰۷	*	*
	درونگرا	پهن خارجی	۰/۳۹۸±۰/۰۲	۰/۳۹۴±۰/۰۲	۱/۱۸	۰/۳۲۹
		پهن داخلی	۰/۳۴۸±۰/۰۲	۰/۳۴۴±۰/۰۲		
فرکانس توان میانه	برونگرا	پهن خارجی	۶۰/۴۱۵±۴/۱	۷۲/۲۰۲±۳/۷۲	۹/۷۳	۰/۰۰۱*
		پهن داخلی	۶۹/۵۹۴±۳/۶۱	۷۴/۴۰۴±۲/۸۱		
	درونگرا	پهن خارجی	۶۸/۳۳۶±۱/۳۴	۶۸/۶۶۷±۱/۳۳	۱/۰۹	۰/۳۵۴
		پهن داخلی	۶۹/۰۷۱±۱/۴۵	۶۸/۶۰±۱/۳۵		

† آماره ی آزمون، * مقدار $P<0.05$ از نظر آماری معنادار است. * وجود تفاوت معنادار ($P<0.05$) بین گروه های تحقیق

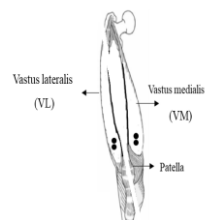
الکترودها روی پوست، برای کاهش مقاومت الکتریکی پوست در محل اتصال الکترودها، ابتدا موهای زائد از بین برده شد و پوست توسط کاغذ سمباده نرم با فشار اندک ساییده شد. سپس موضع با استفاده از یک پنبه ی آغشته به الکل، تمیز گردید و سپس الکترودها بر روی عضلات پهن داخلی و خارجی قرار داده شد و ثبت سیگنال انجام شد. جهت اتصال زمین نیز یک نوار خیس، به دور مچ پا پیچیده و با سیم مخصوصی به آمپلی فایر متصل گردید تا از ورود نویز به دستگاه جلوگیری کند. سیگنال های ثبت شده از یک فیلتر پایین گذر با فرکانس ۱۰ تا ۵۰۰ هرتز و یک فیلتر بالا گذر با فرکانس ۱۰ تا ۲۰ هرتز عبور داده شد (۱۴). حجم و شدت تمرینات طوری تنظیم شد که میزان بار کار برای هر دو گروه تمرینی برونگرا و درونگرا به طور معناداری متفاوت نباشد. وهله استراحت کافی بین ست های تمرینی گنجانده شد تا از خستگی و آسیب عضلانی جلوگیری گردد.

تمرینات درونگرا شامل ۳ جلسه در هفته تمرین با وزنه بر روی دستگاه اکستنشن زانو با شدت ۸۰٪ IRM بود. آزمودنی ها موظف بودند ۳ ست با ۱۲ تکرار به طور صحیح در طول دامنه کامل حرکتی مفصل از زاویه ۹۰ به ۱۸۰ درجه اجرا کنند.

تمرینات برونگرا نیز شامل ۳ جلسه در هفته تمرین با شدت ۸۰٪ IRM بر روی دستگاه اکستنشن زانو بود. آزمودنی ها موظف بودند سه ست ۱۰ تا ۱۲ تکرار به طور صحیح در طول دامنه کامل حرکتی مفصل از زاویه ۱۸۰ به ۹۰ درجه (بر عکس الگوی درونگرا) اجرا کنند. در طی اجرا تمرین برونگرا سرعت انجام حرکت از طریق یک مترنوم کنترل شد (۱۵).

APCV عضلات پهن داخلی و پهن خارجی بر اساس زمان تأخیر موجود بین ۸ سیگنال دیفرنشیال^۱ در بازه های زمانی ۲۵۰ میلی ثانیه محاسبه گردید. سپس کلیه APCV های محاسبه شده در بازه های زمانی ۲۵۰ میلی ثانیه در درون ۱۰ زمان متناوب (۱۰٪) میانگین گرفته شد و بدین ترتیب برای هر زمان متناوب (۱۰٪) یک مقدار مرجع به دست آمد. بدین ترتیب ۱۰ تناوب زمانی از ابتدا تا انتهای انقباض عضلانی به دست آمد که هر یک از این تناوب های زمانی دارای یک مقدار مرجع بود. فرکانس توان میانه ی الکترومیوگرافی نیز برای عضله چهار سران (پهن داخلی و خارجی) نیز از تمام کانال های آرایه EMG برای دوره های زمانی ۲۵۰ میلی ثانیه برآورد شد (۱۶).

برای تجزیه تحلیل داده ها از آزمون آماری تجزیه تحلیل واریانس چند طرفه و آزمون تعقیبی Tucky، باتوجه به تعداد متغیرهای وابسته استفاده شد. سطح معناداری در این پژوهش $P<0.05$ در نظر گرفته شد و تمامی محاسبات با نرم افزار SPSS 16 انجام شد.



بحث و نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر هشت هفته تمرین مقاومتی برونگرا و درونگرا بر روی فراخوانی واحدهای حرکتی تند انقباض و کند انقباض بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در هر دو گروه تمرینی برونگرا و درونگرا فعالیت الکترومیوگرافی عضله چهارسر ران (پهن داخلی و پهن خارجی)، متناسب با میزان تنش عضلانی توسعه یافته در طی اجرای MVC، افزایش یافت. یک افزایش قابل ملاحظه‌ای در فعالیت الکترومیوگرافی در طی MVC ممکن است مربوط به فرمان‌های حرکتی از طرف سیستم عصبی مرکزی به تارها عضلانی باشد که به موجب آن سیستم عصبی مرکزی از طریق افزایش به کارگیری واحدهای حرکتی و یا افزایش فرکانس صدور پتانسیل عمل همان واحدهای حرکتی بکارگرفته شده، میزان تنش عضلانی لازم را جهت غلبه بر یک مقاومت فراهم می‌کند (۱۳). نتایج تحقیق در این زمینه نشان داده است که متناسب با افزایش بزرگی موج الکترومیوگرافی، فرکانس توان میانه نیز افزایش نشان داد که ممکن است به دلیل به کارگیری واحدهای حرکتی تند انقباض باشد (۱۷). همان‌طور که عنوان شد، واحدهای حرکتی تند انقباض سرعت انتشار پتانسیل عمل بالاتری دارند و همچنین با فرکانس بالای پتانسیل عمل صادر می‌کنند و بنابراین منجر به تولید دامنه‌ی موج الکترومیوگرافی بزرگتر و فرکانس توان میانه‌ی بالاتر می‌شوند (۱۸). نتایج تحقیق حاضر با نتایج ناسیو^۱ و همکاران (۲۰۲۰) (۱۷)، برتا-پیکولی^۲ و همکاران (۲۰۱۹) (۱۸)، واز^۳ و همکاران (۱۹۹۶) (۱۹)، وستینگ^۴ و همکاران (۱۹۹۱) (۲۰)، اولیویرا^۵ و همکاران (۲۰۱۳) (۲۱) و کلیس^۶ و همکاران (۲۰۰۷) (۲۲) که به دنبال تمرین مقاومتی افزایش معناداری در MVC نشان دادند، همسو می‌باشد.

اگرچه هر دو برنامه‌ی تمرینی مقاومتی درونگرا و برونگرا حداکثر قدرت عضلانی را در طی اجرای حداکثر انقباض عضلانی بیشینه افزایش دادند و این افزایش در حداکثر قدرت عضلانی توام با افزایش در فعالیت‌های الکترومیوگرافی وابسته به آن بود؛ با این حال میزان افزایش هم در قدرت عضلانی و هم در فعالیت‌های الکترومیوگرافی وابسته به آن، در گروه تمرینی برونگرا به‌طور معناداری بیشتر از گروه تمرینی درونگرا بود. این برتری تمرینی برونگرا در افزایش حداکثر قدرت عضلانی ممکن است مربوط به ویژگی‌های منحصر به فرد نوع انقباض عضلانی در این نوع تمرینات باشد. مطالعات قبلی گزارش کرده‌اند که فعالیت‌های کورتیکال مغزی در طی انقباضات عضلانی برونگرا به‌طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از فعالیت‌های کورتیکال مغزی در طی انقباضات عضلانی درونگرا است (۱۳، ۲۳). این مطالعات فعالیت تند انقباض کورتیکال مغزی در طی انقباضات برونگرا را به پیچیدگی این نوع انقباضات نسبت داده‌اند (۱۳). به علت اینکه در طی اجرای انقباضات برونگرا، عضله ضمن تولید تنش بیشتر در معرض کشش قرار می‌گیرد، بنابراین فرد به‌طور مداوم سعی دارد تا میزان کشش عضلات توسعه یافته را متناسب با کشش عضلانی ایجاد شده تنظیم کند و بنابراین فعالیت‌های کورتیکال مغزی بالایی را می‌طلبد تا این تناسب طول و تنش عضلانی در طول انقباض حفظ گردد. این تنظیم تناسب طول و تنش عضلانی جهت جلوگیری از آسیب‌های عضلانی ضروری است (۲۴، ۲۵). برتری تمرینات

برونگرا در توسعه حداکثر قدرت عضلانی نسبت به تمرینات درونگرا ممکن است به فرایند به کارگیری واحدهای حرکتی در این نوع انقباض نیز مربوط باشد (۲۳).

مکانیسم احتمالی دیگر برای برتری انقباضات عضلانی جهت توسعه حداکثر قدرت عضلانی ممکن است به تحریک شدید دوک‌های عضلانی در درون عضلات اسکلتی مربوط باشد. زمانی که عضله در طی انقباض برونگرا تحت کشش شدید قرار می‌گیرد معمولاً دو انتهای دوک‌های عضلانی به موازات تارهای عضلانی شدیداً کشیده شده و قسمت مرکزی دوک عضلانی شدیداً تحریک می‌گردد که منجر به صدور پتانسیل عمل مکرر به طرف سیستم عصبی مرکزی می‌گردد. افزایش قابل ملاحظه صدور و ارسال پتانسیل عمل به طرف سیستم عصبی مرکزی باعث افزایش فعالیت‌های کورتیکال در پاسخ به دوک عضلانی جهت کنترل شدت انقباض می‌گردد. این نوع ارتباطات بین دوک حرکتی مربوط ایجاد کند و فرایند بکارگیری آن‌ها را در طی انقباضات عضلانی تسهیل نماید (۲۳، ۲۶).

فرکانس توان میانه‌ی الکترومیوگرافی برای عضله چهار سر ران (پهن داخلی و خارجی) در طی MVC اکستشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی برونگرا به‌طور معناداری افزایش یافت. با این حال فرکانس توان میانه‌ی الکترومیوگرافی برای عضله چهار سر ران (پهن داخلی و خارجی) بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا هیچ تفاوت معناداری با مرحله پیش تمرین نداشت. افزایش در فرکانس توان میانه ممکن است مربوط به افزایش APVC تارهای عضلانی بعد از تمرینات مقاومتی باشد. این افزایش احتمالاً مربوط به سازگاری‌های عصبی عضلانی است که معمولاً در نتیجه‌ی تمرینات مقاومتی در محل اتصال عصبی عضلانی رخ می‌دهد. فرکانس توان میانه معمولاً به‌طور غیرمستقیم به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری APCV تارهای عضلانی استفاده می‌شود (۱۸).

APCV تارهای عضلانی عضله چهار سر ران (پهن داخلی و خارجی) در طی MVC اکستشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی برونگرا به‌طور معناداری افزایش یافت. با این حال APCV تارهای عضلانی عضله چهار سر ران (پهن داخلی و خارجی) در طی MVC اکستشن زانو بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا هیچ تفاوت معناداری با مرحله پیش آزمون نداشت. از آنجایی که سیستم عصبی مرکزی در طی تمرینات مقاومتی برونگرا معمولاً واحدهای حرکتی تند انقباض را درگیر می‌کند (۹). به کارگیری مکرر این واحدهای حرکتی معمولاً آستانه پتانسیل عمل آن‌ها را پایین آورده و فرایند به کارگیری آن‌ها را تسهیل می‌نماید. واحدهای حرکتی تند انقباض دارای سرعت انتشار پتانسیل عمل بالاتر و همچنین فرکانس صدور پتانسیل عمل بزرگتری بوده که به نوبه خود باعث تولید تنش عضلانی بزرگتر و فرکانس توان میانه بالاتری می‌گردد (۱۳). نتایج تحقیق حاضر با نتایج هدایت پور و همکاران و همکاران (۲۰۰۹) که در سرعت هدایت عصبی به دنبال تمرینات زیر بیشینه افزایش معناداری گزارش کردند

^۴ Westing

^۵ Oliveira

^۶ Klass

^۱ Nuccio

^۲ Beretta-Piccoli

^۳ Vaz



- induces early adaptations in skeletal muscle size. *European journal of applied physiology*. 2008;102(3):271-81.
2. Farthing JP, Chilibeck PD. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European journal of applied physiology*. 2003;89(6):578-86.
 3. Hather B, Tesch P, Buchanan P, Dudley G. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1991;143(2):177-85.
 4. Scott W, Stevens J, Binder-Macleod SA. Human skeletal muscle fiber type classifications. *Physical therapy*. 2001;81(11):1810-6.
 5. McCARTHY JP, Pozniak MA, Agre JC. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2002;34(3):511-9.
 6. Taipale R, Mikkola J, Vesterinen V, Nummela A, Häkkinen K. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *European journal of applied physiology*. 2013;113(2):325-35.
 7. Afsharnezhad T, Amani A, Khorsandi M, Safar Zadeh S. The effects of 8-weeks unilateral resistance training on strength, time to task failure, and synergist co-activation of elbow flexor Muscles in trained and untrained limbs %J *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2018;5(1):28-36.
 8. Knudson D. Mechanics of the musculoskeletal system. *Fundamentals of biomechanics*: Springer; 2021. p. 55-78.
 9. Mendell LM. The size principle: a rule describing the recruitment of motoneurons. *Journal of neurophysiology*. 2005;93(6):3024-6.
 10. Bolboli L, Sattari M, Hakimi V. Effect of High Intensity Interval Training and Moderate Intensity Continuous Training on Electrocardiographic Indices in Sedentary Men %J *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*. 2020;7(2):53-8.
 11. Hedayatpour N, Falla D. Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: mechanisms and considerations for training. *BioMed research international*. 2015;2015.
 12. Krstrup P, Söderlund K, Mohr M, González-Alonso J, Bangsbo J. Recruitment of fibre types and quadriceps muscle portions during

(۱۴). همچنین کاسولو^۱ و همکاران (۲۰۲۰) که افزایش APVC را در اثر تمرینات مقاومتی را گزارش کردند (۲۷)، همسو می‌باشد. بر طبق اصل اندازه در انقباض عضلانی درونگرا و ایزومتریک معمولاً ابتدا واحدهای حرکتی کند انقباض درگیر می‌شوند و بعد از خسته شدن واحدهای حرکتی کند انقباض که قبلاً به کار گرفته شده اند، واحدهای حرکتی تند انقباض به کار گرفته می‌شوند. این استراتژی عصبی باعث می‌شود تا واحدهای حرکتی که قبلاً به کار برده شده‌اند، وارد فاز استراحت شوند و واحدهای حرکتی جدید به کار گرفته شوند و بدین ترتیب از آسیب به واحد حرکتی جلوگیری شود (۹). استراتژی سیستم عصبی مرکزی در به کارگیری واحدهای حرکتی در طی انقباضات برونگرا عکس دو نوع انقباض درونگرا و ایزومتریک است. بدین معنی که در ابتدای انقباض برون گرا معمولاً واحدهای حرکتی تند انقباض به کار گرفته می‌شوند. به کارگیری مکرر واحدهای حرکتی تند انقباض در ابتدای انقباض عضلانی در طی انقباض های برونگرا باعث می‌شود تا آستانه پتانسیل عمل این واحدهای حرکتی تغییر پیدا کرده و فرایند به کارگیری آن‌ها در طی فازهای اولیه حرکات انفجاری (معمولاً ۱۰۰ میلی ثانیه ابتدای انقباض) تسهیل گردد (۱۸، ۲۸). تسهیل در فرایند به کارگیری واحدهای حرکتی تند انقباض که معمولاً در ابتدای انقباض عضلانی (۱۰۰ میلی ثانیه ابتدای انقباض) جهت اجرای حرکت انفجاری درگیر می‌شوند، می‌توانند میزان نیروی انفجاری یا توان عضلانی را جهت انجام کار بهبود بخشد. زیرا واحدهای حرکتی تند انقباض دارای APCV بالاتری بوده و عمدتاً مسئول اصلی تولید نیرو یا توان عضلانی در فازهای اولیه‌ی انقباض هستند (۹).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد میزان افزایش در MVC اکستشن زانو بعد از تمرینات بلندمدت مقاومتی برونگرا به‌طور معناداری بزرگتر از میزان افزایش آن بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا بود. به علاوه میزان افزایش در فرکانس توان میانه و APCV تارهای عضلانی بعد از تمرینات مقاومتی برونگرا به‌طور معناداری بزرگتر از میزان افزایش آن بعد از تمرینات مقاومتی درونگرا است. یک افزایش بزرگتر در MVC اکستشن زانو همراه با افزایش در فرکانس توان میانه و APCV تارهای عضلانی بعد از تمرینات مقاومتی برونگرا نشان دهنده سازگاری بهتر تارهای عضلانی تند انقباض به تمرینات مقاومتی برونگرا می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در این پژوهش ما را همراهی کردند، سپاسگزاری می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان این مقاله، هیچ نفع متقابل از انتشار آن ندارند.

منابع

1. Norrbrand L, Fluckey JD, Pozzo M, Tesch PA. Resistance training using eccentric overload

^۱ Casolo



- between muscle actions for strength and fatigue: A brief review. *Brazilian Journal of Motor Behavior*. 2016;10(1):1-8.
24. Hinks A, Hess A, Debenham MI, Chen J, Mazara N, Inkol KA, et al. Power loss is attenuated following a second bout of high-intensity eccentric contractions due to the repeated bout effect's protection of rate of torque and velocity development. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2021;46(5):461-72.
25. Clos P, Mater A, Laroche D, Lepers R. Concentric versus eccentric cycling at equal power output or effort perception: Neuromuscular alterations and muscle pain. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2021.
26. Hedayatpour N, Falla D, Arendt-Nielsen L, Farina D. Effect of delayed-onset muscle soreness on muscle recovery after a fatiguing isometric contraction. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2010;20(1):145-53.
27. Casolo A, Farina D, Falla D, Bazzucchi I, Felici F, Del Vecchio A. Strength training increases conduction velocity of high-threshold motor units. *Med Sci Sports Exerc*. 2020;52:955-67.
28. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology*. 2002;93(4):1318-26.
- repeated, intense knee-extensor exercise in humans. *Pflügers Archiv*. 2004;449(1):56-65.
13. Canepa P, Papaxanthis C, Bisio A, Biggio M, Paizis C, Faelli E, et al. Motor cortical excitability changes in preparation to concentric and eccentric movements. *Neuroscience*. 2021.
14. Hedayatpour N, Falla D, Arendt-Nielsen L, Vila-Chã C, Farina D. Motor unit conduction velocity during sustained contraction after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(10):1927-33.
15. Bagheri T, Abedi B, Hedayatpour N. Effects of 12 Weeks Concentric and Eccentric Resistance Training on Neuromuscular Adaptation of Quadriceps Muscle. *Journal of Rehabilitation Sciences & Research*. 2020;7(4):161-6.
16. Nasrabadi R, Izanloo Z, Sharifnezad A, Hamedinia MR, Hedayatpour N. Muscle fiber conduction velocity of the vastus medialis and lateralis muscle after eccentric exercise induced-muscle damage. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2018;43:118-26.
17. Nuccio S, Del Vecchio A, Casolo A, Labanca L, Rocchi JE, Felici F, et al. Muscle fiber conduction velocity in the vastus lateralis and medialis muscles of soccer players after ACL reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2020;30(10):1976-84.
18. Beretta-Piccoli M, Cescon C, Barbero M, D'Antona G. Reliability of surface electromyography in estimating muscle fiber conduction velocity: A systematic review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2019;48:53-68.
19. Vaz M, Thangam S, Prabhu A, Shetty P. Maximal voluntary contraction as a functional indicator of adult chronic undernutrition. *British Journal of Nutrition*. 1996;76(1):9-15.
20. Westing S, Cresswell A, Thorstensson A. Muscle activation during maximal voluntary eccentric and concentric knee extension. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1991;62(2):104-8.
21. Oliveira FB, Oliveira AS, Rizatto GF, Denadai BS. Resistance training for explosive and maximal strength: effects on early and late rate of force development. *Journal of sports science & medicine*. 2013;12(3):402.
22. Klass M, Baudry S, Duchateau J. Voluntary activation during maximal contraction with advancing age: a brief review. *European journal of applied physiology*. 2007;100(5):543-51.
23. Ruas CV, Lima CD, Pinto RS, Oliveira MA, Barros JA, Brown LE. Brain activation differences

