

بررسی اثر کوفتگی حاصل از تمرینات پلايومتریک بر الگوی فعالیت الکترومایوگرافی عضله دوقلوی ساق پای مردان تمرین نکرده پس از انقباض‌های ایزومتریک

سعید ایل‌بیگی^{۱*}، محمدرضا پوربهرام^۲، مرضیه ثاقب‌جو^۳

۱. دانشیار، بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند

۲. کارشناس ارشد، تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند

۳. دانشیار، فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۸/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۹/۲۰

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی اثر کوفتگی حاصل از تمرینات پلايومتریک بر الگوی فعالیت الکترومایوگرافی (آمپلی‌تود) عضله دوقلوی ساق پای افراد تمرین‌نکرده پس از انقباض‌های ایزومتریک بود. ۲۰ دانشجوی مرد تمرین‌نکرده (حداقل مدت ۶ ماه دور از تمرین)، تصادفی در دو گروه تجربی (۱۰ نفر) و کنترل (۱۰ نفر)، تقسیم شدند. ابتدا در مرحله پیش‌آزمون فعالیت الکترومایوگرافی (آمپلی‌تود) عضله دوقلو آزمودنی‌ها با استفاده از دستگاه Biovision ۱۸ کاناله در دو انقباض ایزومتریک در دو حرکت (اسکات/ پلانتر فلکشن مچ پا)، و حرکت (سیمکش/ دورسی فلکشن مچ پا)، ثبت گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار DasyLab و Matlab مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و از آزمون آنوا با اندازه‌گیری‌های مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی نیز در سطح معنی‌داری $P \leq 0/05$ برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. به منظور ایجاد کوفتگی عضلانی، آزمودنی‌های گروه تجربی برای مدت ۱۰ دقیقه به تمرین پلايومتریک منتخب پرداخته‌اند و پس‌آزمون بلافاصله و ۴۸ ساعت پس از تمرین، انجام شد. نتایج نشان داد که کوفتگی حاصل از تمرینات پلايومتریک، فعالیت آمپلی‌تود عضله دوقلو را بلافاصله و ۴۸ ساعت پس از تمرین، در هنگام حرکت دورسی فلکشن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد ($P=0/001$)، در حالی که در هنگام حرکت پلانتر فلکشن تاثیر معنی‌داری در کاهش و یا افزایش فعالیت الکتریکی (آمپلی‌تود) این عضله، مشاهده نشد. با توجه به نتایج، ریسک پذیری بالای حرکات دورسی فلکشن و مشابه آن در مدت انقباض ایزومتریک نسبت به حرکات پلانتر فلکشن و مشابه آن در شرایط کوفتگی در میان افراد تمرین‌نکرده اشاره می‌گردد. کلیدواژه‌ها: کوفتگی عضلانی، تمرینات پلايومتریک، الکترومایوگرافی، آمپلی‌تود عضلانی، انقباض ایزومتریک.

The effect of muscle soreness due to the plyometric training on electrical activity of Gastrocnemius muscle after concentric and eccentric contractions in un-trained male

Ilbeigi, S¹., Poorbahram, M.R²., Saghebjo, M³.

1. Associate Professor, Sport Biomechanic, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Birjand, Iran
2. Master of Science, Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Birjand, Iran
3. Associate Professor, Sport Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Birjand, Iran

Abstract

Purpose: The aim of this study was to investigate the effect of muscle soreness due to the plyometric exercises on leg muscle EMG activity after concentric and eccentric contractions in untrained people. 20 students from untrained male students (at least 6 months out of practice), were randomly assigned to experimental (n=10) and control (n=10) groups. At pre-test, surface electromyographic activity of gastrocnemius muscle were recorded using by the Biovision 18 channel device during the both concentric (squat / plantar flexion of the ankle) and eccentric (wirepuller / ankle dorsiflexion) contractions. Then, in order to build muscle soreness, experimental group exerted 10 minutes selected plyometric exercises, while the control group did not have any training. Finally, immediately after protocol training and also after 48 hours the same record was done. Data were analyzed by DasyLab and Matlab software, and the ANOVA Repeated Measure and Bonferroni post hoc also were used for statistical analysis at a significance level of $P \leq 0/05$. The results showed that fatigue resulting from plyometric exercises, could have significant reduction in activity of gastrocnemius muscle immediately and 48 hours after exercise during eccentric contraction ($P=0/001$), while it was not true for concentric. According to the results, the risk of eccentric contraction could be considered for untrained people during training.

Keywords: Muscle Soreness, Plyometric Exercises, Electromyography, Concentric Contraction, Eccentric Contraction.

*. silbeigi@birjand.ac.ir

مقدمه

یکی از اثرات فعالیت‌های بدنی و ورزشی طولانی و شدید بر عضلات، ایجاد کوفتگی^۱ یا حساسیت موضعی است (۱)، که معمولاً با احساس درد، سفتی، ضعف و گرفتگی در عضلات همراه است (۲). به‌طور کلی، کوفتگی به دو گونه کوفتگی تاخیری^۲ و کوفتگی حاد^۳ ظاهر می‌شود. کوفتگی حاد، به شکل موقتی ایجاد می‌شود و معمولاً چند دقیقه تا چند ساعت پس از فعالیت بروز می‌کند (۳،۴)؛ در حالی که، کوفتگی عضلانی تأخیری، تا ۴۸ ساعت پس از یک فعالیت شدید آغاز شده و بسته به شدت آن، ممکن است، تا دو هفته ادامه داشته باشد (۱). نتایج پژوهش‌های گذشته نشان‌دهنده آن است که در فعالیت‌های شدید و استقامتی در شرایطی که عضلات با کوفتگی و خستگی مواجه می‌شوند، توانایی آن‌ها در تحمل انقباضات شدید و مداوم کاهش می‌یابد، و این مساله علاوه بر تغییر در فرکانس الکترومیوگرافی عضلات، به تغییر در میزان توان عضلات و تولید نیروی عضله منجر می‌شود (۵). تغییر در فرکانس الکتریکی عضلات، اغلب نشانه‌ای از خستگی و کوفتگی عضلانی محسوب می‌شود، و جابجایی به سمت طیف فرکانس‌های کم‌تر طی یک انقباض مداوم، نشان‌دهنده خستگی موضعی عضله است (۵،۶)؛ همچنین، همراه با بروز خستگی در عضله و کاهش میزان کشش تارهای عضله، اغلب کاهش فعالیت الکتریکی عضله دیده می‌شود و بخش پر فرکانس سیگنال همراه با خستگی فرد، افت می‌کند، و این افت موجب کاهش فرکانس سیگنال‌های عضله می‌شود (۵). بر اساس یافته‌های پژوهشگران، میان برخی از انقباض‌های عضلانی (انقباضات ایزومتریک^۴) و دامنه سیگنال‌های الکترومیوگرافی رابطه مثبتی هست (۷)؛ همچنین، در بررسی فعالیت یک عضله با توجه به انقباضات درونگرا^۵ و برونگرا^۶ مشخص می‌شود که انقباضات درونگرا نسبت به انقباضات برونگرا، فعالیت الکتریکی کم‌تری در عضله تولید می‌کنند (۵). همچنین، بررسی اثر وضعیت پا بر فعالیت الکترومیوگرافی عضلات بازکننده و خم‌کننده زانو، در مدت مراحل انجام حرکت اسکات در دو حالت پای جمع و پای باز نشان داد که فعالیت الکترومیوگرافی عضلات دو سر رانی، پهن داخلی و خارجی در فاز انقباض درونگرا بیش‌تر از فاز انقباض برونگرا است (۸).

در پژوهشی که روی عضلات موافق و مخالف آرنج انجام شده، مشاهده شده است، که تمرین موجب افزایش فعالیت الکترومیوگرافی در عضلات موافق حرکت و کاهش در عضلات مخالف حرکت هم در عضو تمرین‌کرده و هم در عضو تمرین‌نکرده شده است (۶). گرچه تا کنون پژوهش‌های نسبتاً زیادی درباره رابطه میان خستگی و سطح فعالیت الکتریکی عضلانی انجام شده است (۹-۱۱)، اما درباره کوفتگی عضلانی و فعالیت الکتریکی عضله در مدت حرکات دورسی فلکشن و پلاننار فلکشن متعاقب انقباضات ایزومتریک، پژوهش کمی به چشم می‌خورد. با توجه به شیوع بالای کوفتگی عضلانی در میان ورزشکاران، به ویژه در آغاز فصل و شروع تمرینات ورزشی، به نظر می‌رسد که بررسی تاثیر این آسیب ورزشی در فعالیت الکتریکی عضله می‌تواند، نتایج مطلوبی را برای این دسته از ورزشکاران، در رابطه با سطح عملکرد و اجراهای ورزشی فرد داشته باشد. علاوه بر این،

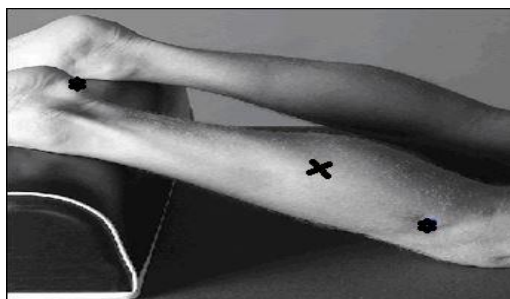
1. Soreness
2. Delayed onset muscle soreness (DOMS).
3. Acute soreness
4. Isometric
5. Concentric
6. Exentric

استفاده از EMG که روشی دقیق و قابل اتکا در تجزیه و تحلیل عملکرد عضلات و مهارت ورزشی است، می‌تواند کمک موثری برای ارزیابی روش‌های درمانی و همچنین روش‌های تمرینی مناسب برای این گروه از ورزشکاران داشته باشد؛ بنابراین، شناخت تاثیر کوفتگی و خستگی حاصل از ورزش بر عملکرد و توان عضلات بسیار مهم به نظر می‌رسد؛ لذا، این پژوهش با هدف بررسی اثر کوفتگی حاصل از تمرینات پلايومتریک بر الگوی فعالیت الکترومیوگرافی عضله دوقلوی ساق پای مردان تمرین‌نکرده پس از انقباض‌های ایزومتریک در دو حرکت دورسی فلکشن و پلاننار فلکشن انجام شد.

روش‌شناسی

جامعه آماری این پژوهش نیمه آزمایشی را تمام دانشجویان پسر غیرورزشکار دانشگاه بیرجند با دامنه سنی ۲۰ تا ۲۵ سال تشکیل دادند. از درون جامعه آماری ۲۰ نفر به صورت هدفمند و براساس معیارهای این پژوهش (عدم فعالیت ورزشی در ۶ ماه اخیر، و داشتن سلامتی جسمی و عدم هرگونه درد، سوختگی و جراحی در اندام تحتانی)، برای نمونه آماری انتخاب شدند، و سپس براساس توده خالص بدنی BMI همگن‌سازی و در دو گروه (۱۰ نفر گروه تجربی)، (۱۰ نفر گروه کنترل)، قرار گرفته‌اند. تمام آزمودنی‌ها پیش از آزمون پرسشنامه سلامت فردی (SF36) و فرم رضایت‌نامه شرکت در آزمون را تکمیل کرده‌اند. سپس برای ایشان نحوه انجام تمرینات شرح داده شد، برای ثبت فعالیت الکتریکی عضله دوقلو در حرکت پلاننار فلکشن از حرکت اسکات با استفاده از هالتر و وزنه استفاده شد، و برای ثبت فعالیت الکتریکی این عضله در حالت دورسی فلکشن از دستگاه چند منظوره بدنسازی (سیمکش) پس از تعیین میزان 1RM هر فرد در دو حرکت استفاده شد. در این پژوهش به منظور بررسی فعالیت الکترومیوگرافی (آمپلی‌تود) از دستگاه (Biovision) ساخت کشور آلمان استفاده شد. این دستگاه ۱۸ کانال دارد و داده‌ها را همزمان نشان می‌دهد. برای ثبت و تجزیه و تحلیل داده‌های EMG از نرم‌افزار DasyLab نسخه ۱۰ و Matlab نسخه R2009a استفاده شد. هنگام اندازه‌گیری برای جلوگیری از ایجاد نویز و اختلال در اندازه‌گیری متغیرها و نیز آماده‌سازی پوست، موهای نواحی منظور شده در روز پیش از آزمون تراشیده می‌شد، و با استفاده از یک پنبه الکلی نقطه مورد نظر هنگام اندازه‌گیری تمیز می‌گردید. معیار رسیدن به سطح مطلوب امپدانس پوست (مقاومت کم پوست) تغییر رنگ پوست به رنگ قرمز روشن بود؛ همچنین، برای کاهش نویز، دیگر دستگاه‌های برقی از دستگاه اندازه‌گیری دور نگه داشته شد و دمای اتاق نیز تا حد امکان ثابت (۲۵ درجه سانتی‌گراد) بود. محل عضلات بررسی شده مطابق دستورالعمل نرم‌افزار SENIAM از سوی پژوهشگر تعیین و علامت‌گذاری شد، و الکترودها در محل مورد نظر (در فاصله یک سوم خط واصل میان سر نازک‌نی و پاشنه) نصب شدند. الکترودها از جنس کلریت-نقره Ag-AgCl دوقطبی فعال و با فاصله مرکز داخلی دو سانتی‌متر در محل‌های تعیین شده قرار گرفتند. جهت الکترودها موازی با جهت فیبرهای عضله مذکور تنظیم شد. الکتروود صفر (زمین) در نزدیکترین برجستگی استخوانی برای عضله نصب شد (۱۲). (تصویر شماره ۱).

برای ثبت فعالیت الکتریکی عضله دوقلو در هر دو گروه از حرکت اسکات با انجام ۷۰ درصد حداکثر قدرت آنها وزنه تعیین شد؛ سپس آزمودنی‌ها به آرامی با تحمل وزنه روی انگشتان و سینه پای خود قرار می‌گرفتند و از لحظه ایجاد تعادل کامل در فرد فعالیت الکتریکی عضله دوقلو وی در حالت انجام حرکت پلانتر فلکشن به مدت ۱۵ ثانیه ثبت شد و این عمل برای هر آزمودنی سه مرتبه انجام شد، و میانگین آنها ثبت می‌شد، پس از هر بار اجرای آزمون، فرد ۳۰ ثانیه در حالت خنثی آناتومیکی استراحت می‌کرد. برای عمل دورسی فلکشن با وزنه-ای برابر با ۷۰ درصد حداکثر نیروی یکبار جابجایی (IRM) با دستگاه چندکاره بدنسازی (سیمکش)، ابتدا در حالتی که پاهای آزمودنی در وضعیت کشیده و کاملاً صاف بود و کنار این دستگاه قرار داشت، حلقه دستگاه چندکاره بدنساز بر سر انگشتان و میچ پای وی قرار می‌گرفت. سپس آزمودنی با فرمان آزمونگر، انگشتان پا را با تحمل وزنه به ساق پای خود نزدیک کرده و این عمل را سه مرتبه و هر مرتبه به مدت ۱۵ ثانیه انجام داد و میانگین برای هر فرد ثبت می‌شد (مرحله پیش‌آزمون). پس از انجام مراحل پیش‌آزمون، گروه کنترل آزمایشگاه را ترک کردند و هیچ گونه تمرین را انجام ندادند، در حالی که گروه آزمایشی، پروتکل تمرین پلايومتریک مطابق پروتکل تمرینی توفاس و همکاران (۲۰۰۸) را اجرا کردند. این پروتکل شامل ۹۶ پرش، از روی مانع ۵۰ سانتی‌متری (هشت ست با ۱۲ تکرار)، و ۹۶ جهش از روی جعبه ۵۰ سانتی‌متری (هشت ست با ۱۲ تکرار) بود؛ که فاصله استراحت میان ست‌ها، ۹۰ ثانیه، و یک فاصله زمانی استراحت سه دقیقه‌ای، میان مجموع پرش‌ها و جهش‌ها؛ در نظر گرفته شد (۱۳). بلافاصله دوباره میزان فعالیت الکتریکی عضلات دوقلو آنها در سه مرتبه انجام و میانگین آنها ثبت شد. ۴۸ ساعت بعد دوباره هر دو گروه به آزمایشگاه آمدند، و مجدداً میزان فعالیت الکتریکی عضلات دوقلو آزمودنی‌ها مشابه قبل انجام شد (پس‌آزمون). سیگنال‌های جمع‌آوری شده با نرم‌افزار **DasyLab**، به منظور پردازش به وسیله الگوریتم **RMS**^۱ وارد نرم‌افزار **Matlab** نسخه **R2009a** شدند. نرم‌الیزه کردن داده‌های اصلی با در نظر گرفتن **RMS** کل سیگنال در ۱۵ ثانیه مورد نظر، و ماکزیمم (**RMS**) از سه مرتبه تکرار حرکتی که انجام شده بود، بدست می‌آمد. مقدار آمپلی‌تود فعالیت عضله نیز، از تقسیم **RMS** کل به **RMS** ماکزیمم محاسبه شد؛ همچنین، به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معنی‌داری $\alpha \leq 0.05$ استفاده شد.



تصویر شماره ۱. محل قرارگیری الکترودها در عضله دوقلو

یافته‌ها

جدول زیر نشان‌دهنده میانگین و انحراف استاندارد ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها است (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها (میانگین \pm انحراف استاندارد)

متغیر	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)	BMI (کیلوگرم بر متر ^۲)
گروه تجربی	۲۴/۲۲ \pm ۱/۰۳	۱۷۷ \pm ۲/۵۴	۶۸ \pm ۹/۰۲	۲۱/۵۸ \pm ۲/۵۱
گروه کنترل	۲۵/۰۱ \pm ۲/۰۷	۱۷۸ \pm ۲/۳۲	۷۴/۴ \pm ۹/۰۴	۲۳/۳۱ \pm ۱/۹۶

جدول شماره ۲، نشان‌دهنده نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر در خصوص فعالیت الکترومایوگرافی عضله دوقلو در سه مرحله قبل از انجام تمرین، بلافاصله پس از انجام تمرین و ۴۸ ساعت پس از انجام تمرین در هر دو گروه تجربی و کنترل در دو حرکت دورسی فلکشن و پلانتر فلکشن می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میان فعالیت الکترومایوگرافی (آمپلی‌تود) عضله دوقلوی ساق پای آزمودنی‌های گروه تجربی در هنگام حرکت دورسی فلکشن میان مراحل مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ همچنین، میان فعالیت آمپلی‌تود عضله دوقلوی ساق پای آزمودنی‌های این گروه در هنگام حرکت پلانتر فلکشن، میان مراحل مختلف مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، این در حالی است که به‌طور کلی میان فعالیت الکترومایوگرافی (آمپلی‌تود) عضله دوقلوی ساق پای آزمودنی‌های گروه کنترل در هر دو حرکت دورسی فلکشن و پلانتر فلکشن بین مراحل مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. علاوه بر این به‌طور کلی از لحاظ تغییرات میان گروهی بین میانگین فعالیت آمپلی‌تود عضله ساق پای آزمودنی‌های دو گروه اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P=0.001$).

جدول ۲. نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر عضله دوقلو

گروه	انقباض	زمان (منبع تغییر)	میانگین و انحراف استاندارد آمپلی‌تود عضله		P Value
			میانگین	انحراف استاندارد	درون‌گروهی - بین‌گروهی
بزرگسالان	برونگرا	پیش از تمرین	۵۰/۹۹ \pm ۱/۵۹		۰/۰۰۳*
		بلافاصله پس از تمرین	۲۵/۱۷ \pm ۱/۰۶		
		۴۸ ساعت پس از تمرین	۴۱/۷۹ \pm ۱/۸۰		
	درون‌گرا	پیش از تمرین	۴۶/۰۵ \pm ۱/۹۵		۰/۰۹۱
		بلافاصله پس از تمرین	۳۸/۵۸ \pm ۱/۴۵		
		۴۸ ساعت پس از تمرین	۳۵/۵۹ \pm ۱/۶۸		
کودکان	برونگرا	پیش از تمرین	۵۷/۱۷ \pm ۲/۳۱		۰/۶۹۹
		بلافاصله پس از تمرین	۶۰/۸۹ \pm ۲/۳۸		
		۴۸ ساعت پس از تمرین	۵۷/۱۷ \pm ۲/۳۳		
	درون‌گرا	پیش از تمرین	۵۰/۹۹ \pm ۱/۵۰		۰/۷۰۷
		بلافاصله پس از تمرین	۳۱/۱۷ \pm ۰/۵۳		
		۴۸ ساعت پس از تمرین	۴۱/۷۹ \pm ۱/۸۹		

* سطح معنی‌داری ($p \leq 0.05$) در نظر گرفته شده است.

با توجه به وجود اختلاف معنی دار در میان گروه تجربی در حرکت دورسی فلکشن، به منظور بررسی جزئیات میان مراحل از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. نتایج این آزمون در جدول ۵، گزارش شده است. با توجه به نتایج گزارش شده، آزمون تعقیبی بونفرونی نشان دهنده این موضوع است که میان فعالیت الکترومایوگرافی (آمپلی تود) آزمودنی های گروه تجربی در هنگام حرکت دورسی فلکشن، در دو مرحله پیش از تمرین و امانده ساز و ۴۸ ساعت پس از انجام تمرین و امانده ساز تفاوت معنی داری وجود دارد $P \leq 0/05$ ؛ به طوری که این اختلاف موجب کاهش معنی داری در فعالیت آمپلی تود این عضله در مراحل پس از تمرین شده است.

جدول ۳. نتایج آزمون بونفرونی درباره فعالیت الکترومایوگرافی در انقباض برونگرا (گروه تجربی)

گروه	انقباض	منبع تغییر	اختلاف میانگین ها	خطای معیار اختلاف ها	سطح معنی داری
برونگرا	۱ ۲ ۳	۱	۵۸/۸۸	۰/۲۶	$p=0/41$
		۲	۸۲/۹۴	۰/۲۰	$p=0/07$
		۳	۵۸/۸۸	۰/۲۶	$p=0/41$
		۱	۶/۸۲*	۰/۲۸	$p=0/001$
		۲	۸۲/۹۴	۰/۲۰	$p=0/07$
		۳	۶/۸۲*	۰/۲۸	$p=0/001$

بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کوفتگی حاصل از تمرینات پلايومتریك بر الگوی فعالیت الکترومایوگرافی (آمپلی تود) عضله دوقلوی ساق پای مردان تمرین نکرده پس از انقباض های ایزومتریک در حرکات دورسی فلکشن و پلاننار فلکشن، انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که به طور کلی خستگی و کوفتگی حاد و تاخیری بر فعالیت الکتریکی عضلات اثر معنی داری دارد. به طوری که فعالیت الکتریکی (آمپلی تود) عضلات بلافاصله پس از تمرین بیشه با حداکثر کاهش مواجه خواهد شد و با گذشت زمان در ۴۸ ساعت پس از تمرین، مجدداً نزدیک به سطوح پایه (قبل تمرین) نزدیک می شود. کوفتگی های عضلانی یکی از شایع ترین و پرتکرارترین آسیب های عضلانی است که با توجه به ادغام نظریه های مختلف می توان شروع آن را بر اساس نیروی زیاد کششی به همراه فعالیت برون گرا مانند تمرینات پلايومتریك معرفی کرد که موجب آسیب بافت عضلانی و بافت همبند می گردد (۱۴). در رابطه با دلیل ایجاد کوفتگی و درد ناشی از آن، چند نظریه از جمله آسیب بافت همبند و عضلانی، التهاب و نظریه برداشت آنزیم با هدف توضیح دادن محرک های درد همراه با کوفتگی عضلانی بیان شده است اما، توافق عمومی میان پژوهشگران وجود دارد که یک نظریه واحد نمی تواند به درستی و کامل ارائه دهنده مکانیزم کوفتگی باشد (۱۵). لذا، محققان توالی واحدی از رویدادها را به منظور توضیح پدیده کوفتگی پیشنهاد کرده اند که با توجه به آن؛ زمانی که نیروی زیاد کششی به همراه فعالیت برون گرا به عضلات اعمال می شود، آسیب بافت عضلانی و بافت شروع می شود. این آسیب ساختاری ایجاد شده، موجب تغییر در نفوذپذیری غشای سلول و انتشار کلسیم به داخل سلول می گردد. سپس، آنزیم های تجزیه کننده پروتئین بر اثر کلسیم فعال شده تجزیه پروتئین های سلولی را آغاز می کنند و تخریب تدریجی

غشای سلول عضلانی موجب انتشار ترکیبات داخلی سلول کراتین کیناز^۱ و هیدروکسی پرولین^۲ به فضای میان بافتی و پلازما می‌شود. این مواد ۶ الی ۱۲ ساعت گلبول‌های سفید را به سمت خود می‌کشاند و ماستوسیت‌ها^۳ و هیستامی‌ها^۴ را در محل آسیب‌دیده فعال می‌کنند (۱۴، ۱۵).

چند ساعت پس از آسیب تعداد گلبول‌های سفید، در محل آسیب‌دیده افزایش می‌یابد و به دلیل عمل بیگانه‌خواری و از میان رفتن سلولی، هیستامین‌ها و پتاسیم در فضای میان‌بافتی تجمع می‌یابند. سرانجام، این رویدادها موجب احساس کوفتگی می‌شوند و درد ممکن است با تحریک بر اثر فشار متأثر از تورم و فشار بر گیرنده‌های درد افزایش یابد (۱۴). تمرینات پلائیومتریک یکی از انواع تمریناتی است که با اعمال نیروی سریع هنگام انجام فعالیت و انجام تمرینات درون‌گرا و برون‌گرا موجب تغییر در گیرنده‌های عضلانی و مفصلی، تغییر در رفلکس کششی، فعالیت فیدفوراردی^۵ و بازخوردی^۶ و ایجاد کوفتگی‌های عضلانی می‌شود (۱۵)؛ این تمرینات، نقش مهمی را در فعال‌شدن گیرنده‌های عضلانی و فعالیت پیش‌بین ایفا می‌کنند و اگر طولانی مدت، سنگین و بدون آمادگی بدنی انجام شود، فرد را با کوفتگی عضلانی و احساس درد مواجه خواهند کرد (۱۵، ۱۶). نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه نشان‌دهنده این است که به‌طور کلی، کوفتگی عضلانی تأخیری از الگوی (U) وارونه پیروی می‌کند، به این ترتیب که ۲۴ ساعت پس از تمرین افزایش پیدا می‌کند و در ۲۴ تا ۴۸ ساعت به اوج خود رسیده و پس از ۵ تا ۷ روز کاهش می‌یابد (۱۶، ۱۷). که در واقع این نیز، در آمپلی‌تود عضله دوقلوی آزمودنی‌های بررسی‌شده در این پژوهش، از این قاعده پیروی کرده است و با نتایج پژوهش‌های مسچی و همکاران (۲۰۱۰)، کوبو و همکاران (۲۰۱۷)، برگر و همکاران (۲۰۱۰)، دلی و همکاران (۲۰۱۷)، گوتیرز و همکاران (۲۰۰۷) همخوان می‌باشد (۱۰، ۱۸-۲۱). این پژوهشگران نیز، در پژوهش‌های خود کاهش فعالیت الکتریکی عضلات را متعاقب ایجاد خستگی و کوفتگی عضلانی گزارش کرده‌اند؛ برای مثال: برگر و همکاران (۲۰۱۰)، در این زمینه با بررسی اثر خستگی اندام پایین‌تنه بر الکترومیوگرافی عضلات حرکت‌دهنده و بدون حرکت در عضلات پا، نشان دادند که پس از خستگی فعالیت الکتریکی عضلات پای حرکت‌دهنده با کاهش قابل توجهی روبرو شده است، در حالی‌که الکترومیوگرافی عضلات پای مخالف که هیچ‌گونه حرکتی در هنگام تست ورزشی نداشتند، با افزایش فعالیت الکتریکی عضلات روبرو می‌شد (۱۹).

نتایج بیش‌تر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه، نشان‌دهنده این است که بلافاصله پس از ایجاد خستگی و کوفتگی در عضلات میزان فعالیت الکتریکی عضلات کاهش پیدا می‌کند و هرچه از زمان ایجاد کوفتگی دورتر شویم، این کاهش کم‌تر می‌شود. از آن جایی که فعالیت الکتریکی عضلانی تا حد قابل توجهی متأثر از متغیرهای فراوانی همچون سرعت حرکت، گشتاورها، و نیروهای وارده بر مفاصل، هم‌انقباضی عضلات، زاویه کشش تارهای عضلانی (۲۲) و اکنش‌های آنزیمی (کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز^۷ و آسپاراتات آمینو ترانسفراز^۸،

1. Creatine Kinase
2. Hydroxyproline
3. Mastocytes
4. Histamine
5. Feedforward
6. Feedback
7. Pre Activation
7. Lactate Dehydrogenase
8. Aspartate Aminotransferase

فعالیت‌های متابولیکی و تغییرات هورمونی سنتز و تجزیه آنها است (۲۳،۱۴). زوبک و سمونیک (۲۰۱۷)، در این رابطه بیان می‌کنند که تمرین مقاومتی و پلايومتریکی به دلیل تأثیر بر فاکتورهای همچون استرس‌های مکانیکی، کنترل عصبی، درخواست‌های متابولیکی و فعالیت‌های هورمونی منجر به تغییر در تار عضلانی وابسته به اندازه و قدرت می‌شود. و مجموع این عوامل، فرد را با گرفتگی عضلانی و کاهش دامنه حرکتی مواجه خواهد کرد (۱۷،۲۴)؛ بنابراین، منطقی به نظر می‌رسد که متعاقب تمرینات پلايومتریکی و به دلیل وجود این تغییرات فعالیت الکتریکی (آمپلی‌تود) عضله دوقلو کاهش پیدا کند.

از دلایل احتمالی دیگر در کاهش فعالیت آمپلی‌تود عضله دوقلو در حرکت دورسی فلکشن نسبت به حرکت پلانتر فلکشن در پس از تمرین، می‌توان به روی هم افتادگی فیلامان‌های اکتین میوزین به دلیل انقباض بیش از حد سارکومر ناشی از تمرینات پلايومتریکی (۲۴)، انقباض ایزومتریک هنگام اجرای حرکت و رابطه طول-تنش، اشاره کرد. در این رابطه طول بهینه هر واحد حرکتی نیروی بیش‌تری تولید می‌کند، لذا عضله، واحدهای حرکتی کم‌تری را برای تولید مقدار نیروی یکسان نسبت به شرایط نامطلوب، زمانی که عضله در طول بهینه قرار ندارد، فعال می‌نماید. کاهش تعداد واحدهای حرکتی فعال، فعالیت الکترومیوگرافی سطحی را کاهش خواهد داد (۲۶،۲۵). عکس این رابطه نیز ممکن است صدق کند. علاوه بر عواملی که ذکر شد، احتمالاً یکی دیگر از دلایل کاهش فعالیت الکتریکی (آمپلی‌تود) عضلانی در مدت بلافاصله پس از تمرین در عضله دوقلو، توان بالای این عضله و ساز و کارها و تئوری‌های عمل احتمالی (آسیب تزریق مجدد- ایسکمی) باشد. بر طبق این تئوری انقباضات عضلانی شدید (در این پژوهش تمرینات پلايومتریکی) ممکن است موجب کاهش موقت جریان خون و در دسترس نبودن اکسیژن و در نتیجه ایسکمی شود (۲۷)، که این مساله نیز اساساً بر فعالیت الکتریکی این عضله موثر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این پژوهش ضمن تبیین تاثیرپذیری فعالیت الکترومیوگرافی (آمپلی‌تود) عضلات در نتیجه خستگی و کوفتگی ناشی از تمرینات پلايومتریکی، چنین به نظر می‌رسد که انجام ورزش‌ها و تمرینات با انقباض‌های مکرر به ویژه انقباض‌های برون‌گرا و درون‌گرا (پلايومتریکی)، بر افرادی که سابقه انجام تمرینات منظم و با برنامه را ندارند، ممکن است بر ساختار عضلانی این گروه افراد تاثیر گذارد و آنها را با کاهش میزان آمپلی‌تود این عضله (دوقلو) مواجه سازد. با توجه به نتایج این پژوهش آمپلی‌تود عضله دوقلو پس از انجام تمرینات پلايومتریکی و وجود خستگی، در مدت انقباض ایزومتریک در هنگام اجرای حرکت دورسی فلکشن نسبت به حرکت پلانتر فلکشن با آمپلی‌تود عضلانی کم‌تری مواجه شد که این مساله می‌تواند به منظور آرایه برنامه‌های تمرینی و درمانی کمک قابل توجهی به پزشکان، فیزیوتراپ‌ها و مربیان ورزشی کند. کاهش آمپلی‌تود در نتیجه کوفتگی عضلانی می‌تواند در رشته‌های ورزشی با انقباض‌های ایزومتریک مانند وزنه‌برداری و دو میدانی هنگام جداشدن از تخته استارت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد؛ لذا، بر این اساس پیشنهاد می‌شود این گروه از ورزشکاران هنگام کوفتگی‌های عضلانی در مدت اجرای حرکات دورسی فلکشن با انقباض‌های

ایزومتریک، جهت پیشگیری از هرگونه آسیب دیدگی های عضلانی، این حرکات را با احتیاط بیش تری انجام دهند.

تشکر و قدردانی

از تمام کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری کرده اند به ویژه دانشجویان دانشگاه بیرجند که در این پژوهش شرکت نموده اند، قدردانی و تشکر می شود.

منابع

1. Buchanan, T.S., Lloyd, D.G., Manal, K., Besier, T.F. (2004). Neuromusculoskeletal modeling: estimation of muscle forces and joint moments and movements from measurements of neural command. *Journal of Applied Biomechanics*. 20(4):367-95.
2. Armstrong, R.B. (1990). Initial events in exercise-induced muscular injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 22(4):429-35.
3. Keller, T.S., Colloca, C.J. (2000). Mechanical force spinal manipulation increases trunk muscle strength assessed by electromyography: a comparative clinical trial. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 23(9):585-95.
4. Wilmore, J.H., Costill, D.L. (2008). *Physiology of Sport and Exercise*, Fourth Edition, Translate into Persian, Moeini, Z., Rahmani Nia, F., Rajabi, H., Aghaalinejad, H., Slami, F. (2005) Tehran, Iran, Mobtakeran Publication.
5. Häkkinen, K., Komi, P.V. (1986). Training-induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 55(2):147-55.
6. Talebian, S., Olyaei, G.H., Bagheri, H., Hadian, M.R., Hemad, N., Akbari, M. (2005). The Effect of Biceps Brachii Muscle Contraction Force in 45 and 90 Degrees of elbow flexion on frequency spectrum of electromyography signal. *Tehran University Medical Journal*. 63(12):1032-8.
7. Eston, R.G., Byrne, C., Twist, C. (2003). Muscle function after exercise-induced muscle damage: Considerations for athletic performance in children and adults. *Journal of Exercise Science and Fitness*. 1(2):85-96.
8. Mohebi, H., Norasteh, A.A., Farahani, H. (2009). Comparison of electromyographic activity of knee extensor and flexor muscles in two different modes of Scott motion. *Journal of Olympic*. 17(2):7-16.
9. Salehi, A., Rahmani-Nia, F., Mirzaei, B. (2013). Comparison the effect of two types of isotonic and isometric resistance training on untrained leg strength and EMG changes in untrained male students. *Sport Physiology*. 18:107-20.
10. Mischi, M., Rabotti, C., Cardinale, M. (2010). Electromyographic assessment of muscle fatigue during isometric vibration training at varying frequencies. Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.
11. Pyne, D.B. (1994). Exercise-induced muscle damage and inflammation: a review. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*. 26(3-4):49-58.
12. Eslami, M., Jalali, H., Hosseini-Nejad, S.E. (2014). The relationship between targeting accuracy and fatigue of the ankle muscle in two postural Pistols. *Journal of Applied Exercise Physiology*. 10(20):107-14.
13. Tofas, T., Jamurtas, A.Z., Fatouros, I., Nikolaidis, M.G., Koutedakis, Y., Sinouris, E.A., Papageorgakopoulou, N., Theocharis, D.A. (2008). Plyometric exercise increases serum indices of muscle damage and collagen breakdown. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 22(2):490-6.
14. Cheung, K., Hume, P., Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine*. 33(2):145-64.
15. Chegini, J., Rahmani-Nia, F., Mirzaei, B. (2013). The effect of warm up on indices of delayed-onset muscle soreness after eccentric concentrations in non-athletes collegiate students. *Sport and Biomotor Sciences*. 5(10):5-12.
16. Rohani, H., Asjodi, F., Safarimosavi, S., Bahmanzadeh, M. (2017). The role of resistance training and whey protein intake on delayed onset muscle soreness indices after eccentric resistance exercise in untrained men. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 12(1):11-20.
17. Zhou, Y., Li, Y., Wang, R. (2011). Evaluation of exercise induced muscle damage by surface electromyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 21(2):356-62.
18. Kubo, K., Ishigaki, T., Ikebukuro, T. (2017). Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo. *Physiological Reports*. 5(15):e13374.
19. Berger, L.L., Regueme, S.C., Forestier, N. (2010). Unilateral lower limb muscle fatigue induces bilateral effects on undisturbed stance and muscle EMG activities. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 20(5):947-52.
20. Deli, C.K., Fatouros, I.G., Paschalis, V., Georgakouli, K., Zalavras, A., Avloniti, A., Koutedakis, Y., Jamurtas, A.Z. (2017). A Comparison of exercise-induced muscle damage following maximal eccentric contractions in men and boys. *Pediatric exercise science*. 29(3):316-25.
21. Gutierrez, G.M., Jackson, N.D., Dorr, K.A., Margiotta, S.E., Kaminski, T.W. (2007) Effect of fatigue on neuromuscular function at the ankle. *Journal of Sport Rehabilitation*. 16(4):295-306.
22. Escamilla, R.F., Fleisig, G.S., Zheng, N., Barrentine, S.W., Wilk, K.E., Andrews, J.R. (1998). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30(4):556-69.
23. Sabeti V., Khoshrafta Yazdi N., Bijeh n., Moghimi S. (2013). Comparison of electromyographic activity of leg muscles in female athletes with and without shin splint, *Physical Treatments*. 3(1):50-5.

24. Zubac, D., Šimunic, B. (2017). Skeletal muscle contraction time and tone decrease after 8 weeks of plyometric training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 31(6):1610-9.
25. Farina, D., Merletti, R., Enoka, R.M. (2014). The extraction of neural strategies from the surface EMG: an update. *Journal of Applied Physiology*. 117(11):1215-30.
26. Isear, J.A. Jr., Erickson, J.C., Worrell, T.W. (1997). EMG analysis of lower extremity muscle recruitment patterns during an unloaded squat. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 29(4):532-9.
27. Burger-Mendonca, M., Bielavsky, M., Barbosa, FC.(2008). Liver overload in Brazilian triathletes after half-ironman competition is related muscle fatigue. *Annals Hepatology*. 7(3):245-8.