Sport and Biomotor Sciences
ورزش و علوم زیست حرکتی

مقایسه سرعت انقباض بالا و پایین فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زای عضله اکستنسور زانو بر اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی در دختران تمرین‌کرده

فرزانه موثقی[۱*]، حیدر صادقی[۲]، سبحان سبحانی[۳]، جواد نعمتی[۴]

۱- دکترای بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲- استاد تمام دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۳- استادیاردانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

٤- استادیار، بخش تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

* نشانی نویسنده مسئول: تهران، بزرگراه شهید حقانی، رازان جنوبی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی همراه: ۰۹۱۷۱۸۷۶۷۳۳

Email: fmovaseghi24@yahoo.com

وصول: ۹۵/۰۸/۰۱ اصلاح: ۹۵/۱۰/۱۴ پذیرش:۹۶/۲/۱۶

چکیده

مقدمه و هدف: مکانیسم فعال‌سازی منحصربه‌فرد انقباض اکسنتریک، عضله را مستعد آسیب می‌سازد. تارهای نوع II نسبت به نوع I جهت آسیب عضلانی مستعدترند، لذا به نظر می‌رسد سرعت در استرس مکانیکی و میزان آسیب اثرگذار باشد. هدف این مطالعه، مقایسه سرعت انقباض بالا و پایین فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا عضله اکستنسور زانو بر اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی در دختران تمرین‌کرده بود.

روش‌شناسی: ١٦ دختر جوان تمرین‌کرده به صورت تصادفی در دو گروه فعالیت اکسنتریک با سرعت بالا (٢٤٠°/s) و پایین (٦٠°/s) قرار گرفتند. آسیب عضلانی در دو گروه سرعت بالا و پایین به ترتیب توسط ۲۰ و ۵ ست ۱۵ تکراری با شدت ۱۵۰ درصد حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک در عضلات اکستنسوری زانوی پای برتر ایجاد گردید. شاخص‌های آسیب عضله قبل، یک و ٤٨ ساعت پس از آسیب و اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی در شدت‌های مختلف (٦٠، ٧٠ و ٨٠ درصد vVO_{2max})، ٢٤ ساعت قبل و ٤٨ ساعت پس از فعالیت اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: شاخص‌های آسیب عضلانی به طور معنی‌داری در هر دو گروه تغییر یافت ($p<0/05$) که نشان‌دهنده ایجاد آسیب عضلانی بود. تفاوت معنی‌داری بین شاخص‌های آسیب عضلانی، اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی در شدت‌های مختلف دویدن بین دو گروه مشاهده نشد.

بحث و نتیجه‌گیری: زمانی که مدت تحت تنش قرار گرفتن عضله اکستنسور زانوی پای برتر مشابه باشد، تفاوت ٤ برابری در سرعت انقباض فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا، به اندازه کافی نمی‌باشد که بتواند تفاوتی در شاخص‌های آسیب عضلانی، اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی ایجاد کند.

واژه‌های کلیدی: فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا، سرعت انقباض، اقتصاد دویدن، پاسخ‌های متابولیکی، دختران جوان تمرین‌کرده.

مقدمه

تمرینات اکسنتریک یا برونگرا (تولید نیرو به صورت فعال در حین طویل شدن تارهای عضله) به علت دارا بودن پتانسیل بالای تولید نیرو و صرف هزینه متابولیکی پایین(۱) به صورت گسترده‌ای در تمرینات ورزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کشش یک سیگنال مکانیکی مهم جهت عملکرد طبیعی بافت و سازگاری عضله بوده(۲) و کشش همراه با اضافه بار در انقباضات اکسنتریک یک محرک مؤثر در بهبود رشد و افزایش هدایت عصبی عضله است(۱). با این وجود زمانی که فعالیت اکسنتریک انجام شده جدید یا غیرمعمول باشد یا با شدت و

مدت زیادی انجام شود، علائم مربوط به آسیب عضلانی یک پیامد معمول است(۳). در عضله آسیب‌دیده پاسخ‌های عصبی در نتیجه درد، بازسازی پیوستگاه عصبی عضلانی، تغییرات در عملکرد حس عمقی و تغییر در ویژگی‌های غشای فیبر عضله می‌تواند دچار اختلال شود(٤). این مسأله در ورزشکاران به خصوص در دوره‌های بیش‌تمرینی، مکرراً اتفاق می‌افتد و بیشترین نگرانی کاهش عملکرد عضله توام با آسیب است که منجر به کاهش عملکرد ورزشی می‌شود(۳). اگرچه مشخص شده است که آسیب عضلانی ناشی از تمرین، عملکرد ورزشی که نیاز به قدرت و توان عضلانی دارد را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما اثرات آن بر شاخص‌های تمرین استقامتی به درستی مشخص نیست(۵). اقتصاد دویدن که به عنوان هزینه انرژی در یک سرعت معین زیربیشینه تعریف می‌شود، یک پیش بینی کننده مهم عملکرد دو استقامتی است(٦). اقتصاد دویدن نسبت به حداکثر اکسیژن مصرفی (Vo_{2max})، شاخص دقیق‌تری جهت ارزیابی عملکرد استقامتی در دونده‌هایی با حداکثر اکسیژن مصرفی مشابه است(۷) و در یک سرعت مشابه دونده‌هایی با اقتصاد دویدن بهتر، اکسیژن مصرفی‌شان پایین‌تر است(۸). تفاوت‌های اقتصاد دویدن در ورزشکاران می‌تواند ناشی از عوامل فیزیولوژیکی (دمای بدن، ضربان قلب، تهویه دقیقه‌ای، لاکتات)، بیومکانیکی (ابعاد آنتروپومتریکی، الگوهای منتخب گیت، عوامل کینماتیکی و کینتیکی)، محیطی و تمرینی باشد(۷). علاوه بر عوامل بیومکانیکی، فیزیولوژیکی، محیطی و تمرینی بهبود عملکرد عصبی-عضلانی نیز از عوامل موثر بر بهبود اقتصاد دویدن است(۹). متعاقب انقباضات اکسنتریک ارادی مکرر، عملکرد عصبی- عضلانی می‌تواند به طور جدی به علت اختلالاتی مانند آسیب اجزای ساختاری سلول، اختلال زوج انقباض- تحریک و افزایش کامپلیانت سری کاهش یابد(۱۰). هم‌چنین نشان داده شده است که کنترل عصبی عضلانی در طی انقباضات زیربیشینه متعاقب تمرینی که منجر به آسیب عضلانی می‌شود دچار اختلال می‌شود(۱۱). لذا به نظر می‌رسد اقتصاد دویدن نیز می‌تواند تحت تأثیر آسیب عضلانی ناشی از تمرین قرار گیرد. نتایج تحقیقات در زمینه اقتصاد دویدن متعاقب تمرین اکسنتریکی که منجر به آسیب عضله می‌شود به علت استفاده از پروتکل‌های متفاوت ایجاد آسیب و روش‌های ارزیابی اقتصاد دویدن متناقض است و نتایج برخی از تحقیقات حاکی از عدم تأثیر آسیب عضلانی ناشی از تمرین بر اقتصاد دویدن(۱۵-۱۲) و برخی نشان‌دهنده کاهش اقتصاد دویدن متعاقب تمرین آسیب‌زا می‌باشند(۲۱-۱٦). برای مثال ساتکونسکین و همکارانش (۲۰۱۵) به بررسی تغییرات کینماتیک دویدن و اقتصاد دویدن در طی دویدن با شدت های مختلف ۱ و ٢٤ ساعت پس از تمرین بالا و پایین رفتن از پله‌ای به ارتفاع ٤۰ سانتی‌متر که منجر به آسیب عضله در ۹ زن بزرگسال فعال شده بود، پرداختند. نتایج نشان داد کوفتگی عضلانی متوسط در عضلات ساق پا پس از گذشت ٢٤ ساعت از تمرین اکسنتریک باعث تغییر معنی‌دار اما ملایم کینماتیک دویدن می‌شود، بدون این‌که اثر مشهودی بر اقتصاد دویدن بگذارد(۱۲). برخلاف آن نتایج تحقیق برنت و همکاران (۲۰۱۰) که به بررسی کوفتگی عضلانی، کراتین کیناز و پارامتر های اقتصاد دویدن (حجم اکسیژن مصرفی، ضربان قلب، تهویه ریوی، ضریب تبادل تنفسی، درک فشار) قبل، بلافاصله بعد و تا ٤ روز متوالی متعاقب تمرین آسیب‌زا (دویدن روی تردمیل با شیب منفی ۱۵ درصد، شدت ۷۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی، مدت ۳۰ دقیقه) در ٦ دونده استقامتی-تفریحی زن ۳۱-۲۱ سال پرداخته بودند، نشان‌دهنده افزایش کراتین کیناز و اکسیژن مصرفی پس از تمرین آسیب‌زا بود و اقتصاد دویدن به طور منفی تحت تأثیر کوفتگی عضلانی تأخیری قرار گرفته بود(۱۸).

به طور کلی آسیب عضلانی اولیه ناشی از یک رویداد مکانیکی است که به شدت با سطح کشش اعمال شده بر فیبرهای در حال انقباض رابطه دارد(۲۲). هم‌چنین طبق نتایج تحقیقات، مشخص شده است که تارهای نوع II نسبت به تارهای نوع I جهت آسیب عضلانی مستعدترند(٢٤-۲۳). لذا به نظر می‌رسد علاوه بر شدت تمرین و تعداد تکرارها، سرعت نیز به عنوان یک عامل مکانیکی بتواند فیبرهای عضلانی که تحت تأثیر فعالیت اکسنتریک قرار می‌گیرد را تحت تأثیر قرار دهد و میزان آسیب و پیامدهای عملکردی ناشی از آن وابسته به سرعت باشد. اما در زمینه تأثیر سرعت انقباض تمرین اکسنتریک و آسیب عضلانی ناشی از آن بر اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی مؤثر برآن تحقیقی صورت نگرفته است. بر این اساس هدف از مطالعه حاضر مقایسه سرعت انقباض بالا و پایین فعالیت اکسنتریک حاد آسیب زا عضله اکستنسور زانو بر اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی در دختران تمرین‌کرده بود.

روش‌شناسی

تحقیق حاضر از نوع مطالعات نیمه‌آزمایشی و به صورت اندازه‌گیری‌های مکرر بین‌گروهی و پیش‌آزمون- پس‌آزمون و پس از کسب مجوز اخلاقی از کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی شیراز (IR.SUMS.REC۱۳۹۵.۱٤٦.) انجام گردید. ١٦ آزمودنی که به طور متوسط هفته‌ای ١٠ ساعت فعالیت ورزشی (دو و میدانی، شنا، آمادگی جسمانی، هندبال و...) داشتند، از بین افراد داوطلب و بر اساس معیارهای ورود (محدوده سنی (٢٤-٢٠ سال)، دختران سالم تمرین‌کرده، قاعدگی منظم) و خروج (وجود هرگونه آسیب عصبی- عضلانی، اسکلتی عضلانی، مفصلی، سابقه آسیب رباط مچ پا، زانو و وجود هرگونه ضایعه نورولوژیک) از مطالعه، انتخاب و به طور تصادفی و مساوی در دو گروه فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا با سرعت انقباض بالا (٢٤٠ درجه بر ثانیه) و پایین (٦٠ درجه بر ثانیه) قرار گرفتند. ویژگی‌های آنتروپومتریکی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها در جدول ١ آمده است. آزمودنی‌ها پس ازآگاهی کامل در مورد اهداف تحقیق، نحوه اجرای آزمون، خطرات احتمالی و تکمیل رضایت‌نامه کتبی بطور داوطلبانه در این تحقیق شرکت کردند. پای برتر (پای ترجیحی جهت شوت کردن توپ و حفظ تعادل پس از هل دادن) تمامی آزمودنی‌های قبل از شروع پروتکل فعالیت تعیین گردید. از آزمودنی‌ها خواسته شد که از اجرای هرگونه تمرین شدید از ٤٨ ساعت قبل و در طول زمان اجرای آزمون خودداری کرده، داروهای ضدالتهابی و مکمل‌های رژیمی مصرف نکرده و هیچ‌گونه درمانی اعم از ماساژ، سرمادرمانی، فشار و... را در طول اجرای مطالعه دریافت نکنند(٢٥).

پروتکل تمرین اکسنتریک جهت ایجاد آسیب عضلانی

جهت ایجاد آسیب عضلانی، فعالیت در گروه انقباض اکسنتریک با سرعت بالا (٢٤٠ درجه بر ثانیه) شامل ٣٠٠ انقباض (٢٠ ست، هر ست ١٥ تکرار) و در گروه سرعت پایین (٦٠ درجه بر ثانیه) شامل ٧٥ انقباض (٥ ست، هر ست ١٥ تکرار) با شدت ١٥٠ درصد حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانوی پای برتر در دامنه حرکتی ١٠ تا ٩٠ درجه فلکشن زانو (اکستنشن کامل معادل صفر درجه) بود. با توجه به مشابه بودن دامنه حرکتی (٨٠ درجه) و متفاوت بودن سرعت حرکت (٢٤٠ در برابر ٦٠ درجه بر ثانیه)، مدت زمان هر انقباض در گروه سرعت بالا ٠/٣٣٣ ثانیه و در گروه سرعت پایین ١/٣٣٣ ثانیه بود، لذا تعداد انقباضات در دو گروه متفاوت (٣٠٠ در برابر ٧٥ انقباض) در نظر گرفته شد تا بدین ترتیب مدت زمان کل تحت تنشن قرار گرفتن عضله (١٠٠ ثانیه) یکسان (١٠٠=٠/٣٣٣×٣٠٠، ١٠٠=١/٣٣٣×٧٥) شود. فعالیت اکسنتریک با استفاده از دستگاه دینامومتر ایزوکینیک بایودکس (Biodex System 4, Shirley, Pro) انجام شد. جهت انجام پروتکل فعالیت اکسنتریک حاد، ابتدا آزمودنی بر روی صندلی ایزوکینتیک می‌نشست و ران و تنه وی جهت اجتناب از هرگونه حرکت اضافی با نوارهای مخصوص ثابت می‌شد. محور چرخش دینامومتر با توجه به موقعیت زانو تنظیم می‌شد. وضعیت آغازین، فلکشن ٩٠ درجه بود که با شروع حرکت فرد اندام تحتانی خود را کامل شل می‌کرد و دستگاه پا را تا ١٠ درجه فلکشن بالا می‌آورد (اکستنشن پاسیو با سرعت ٣٠٠ درجه بر ثانیه)، سپس با شروع حرکت برگشتی در جهت فلکشن، از فرد خواسته می‌شد با نهایت توان بر خلاف جهت حرکت دستگاه اعمال مقاومت کرده و این مقاومت را در طول دامنه تا انتهای حرکت (٩٠ درجه فلکشن) حفظ نماید که معادل انقباض اکسنتریک اکستنسورهای زانو بود. انقباضات هر ست بدون استراحت بود و بین هر ست ١ دقیقه استراحت در نظر گرفته می‌شد(٢٦). فیدبک بینایی از طریق مانیتور دستگاه فراهم می‌شد و در حین انجام فعالیت اکسنتریک آزمودنی‌ها تشویق می‌شدند تا حداکثر نیرو را در هر تکرار اعمال کنند. طبق پروتکل‌های تمرینی در سایر تحقیقات(٢٧، ١٣) و پایلوت انجام شده توسط محققین تحقیق حاضر، از پروتکل فوق الذکر جهت ایجاد آسیب عضلانی استفاده شد.

حداکثر اکسیژن مصرفی

برای سنجش حداکثر اکسیژن مصرفی (Vo_{2max}) از دستگاه تجزیه و تحلیل کننده گازهای تنفسی (گازآنالایزر مدل Cortex-Metalyzer 3B ساخت آلمان) و تردمیل (h/p/cosmos) متصل به دستگاه استفاده شد. در ابتدای هر جلسه کالیبراسون حجم با سرنگ ٣ لیتری و کالیبراسیون گاز به صورت خودکار توسط سیستم با استفاده از هوای محیطی (٢٠/٩٣ درصد اکسیژن و ٠/٠٣ درصد دی اکسید کربن) و گاز مرجع (١٥ درصد اکسیژن و ٥ درصد دی اکسیدکربن) انجام می‌شد. پس از ثبت اطلاعات آزمودنی در سیستم ماسک بر روی دهان و بینی تنظیم می‌شد. کمربند مخصوص ضربان قلب دور سینه آزمودنی‌ها بسته می‌شد و در تمام طول آزمون ضربان قلب ثبت

می‌گردید. پروتکل اندازه‌گیری Vo_{2max} به صورت یک دقیقه استراحت فعال با سرعت ۰/۵ کیلومتر بر ساعت، ۲ دقیقه گرم کردن با سرعت ۵ کیلومتر بر ساعت و پس از آن شروع دویدن با سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت و افزایش سرعت به میزان یک کیلومتر بر ساعت هر یک دقیقه یک بار تا رسیدن به واماندگی بود (۲۸). هم‌چنین دست‌یابی به ضربان قلب بیشینه پیش‌بینی شده بر اساس سن (٪۵± سن-۲۲۰) (۲۹) و نسبت تبادل تنفسی بیش از ۱/۱۵(۳۰) از معیارهای وقوع Vo_{2max} در این تحقیق بودند. پس از پایان آزمون سرعت رسیدن به حداکثر اکسیژن مصرفی برای هر آزمودنی تعیین گردید. سرعت رسیدن به حداکثر اکسیژن مصرفی (vVo_{2max}) سرعتی بود که فرد در آن سرعت به Vo_{2max} می‌رسید و می‌توانست آن سرعت را حداقل به مدت ۱ دقیقه حفظ کند، در غیر این صورت سرعت مرحله قبل به عنوان vVo_{2max} در نظر گرفته می‌شد(۳۱). این سرعت به عنوان حداکثر ظرفیت هوازی هر فرد در نظرگرفته شد.

اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی

اقتصاد دویدن (اکسیژن مصرفی (V_{O2}) حالت یکنواخت) و پاسخ‌های متابولیکی مؤثر بر آن (دی‌اکسید کربن مصرفی، تهویه دقیقه‌ای، نسبت تبادل تنفسی، ضربان قلب) ۲٤ ساعت قبل و ٤۸ ساعت پس از فعالیت اکسنتریک در طی دویدن روی تردمیل در سه مرحله ۳ دقیقه‌ای (۳۲) زیربیشینه با شدت ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درصد سرعت رسیدن به حداکثر اکسیژن مصرفی از قبل تعیین شده هر فرد (vVo_{2max}) و استراحت ۱ دقیقه‌ای بین مراحل تست (۳۳) به صورت راه رفتن با سرعت ۰/۵ کیلومتر بر ساعت مورد ارزیابی قرار گرفت. شدت‌های در نظر گرفته شده زیر ۸۵ درصد Vo_{2max} بود، چرا که جهت ارزیابی معتبر اقتصاد دویدن سرعت‌هایی که معادل ۸۵ درصد Vo_{2max}یا کمتر باشد مورد نیاز است(۷). جهت مشابه بودن دویدن روی تردمیل با موقعیت‌های میدانی خارج آزمایشگاهی شیب تردمیل در مراحل ۳ دقیقه‌ای دویدن زیربیشینه ۱ درصد بود(۳٤). در طی مراحل تست گازهای تنفسی به طور پیوسته و تنفس به تنفس جمع‌آوری و اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی با میانگین گرفتن از ۱ دقیقه آخر هر مرحله به‌دست آمد. ضربان قلب نیز به طور مدوام توسط بستن کمربند حسگر (Polar RS800, Kempele, Finland) دور سینه آزمودنی‌ها ثبت شد. از آن‌جایی که دما می‌توانست بر اقتصاد دویدن تأثیر داشته باشد، دمای آزمایشگاه در طی مراحل تست کنترل و تقریباً ثابت بود و آزمودنی‌ها در هر جلسه تست ارزیابی اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی مؤثر بر آن از کفش ثابتی استفاده‌کردند(۱۳).

شاخص‌های غیرمستقیم آسیب عضلانی

ارزیابی حداکثر نیرو در حین انقباضات ایزومتریک رایج‌ترین روش ارزیابی عملکرد عضله متعاقب تمرین اکسنتریک بوده و به عنوان معتبرترین شاخص آسیب عضله در نظر گرفته شده است(۳۵، ۳). حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانوی پای برتر قبل، یک ساعت بعد (جهت کاهش اثر خستگی(۳٦)) و ٤۸ ساعت پس از فعالیت اکسنتریک حاد اکستنسور زانو، در سه زاویه ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درجه فلکشن زانو اندازه‌گیری شد. برای تعیین حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانوی پای برتر، آزمودنی در حالی که زاویه هیپ ۹۰ درجه بود روی صندلی دینامومتر ایزوکینتیک نشسته و محور چرخش زانو هم‌راستا با محور چرخش بازوی دینامومتر تنظیم می‌شد. سپس از آزمودنی خواسته می‌شد تا ۳ بار حداکثر انقباض ارادی ایزومتریک را در هر زاویه تکرار کند و بیشترین مقدار ثبت می‌شد(۱۳). مدت هر تست ۵ ثانیه (۳۸-۳۷) و مدت استراحت بین تکرارها ۳۰ ثانیه بود(۳۸). جهت افزایش سطح نیروی انقباضی در طی تست از فیدبک بینایی و تشویق کلامی استفاده شد.

روش تجزیه وتحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS16 صورت گرفت. پس از بررسی طبیعی بودن توزیع متغیرهای اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون کولموگروف – اسمیرنووف به منظور مقایسه دو سرعت انقباض (سرعت بالا و پایین)، در سه زمان (قبل، یک ساعت بعد و ٤۸ ساعت بعد از فعالیت اکسنتریک) بر حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانوی پای برتر در سه زاویه ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درجه از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر بین گروهی استفاده شد. در صورت مشاهده تفاوت معنی‌دار به منظور روشن شدن محل دقیق تفاوت از آزمون مقایسه‌های زوجی تی همبسته با کمک اصلاح بونفرونی استفاده شد. به منظور مقایسه دو گروه فعالیت اکسنتریک با سرعت انقباض بالا و پایین قبل و بعد از مداخله تمرینی (۲٤ ساعت قبل و ٤۸ ساعت بعد از فعالیت اکسنتریک) بر اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی، از آزمون آماری t

مستقل با احتساب نمرات افزوده و به منظور مقایسه اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی قبل و بعد از مداخله تمرینی در هر گروه به طور جداگانه از آزمون t وابسته استفاده شد. حداقل سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های آنتروپومتریکی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها در جدول ۱ و تغییرات شاخص‌های آسیب عضلانی در مراحل آزمون در جدول ۲ ارائه شده است.

شاخص‌های غیرمستقیم آسیب عضلانی ناشی از تمرین

– حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانو زاویه۳۰ درجه فلکشن زانو

یک ساعت و ٤٨ ساعت پس از فعالیت اکستریک میانگین حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانو پای برتر در زاویه ۳۰ درجه فلکشن زانو در هر دو گروه فعالیت با سرعت بالا ($F_{2,14}$=٣٦/٣٤ ،p=۰/۰۰۰) و پایین ($F_{2,14}$=٦/٣١ ،p=۰/۰۱۱) به طور معنی‌داری کاهش یافت. تغییرات حداکثر گشتاور اکستنسوری در زاویه ۳۰ درجه قبل، یک ساعت و ٤٨ ساعت پس از فعالیت اکستریک حاد آسیب‌زا تفاوت معنی‌داری را بین دو گروه نشان نداد (p=۰/۲۳٦، $F_{1,7}$=١/٦٨).

– حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانو زاویه ٦۰ درجه فلکشن زانو

یک ساعت و ٤٨ ساعت پس از فعالیت اکستریک میانگین حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانو پای برتر در زاویه ٦۰ درجه فلکشن زانو در هر دو گروه فعالیت با سرعت بالا (p=۰/۰۰٦، $F_{1.18,8.31}$=١٢/٤٦) و سرعت پایین (p=۰/۰۱۲، $F_{2,14}$=٦/١٧) به طور معنی‌داری کاهش یافت. تغییرات حداکثر گشتاور اکستنسوری در زاویه ٦۰ درجه قبل، یک ساعت و ٤٨ ساعت پس از فعالیت اکستریک حاد آسیب‌زا تفاوت معنی‌داری را بین دو گروه نشان نداد (p=۰/٤٧١، $F_{1,7}$=۰/٥٨۰).

– حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانو زاویه ۹۰ درجه فلکشن زانو

یک ساعت و ٤٨ ساعت پس از فعالیت اکستریک میانگین حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانو پای برتر در زاویه ۹۰ درجه فلکشن زانو در هر دو گروه فعالیت با سرعت بالا (p=۰/۰۳۱، $F_{2,14}$=٤/٥١) و سرعت پایین (p=۰/۰۱٤، $F_{2,14}$=٥/٨٤) به طور معنی‌داری کاهش یافت. در گروه فعالیت با سرعت بالا بین یک ساعت پس از فعالیت نسبت به وضعیت قبل فعالیت اختلاف معنی‌دار بود. تغییرات حداکثر گشتاور اکستنسوری در زاویه ۹۰ درجه قبل، یک ساعت و ٤٨ ساعت پس از فعالیت اکستریک حاد آسیب‌زا تفاوت معنی‌داری را بین دو گروه فعالیت با سرعت بالا و پایین نشان نداد (p=۰/٦٨٣، $F_{1,7}$=۰/١٨٢).

–اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی

میانگین و انحراف معیار اقتصاد دویدن (اکسیژن مصرفی نسبی حالت یکنواخت فعالیت زیر بیشینه) و پاسخ‌های متابولیکی (دی اکسید کربن، تهویه دقیقه‌ای، نسبت تبادل تنفسی، ضربان قلب) در سه شدت ٦۰، ۷۰ و ۸۰ درصد سرعت رسیدن به حداکثر اکسیژن مصرفی در دو گروه فعالیت اکستریک حاد آسیب‌زا با سرعت بالا و پایین در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول ۳، نتایج آزمون t مستقل نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین نمرات افزوده (تفاوت نمرات پیش‌آزمون–پس‌آزمون) اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی بین دو گروه وجود نداشت (P>۰/۰۵).

جدول ۱. ویژگی‌های آنتروپومتریکی و فیزیولوژیکی آزمودنی‌ها در دو گروه فعالیت اکستریک حاد آسیب‌زا با سرعت انقباض بالا و پایین

گروه	تعداد	شاخص	ویژگی‌های آزمودنی‌ها (میانگین± انحراف معیار)				
			سن (سال)	قد (سانتی متر)	وزن (کیلوگرم)	شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)
سرعت بالا	۸		۲۲±۱/۶۹	۱۶۳/۷۶±۵/۷۸	۵۳/۷۵±۷/۵	۲۰/۰۷±۳/۰۶	۵۱/۸۷±۸/٤
سرعت	۸		۲۱/۵۰±۱/۱۹	۱۶۱/۶۲±۶/۱۶	۵۵/۶۵±۷/۰۲	۲۱/۲۵±۱/۸٤	۵۱/۸۷±۱۰/۹۹

					پایین	
مقایسه میانگین‌ها	t	۰/۶۸۳	۰/۷۱۵	-۰/۵۲۳	-۰/۹۳٤	۰/۰۰۰
	P	۰/۵۰۶	۰/٤۸۶	۰/۶۰۹	۰/۳۶۶	۱/۰۰۰

جدول ۲. شاخص غیرمستقیم آسیب عضلانی (حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک) در دو گروه فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا با سرعت انقباض بالا و پایین، قبل، یک و ٤۸ ساعت پس از فعالیت

متغیر	حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانو زاویه ۳۰ درجه (نیوتن متر)		حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانو زاویه ۶۰ (نیوتن متر)		حداکثر گشتاور اکستنسوری ایزومتریک عضلات اکستنسور زانو زاویه ۹۰ درجه(نیوتن متر)	
گروه	سرعت	سرعت	سرعت	سرعت	سرعت	سرعت
زمان	۲٤۰°/s	۶۰°/s	۲٤۰°/s	۶۰°/s	۲٤۰°/s	۶۰°/s
قبل از فعالیت	۷۰/۲۵±۱۰/٤۰	۷۳/۶۵±۱۹/۳۵	۱۱٤/۶۰±۱۰/٤۱	۱۱۹/۳۸±۲۹/۰۷	۱٤۰/۲۵±۱۷/۶٤	۱٤۸/۹۵±۲۶/۶٤
یک ساعت بعد	۳۹/۲۸±۱۰/۶۱*	۵۰/۹۰±۱۱/۶۸	۸٤/۶۱±۱۰/۷۲*	۹۸/۹۶±۲۳/۳۹	۱۱۶/۶۹±۲۹/٤۸*	۱۲۱/۷۹±۳۲/۳۰
٤۸ ساعت بعد	۵٤/٤۲±۶/۶٤*#	۵٤/۱۳±۱۵/۶۶	۹۶/۸۷±۱۹/۵۱	۱۰۰/۳۰±۲۳/۹۵	۱۲۰/۷۲±۱۹/۵۸	۱۲۱/۰۹±۱۸/۶٤

* تفاوت معنی‌دار نسبت به قبل از فعالیت اکسنتریک آسیب‌زا

تفاوت معنی‌دار نسبت به یک ساعت بعد از فعالیت اکسنتریک آسیب‌زا

جدول ۳. اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی در سه شدت ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد سرعت رسیدن به حداکثر اکسیژن مصرفی در دو گروه فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا با دو سرعت بالا و پایین

شدت فعالیت	گروه	فعالیت اکسنتریک با سرعت بالا (۲٤۰ درجه بر ثانیه)		مقدار p مقایسه پیش و پس آزمون	فعالیت اکسنتریک با سرعت پایین (۶۰ درجه بر ثانیه)		مقدار p مقایسه پیش و پس آزمون	P نمرات افزوده پیش آزمون- پس آزمون
	متغیر	قبل از فعالیت	٤۸ ساعت بعد		قبل از فعالیت	٤۸ ساعت بعد		
۶۰ درصد vVo_{2max}	اکسیژن مصرفی نسبی (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)	۳۰/۷۵±۵/۱	۲۸/۱۲±۳/۷۲	۰/۰۱*	۲۸/۱۲±۳/۳۱	۲۶/۵۰±۲/۶۷	۰/۰٤۸*	۰/۳٤۱
	دی اکسید کربن (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)	۲۸/۸۲±۵/۶	۲۷/۱۵±٤/۰۲	۰/۱۱۱	۲۵/۵۷±۲/۳۵	۲٤/۵۲±۲/٤۷	۰/۰۲۶*	۰/۵۳۸
	ضربان قلب (ضربان بر دقیقه)	۱۶۱/۰۹±۱۹/۳۸	۱۶۰/۰۲±۱٤/۱	۰/۷۰۲	۱۵۹/۰۲±۱۸/۵	۱۵۰/۶۷±۱۷/۲۷	۰/۰۰۵*	۰/۰۵۱
	تهویه دقیقه‌ای (لیتر بر دقیقه)	۵۱/۱۸±۱۰/۲۸	٤۶/۹۶±۶/۷۷	۰/۰۵۲	٤۵/۷۲±۶/۸	٤۲/۷۲±۵/۰۹	۰/۰۶۰	۰/۵۹۷
	ضریب تبادل تنفسی	۰/۹۳±۰/۰۷۸	۰/۹۶±۰/۰۵۳	۰/۰۸۰	۰/۹۱±۰/۰۶٤	۰/۹۲±۰/۰٤۳	۰/۵۹۶	۰/۳۶۰
۷۰ درصد vVo_{2max}	اکسیژن مصرفی نسبی (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)	۳۵/۶۲±٤/۸۰	۳۳/۳۷±۳/۶۶	۰/۰۲۳*	۳۳/۵۰±٤/۲۰	۳۲/۱۲±٤/۰۱	۰/۰۰۸*	۰/۳۲۶
	دی اکسید کربن (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)	۳۳/۵۱±۵/۵۳	۳۳/۱۵±٤/۷۱	۰/۶۷	۳۱/۵۰±۳/۰۳	۳۱/۱۸±۳/۷۲	۰/۶۰۷	۰/۹۶۱
	ضربان قلب (ضربان بر دقیقه)	۱۷۳/۶٤±۱۲/۹۸	۱۷٤±۱۱/۲۶	۰/۸۵۸	۱۷۱/۰۹±۱۷/۲۶	۱۶۶/۱۵±۱۸/۶	۰/۰۲۱*	۰/۰۵۸
	تهویه دقیقه‌ای (لیتر بر دقیقه)	۶۲/۹۵±۱۵/۳۰	۵۸/۳۵±۱۳	۰/۲۱۱	۵۵/۷۷±۸/۱۱	۵۵/۶۸±۹/۱۲	۰/۹۶٤	۰/۲۵۸
	ضریب تبادل تنفسی	۰/۹۳±۰/۰۹٤	۰/۹۸±۰/۰۵	۰/۰۳*	۰/۹٤±۰/۰۶	۰/۹۷±۰/۰۶	۰/۰۷۷	۰/۶۲۵
۸۰ درصد vVo_{2max}	اکسیژن مصرفی نسبی (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)	۳۹±٤/۸	۳۷/۵±۳/٤۲	۰/۱٤۲	۳۶/۶۲±٤/۷٤	۳۶/۲۵±۳/۰۵	۰/۱۷۳	۰/۹۲٤
	دی اکسید کربن (میلی‌لیتر بر کیلوگرم در دقیقه)	۳۸/۲۶±۵/۷۱	۳۹/۲۶±٤/۶۸	۰/٤۳	۳۶/۹۱±۳/۹۰	۳۷/٤±۳/۷۶	۰/٤۳۷	۰/۷۰۶

ضربان قلب (ضربان بر دقیقه)	۱۸٤/۶۲±۹/۵	۱۸٤/۹۳±۹/٤	۰/۹۱	۱۸۱/۳۳±۱۶/۰۸	۱۷۹/۵±۱۶/۹۹	۰/۰۶٤	۰/٤۶۲
تهویه دقیقه‌ای (لیتر بر دقیقه)	۷٤/۲±۱۸/۸	۷۲/۸±۱۶/۰۳	۰/۵۹٤	۶۸/۳۶±۸/۸	۶۸/۵۵±۱۰/۹۵	۰/۲۵۸	۰/۲۲٤
ضریب تبادل تنفسی	۰/۹۸±۰/۰۹	۱/۰٤±۰/۰۵	*۰/۰٤۳	۰/۹۸±۰/۰۷	۱/۰۲±۰/۰۶	*۰/۰۱۳	۰/۵٤٤

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق حاضر مقایسه سرعت انقباض بالا و پایین (۲۴۰ و ۶۰ درجه بر ثانیه) عضله اکستنسور زانوی پای برتر بر اقتصاد دویدن (اکسیژن مصرفی حالت یکنواخت زیربیشینه) و پاسخ‌های متابولیکی مؤثر بر آن در دختران جوان تمرین‌کرده متعاقب فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا بود. برای تایید ایجاد آسیب عضلانی در عضله چهارسر رانی پای برتر، از شاخص حداکثر گشتاور ایزومتریک اکستنسوری زانوی پای برتر در سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه فلکشن زانو استفاده گردید. نتایج نشان‌دهنده کاهش حداکثر گشتاور ایزومتریک اکستنسوری زانوی پای برتر در سه زوایه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه فلکشن زانو متعاقب یک جلسه فعالیت اکسنتریک حاد با دو سرعت بالا (۲۴۰ درجه بر ثانیه) و پایین (۶۰ درجه بر ثانیه) با شدت ۱۵۰ درصد حداکثر گشتاور ایزومتریک اکستنسوری زانوی پای برتر در دختران جوان تمرین‌کرده بود، که نشان‌دهنده ایجاد آسیب عضلانی در هر دو گروه بود. حداکثر گشتاور ایزومتریک اکستنسوری زانوی پای برتر در هر دو گروه یک ساعت پس از فعالیت کاهش داشت و ۴۸ ساعت پس از فعالیت نسبت به حالت قبل از فعالیت پایین‌تر بود. تفاوت بین دو گروه در کاهش حداکثر گشتاور ایزومتریک اکستنسوری زانوی پای برتر، پس از فعالیت اکسنتریک آسیب‌زا معنی‌دار نبود. کاهش گشتاور پس از فعالیت اکسنتریک آسیب‌زا می‌تواند ناشی از افزایش تجمع متابولیت‌ها (اسید لاکتیک، فسفات غیرارگانیک) باشد که خود منجر به کاهش تحریک‌پذیری فیبر عضلانی و نیروی انقباضی عضله می‌شود(۳۷). هم‌چنین بر اساس تئوری سازگاری درد، درد باعث تعدیل نیروی عضله می‌شود و مکانیسمی جهت محافظت از بافت آسیب دیده از آسیب بیشتر است(۳۹).

نتایج این تحقیق در زمینه مقایسه سرعت انقباض بالا و پایین فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا عضله اکستنسور زانوی پای برتر بر شاخص‌های غیرمستقیم آسیب عضلانی، اقتصاد دویدن (اکسیژن مصرفی حالت یکنواخت زیربیشینه) و پاسخ‌های متابولیکی (دی اکسید کربن، تهویه دقیقه‌ای، نسبت تبادل تنفسی و ضربان قلب)، نشان داد که حداکثر گشتاور ایزومتریک اکستنسوری زانوی پای برتر به عنوان معتبرترین شاخص آسیب عضلانی، اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی متعاقب فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا اکستنسور زانوی پای برتر تحت تأثیر سرعت انقباض فعالیت اکسنتریک قرار نمی‌گیرد و بین دو گروه تفاوت معنی‌داری در اکسیژن مصرفی نسبی، دی اکسید کربن، تهویه دقیقه‌ای، نسبت تبادل تنفسی و ضربان قلب حالت یکنواخت فعالیت زیربیشینه در شدت‌های مختلف دویدن (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد سرعت رسیدن به حداکثر اکسیژن مصرفی) مشاهده نشد. یکی از دلایل عدم تأثیر سرعت انقباض بر شاخص‌های غیرمستقیم میزان آسیب عضله، اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی می‌تواند مربوط به نوع عضله و سطح آمادگی آزمودنی‌های تحقیق حاضر باشد چرا که علائم مربوط به آسیب عضلانی ناشی از تمرین ورزشی به سابقه تمرینی بستگی دارد و پاسخ‌های شدیدتر در گروه‌های عضلانی که کمتر فعال می‌باشند نسبت به گروه‌های عضلانی که به طور منظم تمرین می‌کنند گزارش شده است(۴۱-۴۰) و در بین عضلات اسکلتی، عضله چهارسررانی تقریبا در همه فعالیت‌های فیزیکی مانند دویدن، راه رفتن و شوت کردن درگیر است(۴۲).

نتایج تحقیقات در زمینه اقتصاد دویدن متعاقب تمرین اکسنتریکی که منجر به آسیب عضله می‌شود به علت استفاده از پروتکل‌های متفاوت ایجاد آسیب و روش‌های ارزیابی اقتصاد دویدن متناقض است و نتایج برخی از تحقیقات حاکی از عدم تأثیر آسیب عضلانی ناشی از تمرین بر اقتصاد دویدن (۱۵-۱۲) و برخی نشان‌دهنده کاهش اقتصاد دویدن متعاقب تمرین آسیب‌زا می‌باشند(۲۱-۱۶). در تحقیق حاضر زمانی که اقتصاد دویدن (اکسیژن مصرفی حالت یکنواخت) در شدت‌های ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد vVo_{2max} در دو گروه فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا با سرعت بالا و پایین در پیش و پس‌آزمون مقایسه شد، نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار ($p<0/05$) اکسیژن مصرفی و بهبود اقتصاد دویدن در دو شدت ۶۰ و ۷۰ درصد vVo_{2max} در دو گروه متعاقب فعالیت اکسنتریک آسیب‌زا اکستنسور زانوی پای برتر بود. برخلاف آن اقتصاد دویدن در شدت ۸۰ درصد vVo_{2max} در دو گروه تحت تأثیر آسیب عضلانی قرار نگرفت که با تحقیق ساتکونسکین و همکاران (۲۰۱۵)، واسیلیس و همکاران (۲۰۰۸)، مارکورا و بوسیو (۲۰۰۷)، پاسکالیس و همکاران (۲۰۰۵) همسو می‌باشد. اما با سایر تحقیقات انجام شده مبنی بر کاهش اقتصاد دویدن متعاقب تمرین آسیب‌زا(۲۱-۱۶) ناهمسو بود. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد اقتصاد دویدن متعاقب فعالیت اکسنتریک آسیب‌زا

عضلات اکستنسوری زانوی پای برتر در شدت‌های ٦٠ و ٧٠ درصد vVo_{2max} بهبود می‌یابد که با سایر تحقیقات انجام شده مبنی بر عدم تأثیر تمرین اکسنتریک آسیب‌زا بر اقتصاد دویدن (١٥-١٢) یا کاهش اقتصاد دویدن متعاقب تمرین اکسنتریک آسیب‌زا (٢١-١٦) ناهمسو می‌باشد. هرچند کاهش اکسیژن مصرفی متعاقب تمرین آسیب‌زا در تحقیق ساتکونسکین و همکاران (٢٠١٥)، واسیلیس و همکاران (٢٠٠٨) و مارکورا و بوسیو (٢٠٠٧) نیز مشاهده شده بوده است اما این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است. یکی از دلایل ناهمسو بودن نتیجه تحقیق حاضر مبنی بر کاهش معنی‌دار اکسیژن مصرفی در شدت‌های پایین متعاقب فعالیت اکسنتریک آسیب‌زا می‌تواند ناشی از عضلات درگیر در فعالیت آسیب‌زا باشد چرا که در تحقیق حاضر فعالیت اکسنتریک فقط بر روی عضله چهارسررانی پای برتر انجام شده بود در حالی که در تمام تحقیقات انجام شده هر دو اندام تحتانی در تمرین درگیر بوده‌اند و ممکن است افزایش اکسیژن مصرفی و کاهش اقتصاد دویدن در تحقیقات ناهمسو(٢١-١٦) به علت میزان آسیب بیشتر و مدت زمان بیشتر تمرین اکسنتریک بوده باشد. برای مثال پروتکل ایجاد آسیب عضلانی در تحقیق برنت و همکاران (٢٠١٠)، چن و همکاران (٢٠٠٩)، چن و همکاران (٢٠٠٨)، چن و همکاران (٢٠٠٧) دویدن روی تردمیل با شیب منفی و مدت زمان ٣٠ دقیقه و در تحقیق برت و همکاران (٢٠١٣) و برت و همکاران (٢٠١٢) اجرای ١٠٠ اسکات با شدت ٨٠ درصد وزن بدن بوده است و کل اندام تحتانی درگیر بوده است. در حالی که فلکشن زانو به صورت اکسنتریک با دستگاه ایزوکینتیک به کار رفته در تحقیق حاضر عمدتا منجر به آسیب در عضله چهارسررانی می‌شود و اثر کم یا اثری بر عضلات دوسررانی و به طور عمده گاستروکنمیوس و سولئوس که در دویدن نقش دارند(٤٣، ٢٠) ندارد. برخلاف آن دویدن در شیب منفی تمامی عضلات ذکر شده را تحت تأثیر قرار داده و انتظار می‌رود که اثر بیشتری بر اقتصاد دویدن داشته باشد(١٣). هم‌چنین گروه عضلات چهارسررانی در نیمه اول فاز استقرار بیشترین نقش را در ترمز (شتاب رو به عقب مرکز جرم) و حمایت (شتاب رو به بالا مرکز جرم) دارند در حالی که در نیمه دوم فاز استقرار عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس بیشترین سهم را در پیشروی (شتاب رو به جلو مرکز جرم) و حمایت دارند(٤٤).

این احتمال نیز وجود دارد که کاهش معنی‌دار اکسیژن مصرفی پس از فعالیت آسیب‌زا در شدت‌های ٦٠ و ٧٠ درصد سرعت رسیدن به اکسیژن مصرفی ناشی از بهبود اقتصاد دویدن نباشد و مکانیسمی جبرانی برای کاهش آسیب مجدد تارها باشد و این موضوع را بتوان به فراخوانی نوع تارها نسبت داد. چرا که نشان داده شده است که پس از تمرین اکسنتریک واحدهای حرکتی کند انقباض مسئول تولید درصد بالاتری از نیرو در مقایسه با قبل تمرین می‌باشند (٤٥) و از آن‌جایی که فعالیت عضلانی زیربیشینه عمدتاً به تارهای نوع I وابسته است در حالی که فعالیت بیشینه به تارهای نوع II اتکا دارد، این احتمال وجود دارد که تارهای نوع I که ممکن است به اندازه تارهای نوع II در این نوع فعالیت اکسنتریک آسیب ندیده باشند الگوهای فراخوانی طبیعی و عملکرد متابولیکی‌شان را در طی دویدن زیربیشینه که در ارزیابی اقتصاد دویدن مورد استفاده قرار گرفته، حفظ کرده باشند (١٥). در حالی که در شدت بالاتر دویدن (٨٠ درصد) که تارهای نوع II نقش بیشتری داشته‌اند کاهش اکسیژن مصرفی و بهبود اقتصاد دویدن معنی‌دار نبوده است. هم‌چنین تمرین اکسنتریکی که منجر به آسیب فیبر عضله می‌شود می‌تواند منجر به مهار یا تاخیر پاسخ‌های عصبی-عضلانی در محل آسیب دیده شود (٢٨، ١١). اختلال تنظیم پس سیناپسی استیل کولین (فاکتور اصلی در انتقال سیگنال) نیز در نتیجه بازسازی پیوستگاه عصبی-عضلانی در محل‌های آسیب دیده (٣٥) ممکن است سرعت تخلیه شارژ واحدهای حرکتی را کاهش و منجر به کاهش منطقه‌ای فعالیت عضلانی شود (٤٦) که احتمالا این عوامل در کاهش اکسیژن مصرفی در مراحل زیر بیشینه نقش داشته باشند.

در مجموع یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که که تفاوت ٤ برابری سرعت انقباض (٢٤٠ در برابر ٦٠ درجه بر ثانیه) فعالیت اکسنتریک حاد آسیب‌زا اکستنسور زانوی پای برتر در دختران تمرین‌کرده علیرغم مشابه بودن مدت تحت تنشن قرار گرفتن عضله چهارسر رانی (٣٠٠ انقباض در برابر ٧٥ انقباض) به حد کافی زیاد نمی‌باشد که بتواند تفاوت معنی‌داری را در شاخص‌های آسیب عضلانی، اقتصاد دویدن و پاسخ‌های متابولیکی موثر بر آن بین دو گروه ایجاد کند و افزایش سرعت انقباض این عضله تا ٤ برابر میزان آسیب عضلانی و عملکرد هوازی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. هم‌چنین فعالیت آکسنتریک آسیب‌زایی که به طور خاص بر روی عضله چهارسررانی پای

برتر انجام شود و سایر عضلات درگیر در دویدن را تحت تأثیر قرار ندهد، اقتصاد دویدن را متعاقب آسیب عضلانی به طور منفی تحت تأثیر قرار نمی‌دهد و به نظر می‌رسد این اثر در شدت‌های پایین‌تر دویدن مشهودتر باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله منتج از رساله دکتری می‌باشد که بدین‌وسیله از کلیه کسانی که در انجام این تحقیق به ما یاری رساندند تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

1. Hedayatpour N, Falla D. Physiological and neural adaptations to eccentric exercise mechanisms and considerations for training. Biomed Res Int 2015; Article ID 193741.
2. Goldspink G. Changes in muscle mass and phenotype and the expression of autocrine and systemic growth factors by muscle in response to stretch and overload. J Anat 1999; 194(Pt. 3): 323-34.
3. Byrne C, Twist C, Eston R. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage: theoretical and applied implications. Sports Med 2004; 34(1): 49-69.
4. Hedayatpour N, Falla D. Delayed onset of vastii muscle activity in response to rapid postural perturbations following eccentric exercise: a mechanism that underpins knee pain after eccentric exercise? Br J Sports Med 2014; 48(6): 429-34.
5. Burt D. The effects of exercise-induced muscle damage on endurance performance (dissertation). United Kingdom: Univ. Chester; 2013.
6. Lucia A, Esteve-Lanao J, Olivan J, Gomez-Gallego F, San Juan AF, Santiago C, et al. Physiological characteristics of the best Eritrean runners – exceptional running economy. Appl Physiol Nutr Metab 2006; 31: 530-40.
7. Saunders PHU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. Sports Med 2004; 34(7): 465-85.
8. Thomas DQ, Fernhall B, Granat H. Changes in running economy during a 5-km run in trainedmen and women runners. J Strength Cond Res 1999; 13(2):162–7.
9. Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. J Appl Physiol 1999; 86: 1527-33.
10. Power GA, Dalton BH, Rice CL, Vandervoort AA. Peak power is reduced following lengthening contractions despite a maintenance of shortening velocity. Appl Physiol Nutr Metab 2013; 38(12):1196-205.
11. Semmler JG, Tucker KJ, Allen TJ, Proske U. Eccentric exercise increases EMG amplitude and force fluctuations during submaximal contractions of elbow flexor muscles. J Appl Physiol 2007; 103(3): 979-89.
12. Satkunskienė D, Stasiulis A, Zaičenkovienė K, Sakalauskaitė R, Rauktys D. Effect of Muscle-Damaging Eccentric Exercise on Running Kinematics and Economy for Running at Different Intensities. J Strength Cond Res 2015; 29(9): 2404-11.
13. Vassilis P, Vassilios B, Vassilis M, Athanasios JZ, Vassilis T, Christina K, et al. Isokinetic eccentric exercise of quadriceps femoris does not affect running economy. J Strength Cond Res 2008; 22(4): 1222-7.
14. Marcora SM, Bosio A. Effect of exercise-induced muscle damage on endurance running performance in humans. Scand J Med Sci Sports 2007; 17(6): 662-71.
15. Paschalis V, Koutedakis Y, Baltzopoulos V, Mougios V, Jamurtas AZ, Theoharis V. The effects of muscle damage on running economy in healthy males. Int J Sports Med 2005; 26(10): 827-31.
16. Burt D, Lamb K, Nicholas C, Twist C. Effects of repeated bouts of squatting exercise on sub-maximal endurance running performance. Eur J Appl Physiol 2013; 113(2): 285-93.
17. Burt D, Lamb K, Nicholas C, Twist C. Effects of muscle-damaging exercise on physiological, metabolic, and perceptual responses during two modes of endurance exercise. J Exerc Sci Fit 2012; 10(2): 70-77.
18. Burnett D, Smith K, Smeltzer C, Young K, Burns S. Perceived Muscle Soreness in Recreational Female runner. Int J Exe Sci 2010; 3(3): 108-16.
19. Chen TC, Nosaka K, Lin MJ, Chen HL, Wu CJ. Changes in running economy at different intensities following downhill running. J Sports Sci 2009; 27(11): 1137-44.
20. Chen TC, Nosaka K, Wu CC. Effects of a 30-min running performed daily after downhill running on recovery of muscle function and running economy. J Sci Med Sport 2008; 11(3): 271-9.
21. Chen TC, Nosaka K, Tu JH. Changes in running economy following downhill running. J Sport Sci 2007; 25(1): 55-63.
22. Lieber RL, Friden J. Muscle damage is not a function of muscle force but active muscle strain. J Appl Physiol 1993; 74: 520-26.
23. Felici F, Colace L, Sbriccoli P. Surface EMG modifications after eccentric exercise. J Electromyogr Kinesiol 1997; 7(3): 193-202.
24. MacPherson PC, Schork MA, Faulkner JA. Contraction induced injury to single fiber segments from fast and slow muscles of rats by single stretches. Am J Physiol Cell Physiol 1996; 271: C1438-46.
25. Chapman DW, Newton MJ, McGuigan MR, Nosaka K. Effect of slow-velocity lengthening contractions on muscle damage induced by fast-velocity lengthening contractions. J Strength Cond Res 2011; 25(1): 211-9.
26. White JP, Wilson JM, Austin KG, Greer BK, St John N, Panton LB. Effect of carbohydrate-protein supplement timing on acute exercise-induced muscle damage. J Int Soc Sports Nutrition 2008; 5:5.
27. Hedayatpour N, Falla D, Arendt-Nielsen, Farina D. Sensory and electromyographic mapping during delayed-onset muscle soreness. Med Sci Sports Exerc 2008; 40:326–34.
28. Beltrami FG, Froyd Ch, Mauger AR, Metcalfe AJ, Marino F, Noakes TD. Conventional testing methods produce submaximal values of maximum oxygen consumption. Br J Sports Med 2012; 46(1): 23-9.

29. Ziogas GG, Patras KN, Stergiou N, Georgoulis AD. Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during preseason. J Strength Cond Res 2011; 25(2): 414-9.
30. Harrison KP, Moran M, Hokanson JF, Hendrick JL. Effect of Menstrual Cycle on Perceived Exertion and Running Economy during Treadmill Running. Med Sci Sports Exerc 2010; 45(3): 342.
31. Hanson, NJ, Berg K, Deka P, Meendering JR, Ryan C. Oxygen cost of running barefoot vs. running shod. Int J Sports Med 2011; 32: 401-6.
32. Shaw AJ, Ingham SA, Atkinson G, Folland JP. The Correlation between Running Economy and Maximal Oxygen Uptake: Cross-Sectional and ongitudinal Relationships in Highly Trained Distance Runners, PLoS ONE 2015; 10(4): e0123101.
33. Santos-Concejero J, Granados C, Irazusta J, Bidaurrazaga-Letona I, Zabala-Lili J, Tam N, et al. Differences in ground contact time explain the less efficient running economy in North African runners. Biol Sport 2013; 30(3): 181-7.
34. Jones AM, Doust JH. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of running. J Sport Sci 1996; 14(4), 321-327.
35. Warren GL, Angels CP, Shah SJ, Armstrong RB. Uncoupling of in vivo torque production from EMG in mouse muscles injured by eccentric contractions. J Physiol 1999; 515: 609–19.
36. Hicks KM, Onambélé GL, Winwood K, Morse CI. Muscle damage following maximal eccentric knee extensions in males and females. PLoS ONE 2016; 11(3): e0150848.
37. Hedayatpour N, Arendt-Nielsen L, Falla D. Facilitation of quadriceps activation is impaired following eccentric exercise. Scand J Med Sci Sports 2014; 24(2): 355-62.
38. Rezaei M, Ebrahimi- Takamjani I, Jamshidi AA, Vas-saghi-Gharamaleki B, Hedayatpour N, Havaei N. Effect of eccentric exercise-induced muscle damage on electromyographyic activity of quadriceps in untrained healthy females. Med J Islam Repub Iran 2014; 28(1): 154.
39. Lund JP, Donga R, Widmer CG, Stohler CS. The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. Can J Physiol Pharmacol 1991; 69: 683-94.
40. Chen TC, Lin KY, Chen HL, Lin MJ, Nosaka K. Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles. Eur J Appl Physiol 2011; 111(2):211-23.
41. Jamurtas AZ, Theocharis V, Tofas T, Tsiokanos A, Yfanti C, Paschalis V, et al. Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. Eur J Appl Physiol 2005;95(2-3):179-85.
42. Razeghi M, Nouri H. Comparison of the effects of massage and cryotherapy on the knee extensor muscles fatigue and isokinetic parameters in soccer players. JRSR 2015; 2: 1-7.
43. Dutto, DJ and Braun, WA. DOMS-associated changes in ankle and knee joint dynamics during running. Med Sci Sports Exerc 2004; 36:560-66.
44. Hamner SR, Seth A, Delp SL.Muscle contributions to propulsion and support during running. J Biomech 2010; 43(14):2709-16.
45. Hight RE, Beck TW, Bemben DA, Black CD. Adaptations in Motor-Unit Recruitment and Antagonist Co-Activation: Role in the Repeated-Bout Effect. 2016; Norman: University of Oklahoma.
46. Hedayatpour N, Falla D. Non-uniform muscle adaptations to eccentric exercise and the implications for training and sport. J Electromyogr Kinesiol 2012; 22: 329-33.

Comparison of slow versus fast contraction velocity of acute eccentric exercise induced knee extensor muscle damage on running economy and metabolic responses in trained females

Movaseghi F[1], Sadeghi H[2], Sobhani S[3], Nemati J[4]*

1. PhD in Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sports Science, Kharazmi University, Tehran, Iran
2. Full Professor, Faculty of Physical Education and Sports Science, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Department of Physiotherapy, School of Rehabilitation Sciences, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
4. Assistant Professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Educational and Psychology, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 2016/10/22 **Revised:** 2017/01/02 **Accepted:** 2017/05/06

∗**Correspondence:**
Email:
fmovaseghi24@yahoo.com

Abstract

Introduction: Unique activation mechanism of eccentric contraction predisposes the muscle to damage. Type II muscle fibers are more susceptible than type I to muscle damage, so it seems that velocity affects mechanical stress and thus muscle damage. The purpose of this study was to compare slow versus fast contraction velocity of acute eccentric exercise induced knee extensor muscle damage on running economy and metabolic responses in trained females.

Methods: Sixteen trained young females were randomly assigned into two groups: high velocity contraction eccentric exercise (240°.s-1) and low velocity (60°.s-1). In order to induce muscle damage, subjects in high and low velocity groups performed 20 and 5 sets of 15 eccentric contractions respectively, with a load equal to 150٪ of the maximal voluntary isometric torque (MVC) of knee extensors with dominant limb. Muscle damage indicators (MVC) were recorded before, 1h and 48 h after eccentric exercise and running economy (submaximal Steady-state vo2) and metabolic responses were recorded at 60, 70, and 80% of pre-determined vVO2max, 24 h before and 48 h after eccentric exercise.

Results: Muscle damage indicators changed significantly in both groups ($p<0.05$) in a way suggestive of muscle damage. There were no significant differences for muscle damage indicators, running economy and metabolic responses at three different intensities of running between groups.

Conclusions: Four-fold difference in contraction velocity of eccentric exercise induced muscle damage is not sufficient to induce a difference in muscle damage, running economy and metabolic responses when the tension duration is equalized.

Key Words: Acute eccentric exercise induced muscle damage, Contraction velocity, Running economy, Metabolic responses, Trained young females.