فیزیولوژی ورزشی دوره ۱۲، شماره ۴۷، پاییز ۱۳۹۹. صص ۳۶-۱۷

مقاله پژوهشی

بررسی خستگی‌پذیری مرتبط با تولید نیرو در گروه های سنی مختلف دختران ژیمناست و تمرین‌نکرده برمبنای مراحل رشدی تانر

آی‌ناز پورمطهری[1]، ساناز دواریان[2]، رعنا فیاض میلانی[3]

۱. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. استادیار فیزیوتراپی، دانشگاه علوم پزشکی ایران
۳. استادیار فیزیولوژی ورزشی، گروه علوم زیستی در ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱

چکیده

این مطالعهٔ مقطعی با هدف بررسی خستگی‌پذیری مرتبط با تولید نیرو در دختران ژیمناست و تمرین‌نکرده برمبنای مراحل تانر انجام شد. بدین‌منظور، ۶۰ نفر از دختران ژیمناست و تمرین‌نکرده با توجه به مقیاس بالیدگی تانر به سه زیرگروه کودک، نوجوان و بزرگسال تقسیم شدند. آزمودنی‌ها در سه جلسهٔ جداگانه به‌ترتیب برای آشناسازی و اندازه‌گیری‌های اولیه، آزمون بیشینه و آزمون خستگی به آزمایشگاه مراجعه کردند. در آزمون بیشینه برای تعیین زاویهٔ مطلوب تولید نیرو، هر آزمودنی سه انقباض ایزومتریک بیشینهٔ بازکننده‌های زانو را در پنج زاویهٔ متفاوت اجرا کرد. آزمون خستگی شامل تکرار انقباض‌های بیشینهٔ پنج‌ثانیه‌ای با پنج ثانیه استراحت تا رسیدن به ۶۰ درصد گشتاور اولیه بود. فعالیت الکتریکی عضلهٔ راست رانی با استفاده از دستگاه الکترومایوگرافی به‌منظور اندازه‌گیری میانگین توان فرکانس (MPF) ثبت شد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از آزمون تحلیل واریانس دوطرفه استفاده شد. تعداد تکرار انقباض‌ها تا رسیدن به خستگی در کودکان تفاوت معناداری با نوجوانان و جوانان داشت ($P < 0.05$)، که این تفاوت (کودکان با نوجوانان و جوانان) در گروه ژیمناست معنادار نبود ($P > 0.05$)؛ بااین‌حال، نرمال‌سازی میزان افت گشتاور براساس نیروی تولیدی اولیه (اوج گشتاور)، الگوی مشابهی را در کودکان و جوانان نشان‌داد که می‌تواند گویای اهمیت بیشتر اوج گشتاور، نسبت سایر سازوکارهای مطرح‌شده، در توضیح خستگی‌پذیری بین کودکان و جوانان باشد. به‌نظر می‌رسد تمرینات ژیمناستیک در سنین کودکی می‌تواند الگوی مقاومت به خستگی را به الگوی جوانان نزدیک کند.

واژگان کلیدی: الکترومایوگرافی، کودک نابالغ، زاویهٔ مطلوب تولید نیرو، میانگین توان فرکانس.

1. Email: ai.pourmotahari@mail.sbu.ac.ir
2. Email: davarian.s@gmail.com
3. Email: r_milani@sbu.ac.ir

مقدمه

تولید نیرو و توان در طول انقباض‌های ممتد و مکرر به‌وسیلهٔ خستگی که یکی از عوامل اصلی تعیین‌کنندهٔ عملکرد است، محدود می‌شود (۱). خستگی را اغلب به‌صورت کاهش ناشی از فعالیت ورزشی در توانایی عضلهٔ اسکلتی برای تولید نیرو و توان، صرف‌نظر از اتمام کار تعریف می‌کنند (۲). مقاومت به خستگی در دوران رشد تغییر می‌کند (۳) و کاهش تدریجی در توانایی حفظ نیرو و توان در طول فعالیت‌های ورزشی با شدت و تکرار زیاد از کودکی به نوجوانی به‌وجود می‌آید. به‌نظر می‌رسد کودکان نابالغ در طول انقباض‌های بیشینهٔ ایزومتریک (۴)، ایزوکینتیک (۵) و حتی در کارهای پویا کمتر از بزرگسالان خسته می‌شوند (۶). در یک مطالعه به‌تازگی گزارش شده است که کودکان نابالغ به روشی مشابه با ورزشکاران استقامتیِ بزرگسال در برابر خستگی مقاومت می‌کنند. مقایسهٔ کودکان نابالغ با بزرگسالان تمرین‌نکرده و ورزشکاران استقامتی نشان داد با اینکه پسران نابالغ تمرین تخصصی نداشتند، بیشتر با ورزشکاران استقامتی مقایسه‌شدنی بودند (۷).

تفاوت‌های خستگی‌پذیری کودکان و بزرگسالان به دو دستهٔ کلی عوامل محیطی مانند تجمع مواد متابولیکی، نیم‌رخ سوخت‌وسازی، فنوتیپ و نوع توزیع تار عضلانی و عوامل عصبی شامل تفاوت در فعال‌سازی عضلانی نسبت داده می‌شود (۸)؛ بااین‌حال، سهم نسبی عوامل محیطی و مرکزی در توسعهٔ خستگی تولیدشده به‌وسیله انقباض‌های بیشینهٔ مکرر در کودکان، هنوز موضوع بحث اغلب مطالعات در این زمینه است (۷-۹). سطح فعال‌سازی ارادی[1] که یکی از پارامترهای مهم تعیین خستگی مرکزی است، نه‌تنها بین آزمون‌های خستگی متفاوت، بلکه در گروه‌های عضلانی مختلف نیز می‌تواند متفاوت باشد (۱۰، ۱). اثر متقابل سازوکارهای محیطی و مرکزی در ایجاد خستگی با توجه به افزایش سن روشن نیست؛ بااین‌حال، پیشنهاد شده است که خستگی مرکزی در کودکان سازوکاری محافظتی است که به کنترل خستگی محیطی و جلوگیری از هرگونه اختلال گسترده در همئوستاز، آسیب عضلانی و بیولوژیک منجر می‌شود (۱۱).

در مطالعات متعددی از الکترومایوگرافی سطحی برای مطالعهٔ سیستم عصبی-عضلانی در طول آزمون‌های خستگی استفاده شده است. از میان شاخص‌های متفاوت به‌نظر می‌رسد میانگین توان فرکانس[2] (MPF) به تغییرات یونی و متابولیکی ایجادشده در طول انقباض‌های بیشینهٔ ممتد حساس هستند. این شاخص که تحت‌تأثیر نرخ شلیکِ[3] نرون‌های حرکتی و همچنین ماهیت و فرکانس پتانسیل عمل واحدهای حرکتی قرار می‌گیرد، می‌تواند در بزرگسالان شاهد غیرمستقیمی از توزیع

1. Voluntary Activation
2. Mean Power Frequency
3. Firing Rate

نوع تارهای عضلانی یا میزان استفادهٔ نسبی از واحدهای حرکتی نوع II باشد (۱۲، ۴). بدیهی است در طول خستگی برای افرادی که درصد بیشتری از تارهای نوع II دارند، کاهش بیشتری در میزان MPF گزارش می‌شود که احتمالاً به تجمع بیشتر اسیدلاکتیک ناشی از استفادهٔ بیشتر از واحدهای حرکتی نوع II مربوط است (۱۳).

مطالعات در زمینهٔ مقاومت به خستگی نشان داده‌اند که خستگی‌پذیری تحت‌تاثیر دو عامل جنسیت و بلوغ بیولوژیک نیز قرار می‌گیرد. در بررسی تفاوت‌های جنسیتی، به‌نظر می‌رسد در اجرای فعالیت‌های گوناگون، زنان نسبت به مردان مقاومت بیشتری در برابر خستگی دارند. در این زمینه اوین[1] و همکاران (۱۴) با مقایسهٔ ۳۲ زن و مرد ۱۹ تا ۴۴ ساله به بررسی اثر جنسیت بر میزان خستگی‌پذیری پس از یک آزمون ایزومتریک برای دو عضلهٔ متفاوت پرداختند. آزمون خستگی شامل حفظ نیرویی معادل ۵۰ درصد حداکثر انقباض ارادی ایزومتریک برای تاکردن آرنج و دورسی‌فلکشن تا رسیدن به واماندگی بود. براساس نتایج، مقاومت به خستگی بیشتری در زنان در تاکردن آرنج مشاهده شد که در دورسی‌فلکشن مشاهده نشد. اوین و همکاران گزارش کردند که اثر جنسیت در مقاومت به خستگی با توجه به گروه‌های عضلانی مختلف می‌تواند متفاوت باشد. سایر عواملی که برای تفاوت‌های جنسیتی در خستگی‌پذیری پیشنهاد شده‌اند، استفاده از سوبسترا، ریخت‌شناسی عضلات و تفاوت‌های هورمونی هستند. این تغییرات که به‌دنبال بلوغ بیولوژیک روی می‌دهند، می‌توانند به تفاوت در قدرت، ریکاوری و سایر ظرفیت‌های عملکردی منجر شوند و سپس، الگوی مقاومت به خستگی را تغییر دهند؛ بااین‌حال، گزارش‌های بسیار محدودی در زمینهٔ اثر بلوغ بیولوژیک بر خستگی‌پذیری دختران از کودکی تا بزرگسالی وجود دارد. دیپلا[2] و همکاران (۱۵) به بررسی الگوی بلوغ مقاومت به خستگی در مردان و زنان از کودکی تا بزرگسالی پرداختند. در این مطالعه، ۶۰ زن و مرد در سه ردهٔ سنی متفاوت با میانگین سنی ۱۰، ۱۴ و ۲۴ سال، یک فعالیت ورزشی بیشینهٔ تناوبیِ تاکننده‌ها و بازکننده‌های زانو را اجرا کردند. مقاومت به خستگی دختران و پسران بیشتر از زنان و مردان گزارش شد. این تفاوت بین پسران نوجوان و مردان نیز معنادار بود، اما درمورد دختران، تفاوت معناداری بین نوجوانان با زنان گزارش نشد. به‌علاوه، خستگی‌پذیری دختران و پسران و نیز نوجوانان پسر و دختر تفاوت معناداری نداشت. چنین به‌نظر می‌رسد که بلوغ بیولوژیک در دختران و پسران اثر متفاوتی بر مقاومت به خستگی ایجاد می‌کند (۱۵). براساس دانش ما، تاکنون مطالعه‌ای که در آن به‌طور جداگانه به بررسی اثر بلوغ بر خستگی‌پذیری دختران پرداخته شده باشد، انجام نشده است. محدودیت‌های قبلی مشارکت در فعالیت‌های متفاوت با توجه به تفاوت‌های جنسیتی در قدرت، استقامت و خستگی‌پذیری مدت‌هاست

1. Avin
2. Dipla

که از بین رفته است؛ بنابراین، درک این تفاوت‌ها در مقاومت به خستگی برای طراحی برنامه‌های تمرینی و ازبین‌رفتن تبعیض‌های جنسیتی برای مشاغل و کارهایی که نیازمند کار بدنی شدید هستند، بسیار اهمیت دارد (۱۶).

عامل دیگری که این موضوع را بیشتر به چالش می‌کشد، تأثیر سابقهٔ تمرینی افراد بر میزان خستگی‌پذیری است. ادبیات علمی موجود در زمینهٔ تمرین‌پذیری مؤلفه‌های زیربنایی مربوط به تولید نیرو و خستگی‌پذیری در کودکان به‌ویژه در دختران، اندک است. در چندین مطالعه به بررسی اثر تمرینات گوناگون ورزشی بر مؤلفه‌های عصبی-عضلانی تولید نیرو پرداخته شده است که در این میان در تعداد کمی از مطالعات تأثیر تمرین یا سابقهٔ تمرینی بر میزان خستگی‌پذیری آزمودنی‌ها بررسی شده است (۱۸، ۱۷). هالین[1] و همکاران (۱۹) دو گروه از پسران ده‌سالهٔ ژیمناست و تمرین نکرده را در یک آزمون بیشینه و یک آزمون خستگی باهم مقایسه کردند. آزمون بیشینه شامل اجرای سه انقباض ارادی بیشینهٔ پنج ثانیه‌ای با دو دقیقه استراحت بین هر انقباض بود و آزمون خستگی شامل اجرای یک انقباض بیشینهٔ ممتد ۲۵ ثانیه‌ای بود. نیروی بیشینه،میزان فعال‌سازی ارادی و MPF اندازه‌گیری و ثبت شد. براساس نتایج، نیروی بیشینه به‌طور چشمگیری در پسران ژیمناست نسبت به گروه تمرین‌نکرده بیشتر بود. به‌علاوه، ارتباط معناداری بین نیروی بیشینه و MPF مشاهده شد که نشان‌دهندهٔ فعال‌سازی بیشتر واحدهای حرکتی در گروه ژیمناست بود. همچنین، شیب تندتر کاهش MPF در طول آزمون خستگی در پسران ژیمناست می‌تواند خستگی‌پذیری بیشتر ناشی از فراخوانی درصد بیشتری از تارهای نوع II را نشان دهد. براساس دانش ما، مشابه چنین مطالعاتی در دختران وجود ندارد. ازطرفی، با توجه به تفاوت‌های فیزیولوژیک دختران و پسران در مواجهه با فرایند بلوغ و دورهٔ کوتاه پیش از بلوغ در دختران، انتظار می‌رود در بررسی خستگی‌پذیری و اثر سابقهٔ تمرینی پیش از بلوغ بر آن، پاسخ متفاوتی مشاهده شود. ادبیات علمی موجود در این زمینه اندک است.

با توجه به رشد روزافزون تعداد کودکان شرکت‌کننده در رقابت‌های ورزشی و سهمی که خستگی عصبی-عضلانی در عملکردهای ورزشی ایفا می‌کند، بررسی الگوی خستگی‌پذیری در کودکان اهمیت دارد. این موضوع به‌ویژه در دختران به‌دلیل داشتن دورهٔ کوتاه بلوغ جنسی و همچنین کمبود مطالعات موجود در این جنس اهمیت دوچندان می‌یابد. ازطرفی، نقش تمرینات ورزشی پیش از بلوغ بر عملکردهای ورزشی یا به‌طور ویژه بر میزان خستگی‌پذیری در دوران بزرگسالی، موضوعی است که در پژوهش‌های انسانی کمتر به آن توجه شده است. در بین تمرینات متفاوت ورزشی، به‌نظر می‌رسد کودکان و به‌ویژه دختران در سنین کم گرایش بیشتری به ژیمناستیک دارند. کم‌بودن سن شروع ژیمناستیک و تأثیری که انتظار می‌رود بر سیستم عصبی-عضلانی بگذارد، از مهم‌ترین دلایل انتخاب

1. Halin

این رشتهٔ ورزشی در این مطالعه است؛ براین‌اساس، در مطالعهٔ حاضر به بررسی مقطعی اثر بالیدگی بر الگوی خستگی‌پذیری دختران و نقش تمرینات تخصصی ژیمناستیک در دورهٔ پیش از بلوغ بر مقاومت به خستگی در بزرگسالی، پرداخته شده است.

روش پژوهش

شصت نفر از دختران ژیمناست و تمرین‌نکرده با توجه به مقیاس بالیدگی تانر به سه گروه کودک، نوجوان و بزرگسال (۱۰ نفر در هر گروه) تقسیم شدند. همگن‌سازی گروه‌های جفتی براساس سن و وزن بدن انجام شد. گروه کودک در مراحل I و II تانر با میانگین سنی نُه سال و میانگین وزن ۲۹ کیلوگرم قرار گرفتند. گروه نوجوان نیز در مرحلهٔ III تانر با میانگین سنی ۱۳ سال و میانگن وزنی ۵۰ کیلوگرم قرار گرفتند. گروه بزرگسال از بین افراد بالغ انتخاب شدند که داری میانگین سنی ۱۸ سال و میانگین وزنی ۵۵ کیلوگرم بودند. دختران تمرین‌نکرده کودکانی بودند که هیچ‌گونه سابقهٔ شرکت منظم در کلاس‌های ورزشی را نداشتند و فعالیت جسمانی آن‌ها در سطح تربیت‌بدنی مدارس بود. گروه ژیمناست را دخترانی تشکیل دادند که حداقل سه سال سابقهٔ شرکت منظم در تمرینات ژیمناستیک (سه جلسه در هفته) داشتند.

هر آزمودنی سه جلسه به فاصلهٔ سه هفته به آزمایشگاه مراجعه کرد. در جلسهٔ اول پس از انجام اندازه‌گیری‌های اولیه شامل وزن، قد، ترکیب بدن و ارزیابی وضعیت بلوغ، هر آزمودنی سه انقباض ایزومتریک زیربیشینه و بیشینه را به‌طور تصادفی در سه زاویهٔ متفاوت به‌منظور آشناسازی با دستگاه دینامومتر بایودکس[1] اجرا کرد. قبل از اجرای انقباض‌های بیشینه، از آزمودنی‌ها خواسته شد حداکثر قدرت خود را به‌مدت پنج ثانیه نگه دارند. در جلسهٔ دوم، ابتدا آزمودنی‌ها پنج دقیقه گرم‌کردن عمومی با دوچرخه و سپس، ۱۰ انقباض ایزومتریک زیربیشینه (کمتر از ۵۰ درصد) را به‌عنوان گرم‌کردن اختصاصی اجرا کردند. پس از آن، الکترودهای مخصوص دستگاه الکترومایوگرافی[2] (EMG) برای ثبت فعالیت الکتریکی عضله، طبق دستورالعمل روی عضلهٔ راست رانی نصب شد و به‌دنبال آن، آزمون بیشینه که شامل سه انقباض ایزومتریک بیشینهٔ ارادی[3] (MVC) و بازکردن زانو در پنج زاویه (۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درجه) بود، با انتخاب تصادفی زوایا، توسط آزمودنی‌ها اجرا شد؛ به‌این‌صورت‌که در هر زاویه سه انقباض ایزومتریک بیشینهٔ پنج‌ثانیه‌ای با دو دقیقه استراحت بین هر انقباض و پنج دقیقه استراحت بین هر زاویه اجرا شد. اجرای آزمون بیشینه در زوایای متفاوت به‌منظور پیداکردن بهترین

1. Isokinetic Dynamometer
2. Electromyography
3. Maximum Voluntary Contraction

زاویهٔ تولید نیرو برای اجرای آزمون خستگی در آن زاویهٔ مطلوب، صورت گرفت. در جلسهٔ سوم پس از گرم‌کردن عمومی و اختصاصی و نصب الکترودهای EMG، ابتدا سه انقباض ایزومتریک بیشینهٔ بازکردن زانو برای تعیین شاخص خستگی (محاسبهٔ ۶۰ درصد حداکثر نیرو) در زاویهٔ ۸۰ (زاویهٔ مطلوب تولید نیرو) اجرا شد. سپس، شرکت‌کنندگان انقباض‌های بیشینهٔ پنج‌ثانیه‌ای را به‌وسیلهٔ بازکننده‌های زانو، با پنج ثانیه استراحت بین هر انقباض تا رسیدن به ۶۰ درصد حداکثر گشتاور تکرار کردند.

قد ایستاده با استفاده از قدسنج (مدل سکا[1] ۷۶۷ ساخت کشور آلمان) و وزن، درصد چربی و شاخص تودهٔ بدنی به‌وسیلهٔ دستگاه اندازه‌گیری ترکیب بدن اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری ترکیب بدنی به‌طور جداگانه با استفاده از کالیپر و به روش دونقطه‌ای (سه‌سر بازویی، تحت کتفی) که در کودکان دارای اعتبار است (۲۰) نیز به‌منظور اطمینان از مناسب‌بودن دستگاه ترکیب بدن برای کودکان، در همهٔ گروه‌ها انجام شد و با استفاده از دستورالعمل و فرمول محاسبه شد. ضخامت چین پوستی و محیط ران راست آزمودنی‌ها در حجیم‌ترین بخش آن، برای محاسبهٔ سطح مقطع عضلانی به‌وسیلهٔ کالیپر و با استفاده از فرمول زیر به‌دست آمد. در این فرمول، C محیط ران و ƒ ضخامت چین پوستی در بخش قدامی، خلفی، داخلی و جانبی ران است.

$$CSA= \pi [(C/(۴ /f\sum)-(\pi ۲]^{۲}$$

برای بررسی وضعیت بلوغ آزمودنی‌ها نیز ابتدا مراحل تانر به‌صورت تصویری به آزمودنی‌ها نشان داده شد و توضیحات تکمیلی مربوط به هر مرحله و شرایط آن به‌طور کامل شرح داده شد. آزمودنی‌ها در طرح هرگونه سؤال در این زمینه آزاد بودند و زمان کافی دراختیار داشتند. سپس، براساس تصاویر و توضیحات ارائه‌شده، نوجوانان و بزرگسالان وضعیت بالیدگی خود را گزارش کردند. وضعیت بلوغ کودکان نیز توسط والدین آن‌ها گزارش و ثبت شد (۲۱)؛ براین‌اساس، تمام کودکان شرکت‌کننده در این پژوهش در مراحل I و II از مقیاس بالیدگی تانر، نوجوانان در مرحلهٔ III و بزرگسالان در وضعیت بلوغ کامل قرار داشتند. داده‌های توصیفی آزمودنی‌ها در جدول شمارهٔ یک ارائه شده است.

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

Table 1- Descriptive Data of Subjects (Mean ±SD)

Group	Variable	Child	Teenager	Young
تمرین‌نکرده Untrained	**سن (سال)** Age (year)	9.3±0.8	13.2±0.7	18.6±0.3
	وزن (کیلوگرم) Weight (kg)	29.69±6.1	56.23±4.9	54.05±4.6

1. Seca

ادامه جدول ۱- داده‌های توصیفی آزمودنی‌ها (میانگین ± انحراف معیار)

Table 1- Descriptive Data of Subjects (Mean ±SD)

Young	Teenager	Child	Variable	Group
161.8±6.6	162.33±4.2	131.96±5.7	**قد (سانتی‌متر)** Height (cm)	تمرین‌نکرده Untrained
20.01±4.2	21.6±3.2	13.75±8.7	**درصد چربی** Body Fat	
138.85±28.5	109.54±21.7	71.03±21.8	CSA (cm^2)	
127.14±31.89	138.45±43.36	60.67±14.75	MVC (N)	
18.5±0.3	13.8±0.5	9.9±0.9	**سن (سال)** Age (year)	ژیمناست Gymnast
53.05±4.4	45.64±7.3	29.52±6	**وزن (کیلوگرم)** Weight (kg)	
161.93±4.1	156.80±5.8	137.13±13.6	**قد (سانتی‌متر)** Height (cm)	
18.08±2.6	13.53±6.3	9.39±7.9	**درصد چربی** Body Fat	
169.95±23.2	130.47±22.5	88.27±18.2	CSA (cm^2)	
181.68±34.98	155.12±39.15	85.41±23.62	MVC (N)	

برای اندازه‌گیری حداکثر گشتاور ارادی بازکننده‌های زانو از دستگاه بیودکس استفاده شد. برای محدودکردن حرکات اضافی تنه، آزمودنی‌ها به‌وسیلهٔ کمربندهای دستگاه محکم به صندلی بسته شدند. بازخورد بصری (نگاه‌کردن به نمایشگر دستگاه ایزوکینتیک برای مشاهدهٔ میزان گشتاور تولیدی) و کلامی (توسط آزمونگر) برای به‌حداکثررساندن میزان گشتاور در طول اجرای آزمون، برای تمام آزمودنی‌ها و در تمام آزمون‌ها توسط یک نفر به‌طور مشابه ارائه شد. در هر زاویه بهترین انقباض به‌عنوان حداکثر گشتاور عضلات بازکنندهٔ زانو ثبت شد و برای تجزیه‌وتحلیل آماری نگهداشته شد.

امواج الکترومایوگرافیِ عضلهٔ راست رانی، در طی آزمون بیشینه و خستگی با استفاده از الکترودهای سطحی به‌وسیلهٔ دستگاه الکترومایوگرافی ۱۶ کاناله (مدلME6000 ساخت فنلاند) ثبت شد. محل نصب الکترودها برای به‌حداقل‌رساندن مقاومت سطحی با تراشیدن پوست (در بزرگسالان) و کشیدن پنبهٔ الکلی (در کودکان و بزرگسالان) آماده‌سازی شد. الکترودها براساس دستورالعمل SENIAM در بخش شکم عضلانی و در امتداد تارهای عضلانی روی پوست و الکترودهای مرجع روی نزدیک‌ترین سر استخوانی (استخوان کشکک) قرار گرفتند. فاصلهٔ بین الکترودها در همهٔ آزمودنی‌ها دو سانتی‌متر

و فرکانس نمونه‌برداری ۲۰۰۰ هرتز درنظرگرفته شد. قبل از تحلیل امواج EMG، از یک فیلتر دیجیتال میان‌گذر (۱۵-۵۰۰ هرتز) برای حذف نویزهای محیطی و امواج غیرواقعی ثبت‌شده استفاده شد.

میانگین توان فرکانس که به‌عنوان یک شاخص غیرمستقیم، استفادهٔ نسبی از واحدهای حرکتی نوع II را نشان می‌دهد، در آزمون خستگی اندازه‌گیری و ثبت شد. داده‌های الکترومایوگرافی پس از برش، برای تجزیه‌وتحلیل به‌نرم‌افزار متلب[1] انتقال داده شدند. برای پردازش اطلاعات، ابتدا با استفاده از تبدیل فوریه[2] سیگنال‌های حوزهٔ زمان به حوزهٔ فرکانس تبدیل شدند. سپس، سیگنال موردنظر با روش تحلیل باقی‌مانده[3] و فرکانس برش ۱۲ تا ۴۵۰ هرتز فیلتر شد. فیلتر انتخاب‌شده برای کاهش نویز داده‌های الکترومایوگرافی از نوع زیرو لگ-باتروث با شیب چهار بود. در مرحلهٔ بعد، توان سیگنال با استفاده از روش ولچ ارزیابی شد و به‌منظور مقایسهٔ داده‌ها با یکدیگر، توان سیگنال‌ها در بازهٔ -۱ و ۱ نرمال‌سازی شد. سپس، میانگین توان محاسبه‌شده در مرحلهٔ قبل، به‌عنوان متغیر MPF درنظر گرفته شد.

در آزمون خستگی تعداد تکرارها تا رسیدن به خستگی و میزان افت نیرو در طول آزمون، به‌عنوان شاخص‌های خستگی‌پذیری تجزیه‌وتحلیل شد. به‌دلیل متفاوت‌بودن تعداد تکرارها در آزمون خستگی، درصدی (معادل ۱۰، ۲۰، ۳۰ تا ۱۰۰ درصد) از تعداد کل تکرارها محاسبه شد و مقدار MPF و میزان گشتاور تولیدشده در آن انقباض‌ها، برای رسم نمودار و تجزیه‌وتحلیل آماری به‌کار گرفته شد.

پس از بررسی طبیعی‌بودن داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف[4]، برای تحلیل اندازه‌گیری‌های اولیه از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. مقایسهٔ تعداد تکرارها در آزمون خستگی با آزمون تحلیل واریانس دوطرفه و همچنین، بررسی زاویهٔ مطلوب تولید نیرو در آزمون بیشینه، میزان افت نیرو و مقدار MPF در آزمون خستگی به‌وسیلهٔ تحلیل واریانس دوطرفه با اندازه‌گیری مکرر تحلیل شد.

شایان ذکر است که در این پژوهش علاوه‌بر رعایت کامل اخلاق کار با کودک با توجه به دستورالعمل موجود، تمام آزمودنی‌ها با رضایت آگاهانهٔ خود و همچنین، کودکان با رضایت خود و والدین‌شان و به‌صورت داوطلبانه در این مطالعه شرکت کردند. برگه‌های رضایت‌نامه و فرم اطلاعات شخصی و سابقهٔ پزشکی توسط آزمودنی‌ها (در گروه کودک توسط والدین آن‌ها) تکمیل شد. همهٔ افراد می‌توانستند در هر زمان از مراحل اجرای پژوهش، آزادانه از ادامهٔ همکاری کناره‌گیری کنند. پیش از شروع آزمون‌ها، همهٔ افراد از روش اجرا، اندازه‌گیری‌های بدنی و آسیب‌های احتمالی آگاهی کامل داشتند. آزمودنی‌ها

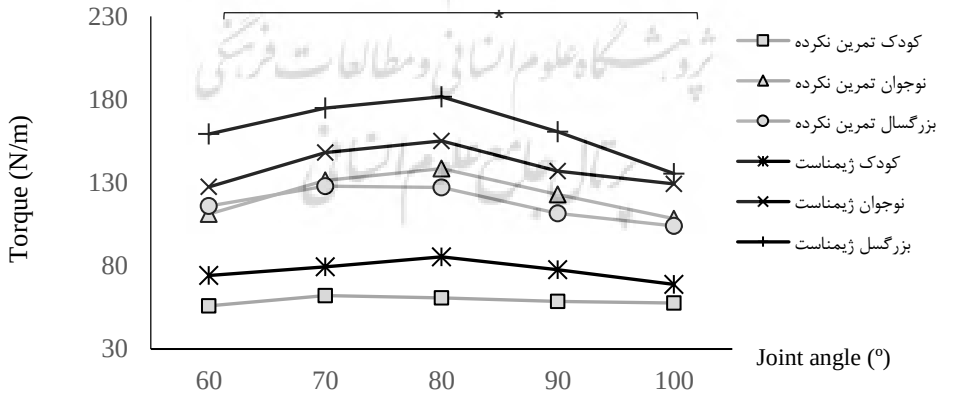
1. MATLAB
2. Fast Fourier Transform (FFT)
3. Residual Analysis
4. Kolmogorov–Smirnov

هیچ مسئولیتی برای تکمیل تمام آزمون‌ها نداشتند و در هر مرحله می‌توانستند از فرایند پژوهش خارج شوند.

نتایج

پس از تعیین طبیعی‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، نتایج آزمون آنوای دوطرفه تفاوت معناداری را بین گروه‌ها در تمام زوایا (زاویهٔ ۶۰ ($F_{5,54} = 11.94, P = 0.000$)، زاویهٔ ۷۰ ($F_{5,54} = 17.94, P = 0.000$)، زاویهٔ ۸۰ ($F_{5,54} = 17.84, P = 0.000$)، زاویـهٔ ۹۰ ($F_{5,54} = 13.29,$ $P = 0.000$) و زاویهٔ ۱۰۰ ($F_{5,54} = 15.82, P = 0.000$)) نشان داد. به‌علاوه، زاویهٔ ۸۰ به‌عنوان زاویهٔ مطلوب برای تولید نیرو در تمام گروه‌ها انتخاب شد؛ براین‌اساس، آزمون خستگی به‌طور مشترک برای تمام آزمودنی‌ها در این زاویه اجرا شد (شکل شمارهٔ یک).

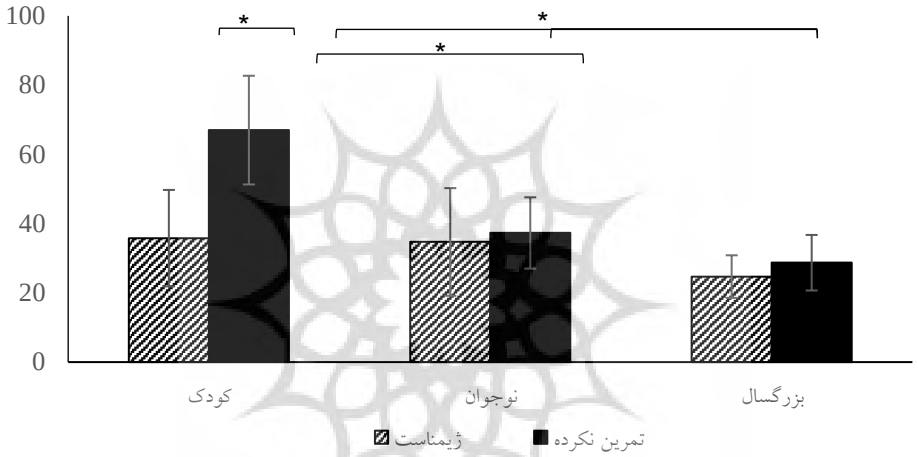
نتایج مربوط به MVC در جدول داده‌های توصیفی گزارش شده است. همان‌طورکه انتظار می‌رفت، گروه ژیمناست در تمام مراحل بالیدگی نیروی تولیدی بیشتری نسبت به همتاهای تمرین‌نکردهٔ خود داشتند؛ اگرچه این تفاوت فقط در گروه بزرگسال معنادار بود ($P < 0.05$). به‌علاوه، در هر دو گروه ژیمناست و تمرین‌نکرده، کودکان با نوجوانان و بزرگسالان هم‌گروه خود تفاوت معناداری داشتند ($P < 0.05$)، اما این تفاوت بین نوجوانان با بزرگسالان معنادار نبود ($P > 0.05$)؛ بااین‌حال، پس از نرمال‌سازی گشتاور براساس وزن بدن، گروه ژیمناست در هر سه مرحلهٔ بالیدگی تفاوت معناداری با همتاهای تمرین‌نکردهٔ خود داشتند ($P < 0.05$).



شکل۱- رابطهٔ گشتاور-زاویهٔ مفصلی

Figure1- The Relationship Between Torque and Joint Angle

در آزمون خستگی، تعداد تکرار انقباض‌ها تا رسیدن به خستگی تفاوت معناداری بین گروه‌ها داشت ($F_{5,54} = 15.102, P = 0.000$). بیشترین تعداد تکرار برای کودکان تمرین‌نکرده و کمترین آن برای بزرگسالان ژیمناست گزارش شد. تفاوت بین کودکان با نوجوانان و بزرگسالان فقط در گروه تمرین‌نکرده معنادار بود ($P < 0.05$) و کودکان ژیمناست تفاوت معناداری با نوجوانان و بزرگسالان هم‌گروه خود نداشتند ($P > 0.05$). به‌علاوه، اثر تمرین تفاوت معناداری در تعداد تکرارها تا رسیدن به خستگی ایجاد کرده است ($P < 0.05$) (شکل شمارهٔ دو).



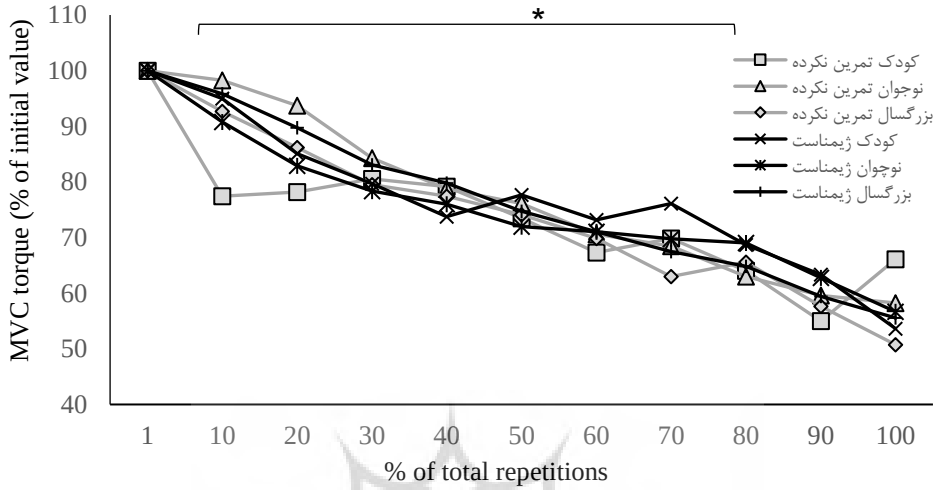
	Age Effect	Training Effect	Age × Training
P Value	0.000*	0.000*	0.001*
1	0.437	0.229	0.2458

*$P \leq 0.05$

شکل۲- تعداد کل تکرارها تا رسیدن به خستگی

Figure 2- Total Number of Repetitions in Fatigue Test

به‌دلیل متفاوت‌بودن تعداد تکرارها در آزمون خستگی، درصدی (معادل ۱۰ ، ۲۰، ۳۰ تا ۱۰۰ درصد) از تعداد کل تکرارها محاسبه شد و میزان گشتاور تولیدشده در آن انقباض‌ها ابتدا براساس نیروی گشتاور اولیه نرمال‌سازی شد. سپس، برای رسم نمودار و تجزیه‌وتحلیل آماری به‌کار گرفته شد. میزان افت نیرو پس از نرمال‌سازی براساس گشتاور اولیه تفاوتی بین گروه‌ها نداشت. افت نیروی گشتاور در تمام تکرارهای محاسبه‌شده در نمودار و برای تمام گروه‌ها نسبت به گشتاور اولیه معنادار بود ($P < 0.05$) (شکل شمارهٔ سه).

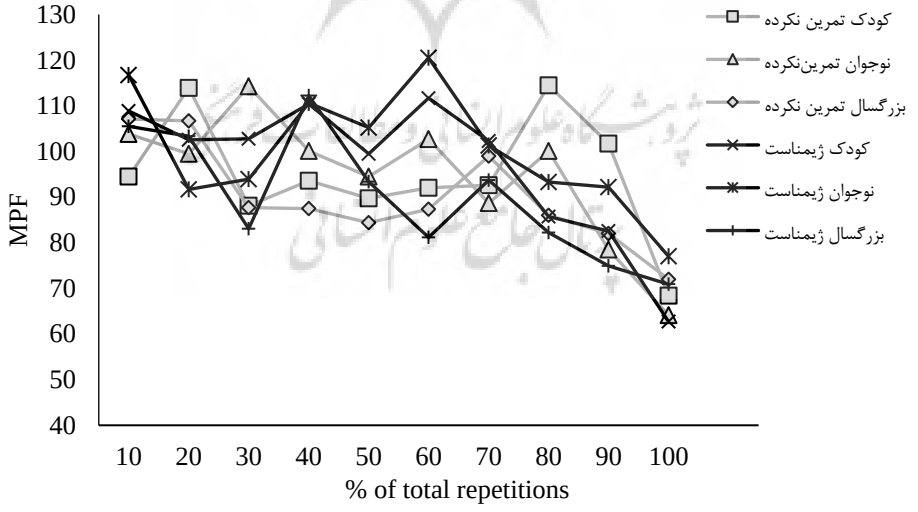


شکل ۱- نیروی گشتاور در طول آزمون خستگی

Figure 3- MVC Torque During the Fatigue Test

*: Significantly Different from the First Torque (P≤0.05))

مقدار افت MPF در آزمون خستگی، الگوی مشخصی در بین گروه‌ها نداشت و در تمام گروه‌ها به‌تدریج کاهش یافت (شکل شمارهٔ چهار).



شکل ۲- MPF در آزمون خستگی

Figure 4- MPF During the Fatigue Test

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کودکان تمرین‌نکرده در طول انقباض‌های بیشینهٔ مکرر کمتر از نوجوانان و بزرگسالان دچار خستگی می‌شوند. در آزمون خستگی، تعداد تکرار تا رسیدن به خستگی در کودکانِ تمرین‌نکرده با میانگین ۶۷ تکرار به‌طور معناداری از نوجوانان و بزرگسالان بیشتر بود که با یافته‌های مطالعات دیگر که با استفاده از یک پروتکل خستگی مشابه به بررسی خستگی‌پذیری عضلات بازکننده زانو در پسران و مردان غیرفعال پرداخته‌اند، همسوست . همچنین، سایر مطالعات با پروتکل‌های متفاوت نیز از یافته‌های مطالعه حاضر حمایت می‌کنند (۲۲). شواهد موجود به‌روشنی نشان‌می‌دهند که کودکان نسبت به بزرگسالان مقاومت بیشتری در برابر خستگی دارند، اما سازوکار زیربنایی این پدیده به‌ویژه در دختران موردبحث باقی مانده است. این موضوع با افزودن متغیری مثل تمرینات منظم ورزشی در دوران قبل از بلوغ بیش‌ازپیش بحث‌برانگیز خواهد بود. در این مطالعه برای اولین بار به بررسی نقش تمرینات منظم ژیمناستیک بر خستگی‌پذیری دختران نابالغ، نوجوان و بزرگسال پرداخته شده است. به‌نظر می‌رسد تفاوت‌های مشاهده‌شده در خستگی‌پذیری کودکان نسبت به نوجوانان و بزرگسالان در اثر تمرینات ژیمناستیک از میان رفت. یافته‌های حاصل اثر چشمگیر تمرینات ژیمناستیک بر مقاومت به خستگی در کودکان را نشان می‌دهند. کودکان ژیمناست با میانگین ۳۵ تکرار با نوجوانان و بزرگسالان هم‌گروهشان که به‌ترتیب و به‌طور میانگین ۳۴/۵ و ۲۴/۷ تکرار اجرا کردند، تفاوت معناداری در آزمون خستگی نداشتند. ضمن اینکه به‌وضوح خستگی‌پذیری بیشتری نسبت به همتایان تمرین‌نکردهٔ خود داشتند. درواقع، به‌نظر می‌رسد علاوه‌بر رشد و بلوغ، تمرینات ورزشی منظم در دوران پیش از بلوغ نیز می‌تواند بر میزان خستگی در طول انقباض‌های بیشینه اثرگذار باشد. این مفهوم احتمالاً از طریق تغییرات مرکزی و محیطی ایجادشده در دوران بلوغ توضیح داده می‌شود.

خستگی‌پذیری بیشتر در نوجوانان و بزرگسالان را در درجهٔ اول می‌توان به‌وسیلهٔ تودهٔ عضلانی بزرگ‌تر به‌کارگرفته‌شده در طول فعالیت ورزشی توضیح داد. اندازه‌گیری سطح مقطع عضلانی در مطالعهٔ حاضر تفاوت معناداری بین کودکان با نوجوانان و بزرگسالان در هر دو گروه ژیمناست و تمرین‌نکرده نشان می‌دهد. نوجوانان و بزرگسالان با داشتن حجم عضلانی بیشتر هنگامی که یک فعالیت ورزشی مشابه را با درصد معینی از توان بیشینهٔ خود اجرا می‌کنند، توان مطلق بیشتری در مقایسه با کودکان تولید می‌کنند. ازآنجاکه در طی دوران رشد حجم تودهٔ عضلانی با برون‌ده توان همبستگی مثبت دارد، تودهٔ عضلانی بزرگ‌تر در نوجوانان و بزرگسالان می‌تواند به اختلالات متابولیکی بیشتر به‌خصوص در فعالیت‌های با شدت زیاد منجر شود. در این زمینه آرماتاس[1] و همکاران (۱۳) با مقایسهٔ پسران نابالغ

1. Armatas

و مردان در طول یک آزمون بیشینهٔ بازکردن زانو، خستگی‌پذیری بیشتری را در مردان گزارش کردند. مردان میزان کاهش گشتاور سریع‌تر و بازیافت آهسته‌تری نسبت به پسران داشتند. در این مطالعه خستگی‌پذیری کمتر در کودکان به تودهٔ عضلانی کمتر، استفادهٔ کمتر از تارهای نوع II و درنتیجه، تجمع متابولیکی کمتر نسبت داده شده است (۲۳، ۱۳). با توجه به نتایج مربوط به اندازه‌گیری CSA در مطالعهٔ حاضر، این احتمال وجود دارد که حجم عضلانی بیشتر بزرگسالان در مقایسه با کودکان (۱۳۸/۵ در مقابل ۷۱/۰۳) به تجمع متابولیکی بیشتری منجر شده است که می‌تواند حداقل بخشی از تفاوت‌های خستگی‌پذیری بین کودکان و بزرگسالان را توجیه کند. ازطرفی مطالعات نشان داده‌اند که کودکان در طول فعالیت‌های متناوب شدید تکیهٔ بیشتری به متابولیسم اکسیداتیو (تا متابولیسم بی‌هوازی) دارند. این نیم‌رخ متابولیکی خاص می‌تواند در مقایسه با بزرگسالان به تجمع کمتر تولیدات متابولیکی (فسفات و یون H^+) و تخلیهٔ کمتر فسفوکراتین در طول فعالیت ورزشی منجر شود. به‌علاوه، آن‌ها به زمان کمتری برای بازسازی نیمی از فسفوکراتین مصرفی نیاز دارند؛ ازاین‌رو، در فواصل بین وهله‌های حداکثر یک فعالیت بیشینهٔ متناوب می‌توانند ریکاوری بهتر و سریع‌تری نسبت به نوجوانان و بزرگسالان داشته باشند (۱۳، ۸). این احتمال وجود دارد که کودکان شرکت‌کننده در مطالعهٔ حاضر در فواصل پنج‌ثانیه‌ای بین انقباض‌ها ریکاوری بهتری داشته‌اند و این موضوع در میزان خستگی‌پذیری آن‌ها نسبت به بزرگسالان تأثیرگذار بوده است.

عامل دیگری که برای تفاوت‌های خستگی محیطی بین کودکان و بزرگسالان درنظر گرفته می‌شود، ترکیب تارهای عضلانی است. مطالعات نشان داده‌اند افرادی که تارهای تند انقباض بیشتری دارند در مقایسه با افراد دارای سهم عمده‌ای از تارهای نوع I، دچار خستگی محیطی بیشتری می‌شوند (۲۴)؛ بنابراین، با فرض اینکه بزرگسالان در مقایسه با کودکان درصد کمتری از تارهای کند انقباض مقاوم به خستگی دارند، می‌توان خستگی بیشتر در بزرگسالان را توجیه کرد. این موضوع می‌تواند تاحدی در توجیه خستگی کمتر گروه ژیمناست نسبت به گروه تمرین‌نکرده نیز محتمل باشد؛ بااین‌حال، در چندین مطالعه به‌وضوح گزارش شده است که ترکیب تارهای عضلانی بین کودکان و بزرگسالان تفاوت معناداری ندارد (۲۵). چنین به‌نظر می‌رسد خستگی بیشتر در بزرگسالان به اتکای بیشتر آن‌ها به واحدهای حرکتی تندانقباض مربوط باشد (تا ترکیب متفاوت تارهای عضلانی) که در مقایسه با واحدهای حرکتی کندانقباض مقاومت کمتری در برابر خستگی دارند و در طول انقباض‌های با شدت زیاد فراخوانی می‌شوند (۱). ازطرفی، آرماتاس و همکاران (۱۳) در مطالعهٔ خود با استفاده از EMG، با محاسبهٔ MPF و بررسی میزان فعالیت عضلات موافق و مخالف حرکت نشان دادند کودکان تحت‌تأثیر نیم‌رخ متابولیسم اکسیداتیو خود، در فعالیت‌های ورزشی متناوب شدید تکیهٔ کمتری به تارهای عضلانی نوع II دارند و درنتیجه، خستگی محیطی کمتری را نسبت به بزرگسالان تجربه می‌کنند. با

این پیش‌فرض، احتمال می‌رود مقاومت به خستگی مشاهده‌شده در کودکان ژیمناست، با تغییر نسبت تارهای عضلانی یا تغییر در نیم‌رخ متابولیکی آن‌ها و تکیهٔ بیشتر به تارهای نوع II، مشابه با آنچه در بزرگسالان مشاهده می‌شود، مرتبط باشد. دراین‌راستا، هالین و همکاران (۱۹) اثر تمرینات ژیمناستیک بر شاخص MPF را که برآورد غیرمستقیمی از به‌کارگیری تارهای نوع II است، گزارش کرده‌اند. در مطالعهٔ آن‌ها شیب تندتر MPF در پسران ژیمناست نسبت به پسران تمرین‌نکرده به استفادهٔ بیشتر از تارهای نوع II نسبت داده شد.

علاوه‌بر عوامل ذکرشده، به‌تازگی پیشنهاد شده است ویژگی‌هایی چون سفتی تاندونی-عضلانی نیز می‌تواند از طریق اثری که بر رابطهٔ طول-تانسیون دارد، بر خستگی محیطی تأثیر بگذارد. کامپلیانس بیشتر بافت تاندونی عضلات را در وضعیت تولید نیروی کمتر قرار می‌دهد. این اثر به تغییر رابطهٔ طول-نیرو به سمت راست منجر می‌شود. در مطالعهٔ حاضر، همهٔ آزمودنی‌ها در زاویهٔ مفصلی مطلوب خود که در سراسر گروه‌های سنی مشابه بود، آزمون شدند؛ بااین‌حال، کامپلیانس تاندونی بیشتر ممکن است به کوتاه‌شدن تارهای عضلانی حتی در طول تاندونی-عضلانی مطلوب منجر شود. ازطرفی، اجرای هر فعالیت ورزشی مشخص با طول کوتاه‌تری از عضله خستگی محیطی را کاهش می‌دهد؛ به‌این‌ترتیب، کودکان که کامپلیانس تاندونی-عضلانی بیشتری دارند، آزمون را در یک طول عضلانی کوتاه‌تر نسبت به بزرگسالان اجرا کرده‌اند. همچنین، در چندین مطالعه اثر تمرین بر سفتی تانونی-عضلانی گزارش شده است. این وضعیت در صورت وجود، همسو با مطالعهٔ راتل[1] و همکاران (۲۳، ۸) می‌تواند خستگی محیطی را کاهش داده و خستگی مرکزی را افزایش دهد. این احتمال وجود دارد که اثر تمرینات ورزشی بر سفتی تاندونی-عضلانی تاحدی بتواند تفاوت‌های مشاهده‌شده در خستگی‌پذیری بین گروه ژیمناست و تمرین‌نکرده را توجیه کند؛ اگرچه در این مطالعه این موضوع به‌طور مستقیم بررسی نشد. درمورد تفاوت‌های خستگی‌پذیری بین گروه ژیمناست و تمرین‌نکرده این احتمال وجود دارد که تمرینات ژیمناستیک از طریق تغییر در سطح فعال‌سازی ارادی بر میزان خستگی‌پذیری تأثیرگذار باشد. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهند فعالیت‌های ورزشی که شامل انقباض‌های انفجاری هستند و عمل عضله به تولید سریع نیرو احتیاج دارند، از کارآمدترین روش‌های تمرینی در توسعهٔ فعال‌سازی عضلانی محسوب می‌شوند. این الگوی تولید نیرو مشابه با روشی است که برای اجرای اغلب حرکات ژیمناستیک به‌کار گرفته می‌شود. فعال‌سازی ارادی کمتر توسعهٔ نیرو را کاهش می‌دهد و از این طریق می‌تواند بر میزان خستگی‌پذیری اثرگذار باشد. درواقع، براساس آنچه گفته شد، نیروی تولیدی کمتر از توسعهٔ خستگی محیطی می‌کاهد (۲۳). راتل و همکاران (۸) به مقایسهٔ خستگی‌پذیری بین پسران و مردان پس از یک آزمون خستگی شامل تکرار انقباض‌های ایزومتریک بیشینه تا رسیدن

1. Ratel

به ۶۰ درصد نیروی تولیدی اولیه پرداختند. در این مطالعه نیز کودکان خستگی‌پذیری کمتری نسبت به بزرگسالان گزارش کردند، اما بررسی فعال‌سازی ارادی در طول آزمون خستگی کاهش تدریجی معناداری را در سطح فعال‌سازی ارادی پسران نشان داد؛ درحالی‌که تغییر مشخصی در فعال‌سازی ارادی مردان مشاهده نشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که خستگی مرکزی بیشتر در کودکان می‌تواند مسئول خستگی محیطی کمتر در آن‌ها باشد. درواقع، براساس نظریه‌های موجود، سیستم عصبی مرکزی می‌تواند فراخوانی واحدهای حرکتی را برای جلوگیری از هرگونه اختلال در همئوستاز و آسیب عضلانی یا بیولوژیک محدود کند. با فرض پذیرش چنین ادعایی، تأثیر تمرینات ژیمناستیک پیش از بلوغ بر دستکاری این مسیر محدودکننده در کودکان محتمل است؛ اگرچه برای روشن‌شدن این موضوع به انجام‌دادن بررسی‌هایی جامع با تعداد نمونهٔ زیاد نیاز است. دراین‌راستا، هاتزیکوتولاس[1] و همکاران (۱) به بررسی نقش عوامل محیطی و مرکزی در تفاوت‌های خستگی‌پذیری بین کودکان و بزرگسالان پس از حفظ یک انقباض ایزومتریک بیشینه پرداختند. در این مطالعه سطح فعال‌سازی ارادی قبل و بعد از خستگی با استفاده از روش تلفیق تکانه در پسران و مردان انجام شد. براساس نتایج، از خستگی محیطی کمتر در پسران و برابربودن خستگی مرکزی آن‌ها با مردان حمایت شده است. درواقع، به‌نظر می‌رسد سیستم عصبی مرکزی نمی‌تواند توسعهٔ خستگی محیطی شدید را در کودکان تحمل کند. این مفهوم پیش از این به‌عنوان وجود یک آستانهٔ بحرانی از خستگی محیطی توسط امان و دمسی[2] (۲۷) مطرح شده بود. درحال‌حاضر مشخص نیست آیا این آستانهٔ بحرانی در کودکان و بزرگسالان متفاوت است یا خیر؟ اما خستگی مرکزی بیشتر و محیطی کمتر گزارش‌شده در چندین مطالعه پیشنهاد می‌کند که آستانهٔ بحرانی می‌تواند در کودکان به‌طور مرکزی در سطح بالاتری تنظیم شود؛ بااین‌حال، ناشناخته‌ماندن حساسیت آوران‌های III و IV در کودکان و بزرگسالان، دلایل محدودیت مرکزی کودکان را با ابهام بیشتری همراه کرده است (۸).

سطح فعال‌سازی عضلهٔ مخالف از دیگر عوامل محتمل در خستگی کمتر گروه ژیمناست نسبت به گروه تمرین‌نکرده است. مطالعهٔ مستقیمی در زمینهٔ تأثیر تمرینات ژیمناستیک بر میزان فعال‌سازی عضلهٔ مخالف وجود ندارد، اما به‌نظر می‌رسد یکی از عوامل زیربنایی توسعهٔ نیرو در گروه ژیمناست، به کاهش سطح فعال‌سازی عضلهٔ مخالف و درواقع، کاهش میزان هم‌انقباضی تحت‌تأثیر ماهیت قدرتی تمرینات ژیمناستیک مربوط باشد. این کاهش در هم‌انقباضی عضلات در طول آزمون خستگی با محدودکردن افت گشتاور می‌تواند خستگی را به‌تعویق اندازد؛ بااین‌حال، در مقایسهٔ هم‌انقباضی بین کودکان و بزرگسالان تناقض‌های بسیاری مشاهده می‌شود. در چندین مطالعه، سطح هم‌انقباضی بالای

1. Hatzikotoulas
2. Amann, Dempsey

کودکان نسبت به بزرگسالان در طول انقباض‌های بیشینهٔ ایزومتریک نشان داده شده است. ازطرفی در تعدادی از مطالعات گزارش شده است که تفاوتی در فعال‌سازی هم‌زمان عضلهٔ مخالف بین کودکان و بزرگسالان وجود ندارد. چنین به‌نظر می‌رسد که سطح بالای هم‌انقباضی کودکان بیشتر در طول کارهای حرکتی پیچیده مشاهده می‌شود و به هماهنگی و یادگیری حرکتی مربوط است تا یک سازوکار حفاظتی (۲۳). آرماتاس و همکاران (۱۳) در تأیید این یافته‌ها گزارش کرده‌اند که سطح هم‌انقباضی کودکان و بزرگسالان در طول یک آزمون خستگی شامل انقباض‌های بیشینهٔ مکرر، در بازکننده‌های زانو تغییر نمی‌کند.

با وجود تفاوت سطح خستگی‌پذیری مشاهده‌شده بین کودکان و بزرگسالان، هنگامی‌که میزان افت گشتاور تولیدشده در طول آزمون خستگی براساس نیروی تولیدی اولیه نرمال‌سازی شد، تمام تفاوت‌های بین کودکان و بزرگسالان از میان رفت. نتایج احتمالاً حاکی از این است که نیروی تولیدی اولیه نسبت به سایر سازوکارهای مطرح‌شده، عامل مهم‌تری در توضیح خستگی‌پذیری بین کودکان و بزرگسالان محسوب می‌شود. ازطرفی، نتایج مربوط به MPF نیز با وجود پراکندگی زیاد، در تمام گروه‌ها کاهش مشابهی را نشان‌داد که از نتایج حاصل از افت گشتاور حمایت می‌کند. اندازه‌گیری MPF در مطالعهٔ حاضر به‌دلیل بررسی تفاوت‌های فراخوانی یا استفاده از تارهای عضلانی نوع II در طول آزمون خستگی بود، تا از این طریق تفاوت‌های بین کودکان و بزرگسالان در فراخوانی تارهای نوع II پیش و پس از خستگی بررسی شود. متأسفانه، پراکندگی زیاد داده‌های MFP امکان نتیجه‌گیری در این زمینه را نمی‌دهد و برای بررسی این شاخص غیرمستقیم احتمالاً به حجم نمونهٔ بیشتری نیاز است؛ بااین‌حال، الگوی کاهش MPF در تمام گروه‌ها مشابه بود که شاهد غیرمستقیمی برای خستگی تارهای تندانقباض است و با نتایج حاصل از میزان افت گشتاور همسوست.

با درنظرگرفتن نیروی تولیدی اولیه در آزمون خستگی، تمام گروه‌ها الگوی خستگی‌پذیری مشابهی را به‌نمایش گذاشتند؛ بنابراین، به‌نظر می‌رسد نیروی تولیدی اولیه عامل مهمی در بررسی خستگی‌پذیری در دوران رشد محسوب می‌شود؛ بااین‌حال، چنین برداشت می‌شود که نوع آزمون درنظرگرفته‌شده برای بررسی خستگی‌پذیری کودکان نیز عاملی مهم و تعیین‌کننده است. شواهد تجربی نشان می‌دهند که کودکان احتمالاً در انقباض‌های ایزومتریک راحتی کمتری دارند و روی‌ندادن حرکت با وجود اعمال نیرو در این نوع انقباض‌ها می‌تواند آن‌ها را از اعمال نیروی حداکثری خود باز دارد. این عامل در کنار حجم عضلانی کمتر به تولید نیروی اولیهٔ کمتری منجر خواهد شد که می‌تواند تاحدی تفاوت‌های چشمگیر موجود در تعداد تکرارها را در آزمون خستگی توضیح دهد. ضمن اینکه این عوامل در گروه ژیمناست با داشتن حجم عضلانی بیشتر و تجربه و مهارت بیشتر در اعمال سریع و حداکثری نیرو، به خستگی‌پذیری بیشتری منجر شده‌اند؛ بنابراین، مقایسهٔ کودکان با بزرگسالان در درجهٔ اول جزو

بزرگ‌ترین محدودیت‌های چنین پژوهش‌هایی به‌شمار می‌رود، اما انتخاب آزمون مناسب و درنظرداشتن چندعاملی‌بودن سازوکارهای توضیح‌دهندهٔ خستگی می‌توانند راهی برای انجام‌دادن پژوهش‌ها در آینده با هدف روشن‌شدن ابهام‌های موجود در این زمینه باشند.

درمجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که مقاومت به خستگی کودکان در طول دورهٔ بلوغ کاهش می‌یابد. درواقع، از کودکی به نوجوانی کاهشی پیش‌رونده در توانایی حفظ نیرو و توان در طول انجام‌شدن فعالیت‌های با شدت زیاد وجود دارد. به‌علاوه، دختران تمرین‌نکرده با رسیدن به سطح نوجوانی (مرحلهٔ III تانر) در عواملی مانند تولید نیرو و خستگی‌پذیری به سطح بزرگسالی بسیار نزدیک هستند. این روند با اعمال تمرینات ژیمناستیک در دورهٔ پیش از بلوغ، در دختران نابالغ نیز انتظار می‌رود؛ به‌عبارت‌دیگر، شروع تمرینات ژیمناستیک از دورهٔ پیش از بلوغ در دختران می‌تواند نیروی تولیدی و سطح خستگی‌پذیری آن‌ها را که از عوامل مهم عملکرد ورزشی به‌شمار می‌روند، در وضعیتی مشابه با بزرگسالان قرار دهد.

پیام مقاله: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سازوکارهای کنترل‌کنندهٔ خستگی در کودکان هرچه باشد می‌تواند توسط تمرینات منظم ژیمناستیک دستخوش تغییر یا تعدیل شود تا کودکان الگویی مشابه بزرگسالان به‌نمایش بگذارند. افزون‌براین، ضروری است دختران با توجه به تفاوت‌های ذاتی‌شان در عوامل فیزیولوژیک و سن رسیدن به بلوغ، به‌صورت جداگانه در مطالعات بررسی شوند.

منابع

1. Hatzikotoulas K, Patikas D, Ratel S, Bassa E, Kotzamanidis C. Central and peripheral fatigability in boys and men during maximal contraction. MSSE. 2014;46(7):1326-33.
2. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. Physrev. 2001;81(4):1725-89.
3. Ratel S, Duche P, Williams CA. Muscle fatigue during high-intensity exercise in children. Sports Med. 2006;36(12):1031-65.
4. Halin R, Germain P, Bercier S, Kapitaniak B, Buttelli O. Neuromuscular response of young boys versus men during sustained maximal contraction. MSSE. 2003;35(6):1042-8.
5. Paraschos I, Hassani A, Bassa E, Hatzikotoulas K, Patikas D, Kotzamanidis C. Fatigue differences between adults and prepubertal males. INT J SPORTS MED. 2007;28(11):958-63.
6. Ratel S, Duche P, Hennegrave A, Van Praagh E, Bedu M. Acid-base balance during repeated cycling sprints in boys and men. J AppL Physiol. 2002;92(2):479-85.
7. Birat A, Bourdier P, Piponnier E, Blazevich AJ, Maciejewski H, Duché P, et al. Metabolic and fatigue profiles are comparable between prepubertal children and well-trained adult endurance athletes. Front. Physiol. 2018;9:387.

8. Ratel S, Kluka V ,Vicencio SG, Jegu A-G, Cardenoux C, Morio C, et al. Insights into the mechanisms of neuromuscular fatigue in boys and men. MSSE. 2015;47(11):2319-28.
9. Kriketos A, Baur L, O'connor J, Carey D, King S, Caterson I, et al. Muscle fibre type composition in infant and adult populations and relationships with obesity. INT J Obes. 1997;21(9):796-801.
10. Tomazin K, Morin J, Strojnik V, Podpecan A, Millet GY. Fatigue after short (100-m), medium (200-m) and long (400-m) treadmill sprints. Eur J Appl Physiol. 2012;112(3):1027-36.
11. Noakes TD, Gibson ASC, Lambert EV. From catastrophe to complexity: A novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. Br J Sports Med. 2005;39(2):120-4.
12. Komi PV, Tesch P. EMG frequency spectrum, muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1979;42(1):41-50.
13. Armatas V, Bassa E, Patikas D, Kitsas I, Zangelidis G, Kotzamanidis C. Neuromuscular differences between men and prepubescent boys during a peak isometric knee extension intermittent fatigue test. Pediat Exer Sci. 2010;22(2): 205-17.
14. Avin KG, Naughton MR, Ford BW, Moore HE, Monitto-Webber MN, Stark AM, et al. Sex differences in fatigue resistance are muscle group dependent. MSSE. 2010;42(10):1943.
15. Dipla K, Tsirini T, Zafeiridis A, Manou V, Dalamitros A, Kellis E, et al. Fatigue resistance during high-intensity intermittent exercise from childhood to adulthood in males and females. Eur J Appl Physiol. 2009;106(5):645-53.
16. Gore SA. Sex differences in central and peripheral factors of skeletal muscle fatigue. Library Publications and Presentations; 2007. Available at: https://escholarship.umassmed.edu/lib_articles/73 [cited 2017 Nov 29]
17. Ozmun JC, Mikesky AE, Surburg PR. Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. MSSE. 1994;26(4):510-4.
18. Komi P, Viitasalo J, Rauramaa R, Vihko V. Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1978;40(1):45-55.
19. Halin R, Germain P, Buttelli O, Kapitaniak B. Differences in strength and surface electromyogram characteristics between pre-pubertal gymnasts and untrained boys during brief and maintained maximal isometric voluntary contractions. Eur J Appl Physiol. 2002;87(4-5):409-15.
20. Slaughter MH, Lohman TG, Boileau R, Horswill C, Stillman R, Van Loan M, et al. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. Hum Biol. 1988:709-23.
21. Tanner JM, Whitehouse RH. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. Arch Dis Child. 1976;51(3):170-9.
22. De Ste Croix MB, Deighan MA, Ratel S, Armstrong N. Age-and sex-associated differences in isokinetic knee muscle endurance between young children and adults. APNM. 2009;34(4):725-31.

23. Ratel S, Martin V. Is there a progressive withdrawal of physiological protections against high-intensity exercise-induced fatigue during puberty? Sports. 2015;3(4):346-57.
24. Hamada T, Sale D, MacDougall J, Tarnopolsky M. Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. Acta physiol Scand. 2003;178(2):165-73.
25. Bell R, MacDougall J, Billeter R, Howald H. Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal msucle in six-year-old children. MSSE. 1980;12(1):28-31.
26. O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. In vivo measurements of muscle specific tension in adults and children. Exp Physiol. 2010;95(1):202-10.
27. Amann M, Dempsey JA. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. J Physiol. 2008;586(1):161-73.

ارجاع‌دهی

پورمطهری آی‌ناز، دواریان ساناز، فیاض‌میلانی رعنا. بررسی خستگی‌پذیری مرتبط با تولید نیرو در گروه‌های سنی مختلف دختران ژیمناست و تمرین‌نکرده برمبنای مراحل رشدی تانر. فیزیولوژی ورزشی. پاییز۱۳۹۹؛ ۱۲(۴۷): ۳۶ـ۱۷. شناسهٔ دیجیتال: 10.22089/spj.2020.8044.1970

Pourmotahari A, Davarian S, Fayazmilani R. Investigation the Force-Related Fatigability of Gymnasts and Untrained Girls in Different Age Groups According to Tanner Stage. Sport Physiology. Fall 2020; 12(47): 17-36. (In Persian). DOI: 10.22089/spj.2020.8044.1970

پرتال جامع علوم انسانی

Investigation the Force-Related Fatigability of Gymnasts and Untrained Girls in Different Age Groups According to Tanner Stage

A. Pourmotahari[1], S. Davarian[2], R. Fayazmilani[3]

1. M.Sc. of Exercise Physiology, Shahid Beheshti University
2. Assistant Professor of Physiotherapy, Iran University of Medical Sciences
3. Assistant Professor of Sport Physiology, Biological Sciences in Sport Department, Shahid Beheshti University (Corresponding Author)

Received: 2019/10/28 Accepted: 2020/06/20

Abstract

The purpose of this cross-sectional present study was to investigate the force-related fatigability in gymnast and untrained girls according to tanner stage. 60 gymnasts and untrained girls were divided into the three subgroups of children, adolescents and adults according to Tanner's scale. Subjects were referred to the laboratory in three separate sessions for familiarity and initial measurements, maximal test, and fatigue test, respectively. For the maximal test, each subject performed three maximum isometric contractions of the knee extensor at five different angles to determine the optimal angle of force production. The fatigue test included repeating five-second maximum contractions with five seconds of rest to reach 60% of maximum torque. The electrical activity of the rectus femoris muscle was recorded using an electromyography to measure mean power frequency (MPF). Two-way ANOVA was used for data analysis. There was a significant difference between the number of repetitions to fatigue in children compare to adolescent and adult ($P<0.05$), this difference (between children with adolescents and adults) was not significant in gymnast groups ($P>0.05$). However, the normalization of the torque drop based on the initial productive force (peak torque) showed a similar pattern in children and adults. This may indicate the importance of the peak torque in explaining fatigability between children and adults. It seems gymnastic training in pre-puberty period may shift the fatigability pattern toward adulthood pattern.

Keywords: Electromyography, Preadolescents, Mean Power Frequency (MPF), The Optimal Angle of Force Production.

1. Email: ai.pourmotahari@mail.sbu.ac.ir
2. Email: davarian.s@gmail.com
3. Email: r_milani@sbu.ac.ir