Sadra Med. Sci. J. 2025; 13(4): 891-898.

Sadra Medical Sciences Journal

https://smsj.sums.ac.ir/

Original Article

The Effect of Combined (Resistance-Aerobic) Training on Mechanical Growth Factor and Sarcomere Growth in the Gastrocnemius and Soleus Muscles of Male Rats During Development

Mohammad Reza Khalili far[1], PhD Candidate; Mohammad Reza Fadaei Chafy[1*], PhD; Alireza Elmieh[1], PhD

[1]Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Humanities, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

Article Information

Article History:
Received: July 31, 2024
Accepted: October 23, 2024

***Corresponding Author:**
Mohammad Reza Fadaei Chafy, PhD; Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Humanities, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
Email: mfadaei2000@yahoo.com

Abstract

Introduction: The physiological structure and function of the muscle tissue during childhood are influenced by various factors, in addition to normal growth. This study aimed to investigate the effect of combined resistance-aerobic training on the Mechanical Growth Factor (MGF) and sarcomere growth in the gastrocnemius and soleus muscles of male rats during development.

Methods: In this study, 10 two-week-old male Wistar rats were randomly assigned to a control group or a training group. A combined resistance-aerobic training program was conducted for 6 weeks on alternating days. Forty-eight hours after the final training session, the rats were dissected, and the gastrocnemius and soleus muscles were excised for histological analysis. Then, the muscle tissue was stained with hematoxylin to differentiate cellular components. Sarcomere number and length were measured using light microscopy.

Results: Independent t-tests indicated that MGF in the soleus muscle ($P \leq 0.0028$) and gastrocnemius ($P \leq 0.0001$) were significantly higher in the training group than the control group. Furthermore, both the number and length of sarcomeres in the soleus ($P \leq 0.0016$; $P \leq 0.0010$, respectively) and gastrocnemius ($P \leq 0.0006$; $P \leq 0.0348$, respectively) muscles were significantly greater in the training group.

Conclusion: The results demonstrated that combined resistance-aerobic training induced longitudinal muscle hypertrophy in developing male rats, which was associated with increased MGF in both fast-twitch and slow-twitch muscle tissues. However, the effect of training on increasing the sarcomere length was more pronounced in slow-twitch than the fast-twitch muscle tissue.

Keywords: Resistance Training, Exercise, Hypertrophy, Muscle Protein, Muscle Fibers, Insulin-Like Growth Factor I

Please cite this article as:
Khalili far MR, Fadaei Chafy MR, Elmieh A. The Effect of Combined (Resistance-Aerobic) Training on Mechanical Growth Factor and Sarcomere Growth in the Gastrocnemius and Soleus Muscles of Male Rats During Development. Sadra Med. Sci. J. 2025; 13(4): 891-898. doi: 10.30476/smsj.2025.103554.1558.

Copyright: ©Sadra Medical Sciences Journal. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License. This license allows reusers to copy and distribute the material in any medium or format in unadapted form only, and only so long as attribution is given to the creator. The license allows for commercial use.

دوره ۱۳، شماره ۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، ۸۹۱-۸۹۸.

مجله علوم پزشکی صدرا

https://smsj.sums.ac.ir/

مقاله پژوهشی

مقایسه‌ی اثر تمرین ترکیبی (مقاومتی–هوازی) بر عامل مکانیکی رشد عضلانی (MGF)و رشد سارکومرهای عضلات دوقلو و نعلی بچه‌موش‌های نر در دوران رشد

محمد رضا خلیلی فر[۱]، محمد رضا فدائی چافی[۱*]، علیرضا علمیه[۱]

[۱]گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲

***نویسنده مسئول:**
محمد رضا فدائی چافی،
گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
پست الکترونیکی: mfadaei2000@yahoo.com

چکیده

مقدمه: ساختار و عملکرد فیزیولوژیکی بافت عضلانی در دوره‌ی کودکی افزون‌بر رشد طبیعی، تحت تأثیر عوامل مختلف ازجمله تمرین‌های ورزشی قرار می‌گیرد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر تمرین ترکیبی مقاومتی–هوازی بر عامل مکانیکی رشد عضلانی (MGF)[1] و رشد سارکومرهای عضلات دوقلو و نعلی بچه‌موش‌های نر در دوران رشد بود.

مواد و روش‌ها: در مطالعه‌ی حاضر تعداد ده سر موش صحرایی نر ویستار دوهفته‌ای به‌طور تصادفی در دو گروه کنترل و تمرین قرار گرفتند. برنامه‌ی تمرین ترکیبی مقاومتی-هوازی به‌مدت شش هفته در روزهای مجزا انجام شد. ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه‌ی تمرینی، موش‌ها تشریح شدند و عضلات دوقلو و نعلی جدا و برای انجام آزمایش‌های پاتولوژیکی استفاده شدند. سپس بافت عضلانی به‌کمک هماتوکسیلین به‌منظور متمایزکردن عناصر موجود در آن رنگ‌آمیزی شد. تعداد و طول سارکومرها توسط میکرسکوپ نوری اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: آزمون آماری t مستقل نشان داد که عامل رشد مکانیکی در عضله‌ی نعلی $P\leq۰/۰۰۲۸$ و دوقلو $P\leq۰/۰۰۰۱$ در گروه تمرین دارای مقادیر بالاتری نسبت‌به گروه کنترل بود. همچنین تعداد و طول سارکومرهای عضله‌ی نعلی به‌ترتیب ($P\leq۰/۰۰۱۶$) ($P\leq۰/۰۰۰۱$) و دوقلو ($P\leq۰/۰۰۰۶$) ($P\leq۰/۰۳۴۸$) در گروه تمرین دارای مقادیر بالاتری بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که هایپرتروفی طولی عضلانی در اثر تمرین ترکیبی مقاومتی-هوازی در بچه‌موش‌های نر در دوران رشد افزایش یافت که با افزایش MGF در هر دو نوع بافت عضلانی تندانقباض و کندانقباض همراه بود. با این وجود اثر تمرین بر افزایش طول سارکومرهای بافت عضلانی کندانقباض در مقایسه با تندانقباض بیشتر بود.

کلمات کلیدی: تمرین مقاومتی، تمرین هایپرتروفی، رشد عضلانی، فیبرهای عضلانی، عامل رشد شبه‌انسولینی

1. Mechanical Growth Factor (MGF)

لطفاً این مقاله را به این صورت استناد کنید:
خلیلی فر م‌ر، فدائی چافی م‌ر، علمیه ع‌ر. مقایسه‌ی اثر تمرین ترکیبی (مقاومتی–هوازی) بر عامل مکانیکی رشد عضلانی (MGF)و رشد سارکومرهای عضلات دوقلو و نعلی بچه‌موش‌های نر در دوران رشد. مجله علوم پزشکی صدرا. دوره ۱۳، شماره ۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، ۸۹۱-۸۹۸.

Copyright: ©Sadra Medical Sciences Journal. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License. This license allows reusers to copy and distribute the material in any medium or format in unadapted form only, and only so long as attribution is given to the creator. The license allows for commercial use.

مقدمه

فیبرهای عضلانی قبل از تولد، از ادغام سلول‌های پیش‌ساز عضلانی تشکیل می‌شوند که به سلول‌های چندهسته‌ای طولانی تبدیل می‌شوند. درواقع آن‌ها حاصل ادغام‌شدن میوبلاست‌ها با یکدیگر هستند، میوبلاست نوعی سلول پیش‌ساز جنینی است که برای تشکیل سلول‌های عضلانی تمایز می‌یابد. در طول دوره‌های رشد، این سلول‌های بنیادی ماهیچه‌ای دستخوش تکثیر و همجوشی گسترده با فیبرهای عضلانی موجود قرار می‌گیرند و درنتیجه هسته‌ها را اضافه می‌کنند و به فیبرهای عضلانی اجازه‌ی رشد بیشتر را می‌دهند. رشد سلول‌های عضلانی زمانی اتفاق می‌افتد که سنتز پروتئین از تجزیه‌ی آن‌ها در عضلات بیشتر شود. پس از تولد، عضلات اسکلتی بیشتر پستانداران درنتیجه‌ی رشد طولی فیبرهای عضلانی آن‌ها افزایش می‌یابد. افزایش فیبرهای عضلانی در مرحله‌ی رشد پس از تولد، به رشد طولی و عرضی آن بستگی دارد که شامل افزایش طول عضله‌ی فیبرهای عضلانی (طول سارکومرها)، افزایش قطر فیبرهای عضلانی (هیپرتروفی) و افزایش تعداد فیبرها (هیپرپلازی) می‌شود (۱).

یکی از ویژگی‌های عضلات اسکلتی، ساختار سازمان‌یافته‌ی فیبرهای آن است که انواع قابلیت‌های عملکردی را برای این بافت به ارمغان می‌آورد. همچنین فیبرهای عضلانی قادر به تنظیم خواص فنوتیپی خود در پاسخ به نیازهای عملکردی متفاوت هستند. انواع فیبرهای عضلانی را می‌توان باتوجه‌به تفاوت در خواص ساختاری و عملکردی آن‌ها مشخص کرد که فیبرهای کند و تندانقباض معمول‌ترین دسته‌بندی آن‌هاست، فیبرهای تندانقباض به‌سرعت منقبض می‌شوند ولی زودتر دچار خستگی می‌شوند؛ درصورتی‌که فیبرهای کندانقباض به‌آرامی منقبض ولی دیرتر خسته می‌شوند. توزیع انواع فیبرهای عضلانی تند و کندانقباض در بدن متفاوت است (۲). برخی عضلات مانند عضله‌ی دوقلو در ناحیه‌ی خلفی ساق پا که بیشتر از فیبرهای تندانقباض تشکیل شده است؛ در حالی که عضله‌ی نعلی در بخش خلفی سطحی ساق پا، بیشتر از فیبرهای کندانقباض تشکیل شده است (۳، ۴).

بافت عضلانی در دوره‌ی کودکی، افزون‌بر رشد طبیعی، ساختار و عملکرد فیزیولوژیکی آن تحت تأثیر عوامل محیطی ازجمله تمرین‌های ورزشی قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین سازگاری‌های فیزیولوژیکی به‌دنبال اجرای تمرین هایپرتروفی فیبرهای عضلانی است که با سنتز پروتئین و رشد میوفیبریل‌ها در این سلول‌ها همراه است (۵، ۶). بااین‌حال، شدت و حجم معینی از تمرین‌ها برای هایپرتروفی عضلانی لازم است تا اثر خالص آن از رشد طبیعی در دوران کودکی متمایز گردد. هایپرتروفی عضلانی که درنتیجه‌ی افزایش بار مکانیکی هنگام ورزش اتفاق می‌افتد و محققان معتقدند که محرک اصلی هایپرتروفی و متعاقب آن افزایش قدرت عضلانی، فشار مکانیکی است که باعث رهاسازی هورمون‌ها توسط دستگاه غدد درون‌ریز می‌شود که با کنترل تغییرات و پاسخ به آن‌ها باعث حفظ هومئوستاز بدن می‌گردد (۷). به‌هرحال، فعالیت‌های بدنی براساس نوع مقاومتی یا هوازی، شدت، زمان انجام آن‌ها، تأثیرات متفاوتی بر ترشح هورمون‌ها می‌گذارند. تحقیقات نشان داده‌اند که پاسخ‌های حاد هورمونی به ورزش و فعالیت بدنی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است؛ زیرا هورمون‌های آنابولیک از قبیل IGF-1 و MGF سبب افزایش سنتز پروتئین می‌گردند. اعتقاد بر این است که IGF-1 پپتیدی است که نقش مهمی در تنظیم رشد و تمایز سلولی بازی می‌کند. نشان داده شد که IGF-1 هم تکثیر و هم ترکیب سلول‌های ماهواره‌ایِ سلول عضلانی را تحریک می‌کند و تعداد هسته‌های عضلانی و اندازه‌ی فیبر عضلانی در بافت را افزایش می‌دهد. بنابراین اگر IGF-1 پاسخ هایپرتروفی را از طریق فعال‌سازی سلول‌های ماهواره‌ای وساطت کند، عامل رشد مکانیکی MGF گونه‌ی پیرایش‌یافته از عامل رشد شبه‌انسولین (IGF-1) است (۸). عامل رشد مکانیکی MGF در موش IGF-IEB و در انسان IGF-IEC نامیده می‌شود و باتوجه‌به فشار مکانیکی بر روی سلول‌های عضله‌ی اسکلتی بیان و آزاد می‌شود. ازآنجاکه MGF تنها در عضلات کشش‌داده‌شده و در عضله‌ی سالم بعد از تحریک مکانیکی تشکیل می‌گردد، عامل رشد مکانیکی نامیده می‌شود (۹). تحقیقی که توسط هنیمر و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد نشان داد که تمرین مقاومتی بیان mRNA MGF را افزایش می‌دهد (۱۰). در تحقیق دیگر که توسط چارلس (۲۰۰۸) انجام گرفت MGF فقط درنتیجه‌ی فشار مکانیکی بیان شد که تأییدی بر این موضوع است که mRNA MGF فقط در عضله‌ی اسکلتی بیان می‌شود (۱۱). پژمان تقی‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) بیان عوامل رشد در عضله‌ی چهارسر ران افراد جوان (۳۶-۲۵ سال) و افراد بزرگسال (۷۰-۸۲ سال) را در پاسخ به ورزش مقاومتی با مقاومت زیاد بررسی کردند که ورزش با مقاومت زیاد به افزایش

معناداری در MGF mRNA آزمودنی‌های جوان و نه در آزمودنی‌های بزرگ‌سال انجامید (۱۲).

اگرچه اثر ورزش بر رشد عضلانی رده‌های سنی مختلف گزارش شده است، بااین‌حال بافت عضلانی قابلیت شگفت‌انگیزی در پاسخ به محرک‌های محیطی مانند ورزش و ایجاد سازگاری در هر دو نوع فیبر ST و FT دارد که در رابطه با تأثیر تمرینات مقاومتی-هوازی بر هایپرتروفی عضلانی به‌خصوص عضله‌ی نعلی و دوقلو و غلظت MGF در رده‌ی سنی کودک، اطلاعات بسیار محدود است (۶) و فقط چند مطالعه به تأثیر تمرینات مقاومتی یا هوازی در رده‌های سنی کودک بر متغیر مذکور پرداخته است (۱۳). بنابراین باتوجه‌به نقش عوامل رشد (MGF) در هایپرتروفی عضلانی و سنتز پروتئین، هدف از پژوهش حاضر، بررسی پاسخ عوامل رشد در عضله‌ی اسکلتی به‌شیوه‌ی تمرینی ترکیبی بود تا احتمالاً اثر توأمان مداخله‌ی ورزش و روند طبیعی نمو بر رشد طولی سلول‌های عضلانی و مقایسه‌ی این آثار بر دو نوع تارهای عضلانی تند و کندانقباض مشخص شود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع تجربی و با رویکرد بنیادی است.

جامعه‌ی آماری

نمونه‌های پژوهش را ده سر موش صحرایی نر نابالغ با سن دو هفته و محدوده‌ی وزنی ۱۰۰-۱۵۰ گرم تشکیل دادند که از مؤسسه‌ی پاستور تهیه و برای انجام پروتکل پژوهش به شرکت دانش‌بنیان بافت و ژن پاسارگاد منتقل شدند.

نمونه‌ها پس از یک هفته سازگاری با محیط جدید به‌صورت تصادفی در دو گروه کنترل (پنج سر) و تمرین (پنج سر) تقسیم شدند. شرایط نگهداری نمونه‌ها بدین صورت بود که در قفس‌های پلی‌کربنات شفاف در محیطی با دمای ۲±۲۳ درجه‌ی سانتی‌گراد، رطوبت ۴۵ تا ۵۵ درصد و چرخه‌ی تاریکی به روشنایی ۱۲:۱۲ ساعته قرار گرفتند. پروتکل تمرینی شامل تمرینات مقاومتی و هوازی بود که برای شش هفته اجرا شد.

روش اجرا

برنامه‌ی تمرین مقاومتی: تمرین مقاومتی شامل بالارفتن از نردبان ۲۶ پله به ارتفاع یک متر و با وزنه‌ی بسته‌شده به دم حیوانات بود که سه جلسه در هفته به‌صورت یک‌روز در میان به‌مدت شش هفته اجرا شد. در هر جلسه، سه نوبت و هر نوبت شامل چهار تکرار و بین هر نوبت سی ثانیه استراحت برای حیوانات در نظر گرفته شد. در هفته‌ی اول میزان وزنه‌ی بسته‌شده به دم حیوان ٪۳۰ وزن بدن آن‌ها بود و به‌تدریج از هفته‌ی دوم ٪۷۰، هفته‌ی سوم ٪۱۰۰، هفته‌ی چهارم ٪۱۲۰ که تا پایان هفته‌ی ششم بدون تغییر باقی ماند (۱۴).

برنامه‌ی تمرین هوازی: در ابتدا حداکثر سرعت موش‌ها از طریق دویدن تا سرحد واماندگی و اندازه‌گیری لاکتات خون به‌دست آمد (۱۵)، سپس برنامه‌ی تمرین هوازی شامل سه جلسه در هفته در روزهای متناوب بدون تداخل با تمرینات مقاومتی با دویدن بر روی نوار گردان با شدت ۲۵ تا ۵۰ درصد حداکثر سرعت موش به‌مدت شش هفته شامل سی دقیقه بود که در هفته‌ی اول ٪۲۵ و به‌تدریج از هفته‌ی دوم ٪۳۰، هفته‌ی سوم ٪۳۵، هفته‌ی چهارم ٪۴۰، و از هفته‌ی پنجم٪۵۰ تا پایان هفته‌ی ششم بدون تغییر ماند (۱۴).

نمونه‌گیری و آزمایش

در هر گروه وزن در ابتدا و انتهای مطالعه بررسی شد. ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه‌ی تمرین و بعد از وزن‌کشی موش‌ها با استفاده از گاز CO_2 بی‌هوش شدند و در محیط کاملاً استریل با استفاده از تیغ جراحی و ایجاد برش در عضلات پای آن‌ها، عضله‌ی دوقلو (تندانقباض) و نعلی (کندانقباض) استخراج گردید و بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد شد و برای انجام آزمایش‌های پاتولوژیکی استفاده شدند. برای بررسی رشد عضلانی ابتدا بافت مدنظر به‌وسیله‌ی هماتوکسیلین به‌منظور متمایزکردن سلول‌ها و اجزاء آن و همچنین عناصر موجود در بافت رنگ‌آمیزی شد و سپس به‌وسیله‌ی میکرسکوپ نوری اندازه‌گیری شد.

پروسه‌ی بافتی و قالب‌گیری

به‌منظور نگهداری سلول‌ها و بافت‌ها عمل ثبوت انجام شد. پس از جداکردن نمونه از بدن موجود زنده بلافاصله به‌مدت ۲۴—۷۲ ساعت در محلول فرمالین ٪۱۰ قرار گرفت. سپس آبگیری با الکل‌اتیلیک انجام شد. از پارافین برای سخت‌شدن و آماده‌سازی بافت برای قالب‌گیری و برش بافتی استفاده شد. نمونه‌ها را با استفاده از دستگاه میکروتوم به ضخامت پنج میکرومتر برش زده و بر روی لام سیلانه‌شده قرار دادیم.

پروتوکل رنگ‌آمیزی H&E

ابتدا لام‌ها درون فور (Vinte) در دمای نود

درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت بیست دقیقه قرار گرفت تا پارافین‌های موجود در نمونه ذوب شود. در مرحله‌ی دوم پارافین‌زدایی، نمونه‌ها در داخل زایلول ۱و۲ (sigma-1330-20-7) هرکدام به‌مدت پانزده دقیقه قرار گرفت. برای رنگ‌کردن، ابتدا آب بافت به آن برگردانده شد و سپس در آب‌مقطر به‌مدت یک دقیقه شست‌وشو داده شد و سپس نمونه‌ها دو ثانیه داخل کربنات لیتیوم Sigma-1.05680 قرار گرفت و پس از آن سه دقیقه داخل رنگ ائوزین Sigma-HT110116 قرار داده شد و در ادامه به‌منظور آب‌گیری بافت، لام‌ها را به الکل مطلق رسانده و لامل روی لام چسبانده شد و با میکروسکوپ نوری LABOMEDعکس‌برداری انجام شد.

اندازه‌گیری MGF

از روش الایزا برای اندازه‌گیری MGF در بافت هر دو نوع عضله، با استفاده از کیت شرکت elabscince ساخت کشور آمریکا با حساسیت ۶۲/۵ ng/ml-۴۰۰۰ ng/ml استفاده شد.

ملاحظات اخلاقی

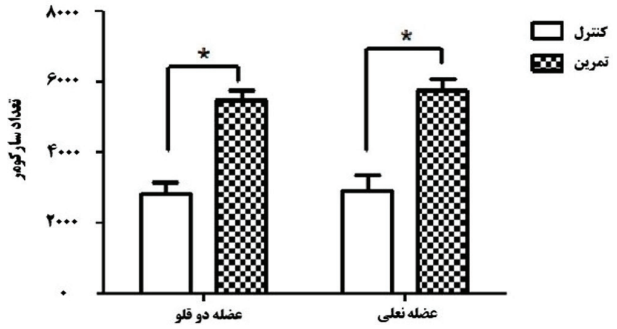
طرح پژوهش حاضر در آزمایشگاه مؤسسه‌ی بافت و ژنتیک پاسارگاد تهران و با نظارت استادان فیزیولوژی و متخصصان آزمایشگاهی و نیز با رعایت کلیه‌ی اصول اخلاقی انجام شد. همچنین کلیه‌ی اصول نگهداری و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی، مطابق دستورالعمل مؤسسه ملی سلامت (NIH)[1] رعایت گردید و تمام مراحل آن را کمیته‌ی اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت با کد اخلاق IR.IAU.RASHT.REC.1402.050 تأیید کرد.

آنالیز آماری

در این تحقیق به‌منظور بررسی طبیعی‌بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک[2] استفاده شد. همچنین برای مقایسه‌ی بین دو گروه از آزمون آماری t مستقل استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار PRISM در سطح معنی‌داری (P<۰/۰۵) صورت پذیرفت.

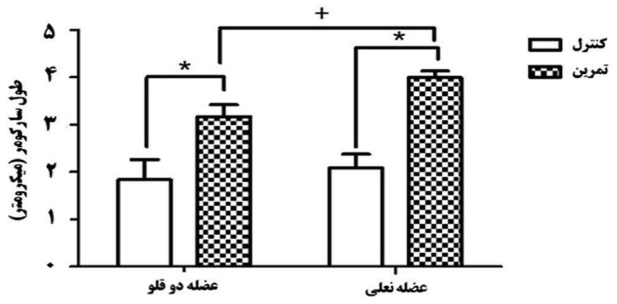
یافته‌ها

براساس آنالیز آماری انجام‌شده، مشخص شد به‌دنبال شش هفته تمرین ترکیبی هوازی-مقاومتی تفاوت معنی‌داری در تعداد سارکومرهای عضله‌ی نعلی P=۰/۰۰۱۶ و دوقلو P=۰/۰۰۰۶ در گروه تمرین نسبت‌به گروه کنترل نشان داده شد (شکل ۱).



شکل ۱. * تفاوت معنی‌دار تعداد سارکومرهای عضله نعلی و دوقلو در دو گروه تمرین و کنترل

براساس آنالیز آماری انجام‌شده و به‌دنبال شش هفته تمرین ترکیبی هوازی-مقاومتی مشخص شد که طول سارکومرهای عضله‌ی نعلی P=۰/۰۰۱۰ و دوقلو P=۰/۰۳۴۸ در گروه تمرین نسبت‌به گروه کنترل دارای مقادیر بالاتر و معنی‌دار بود (P<۰/۰۵) که این روند برای عضله‌ی نعلی در مقایسه با عضله‌ی دوقلو در گروه تمرین بیشتر بوده است (شکل ۲).



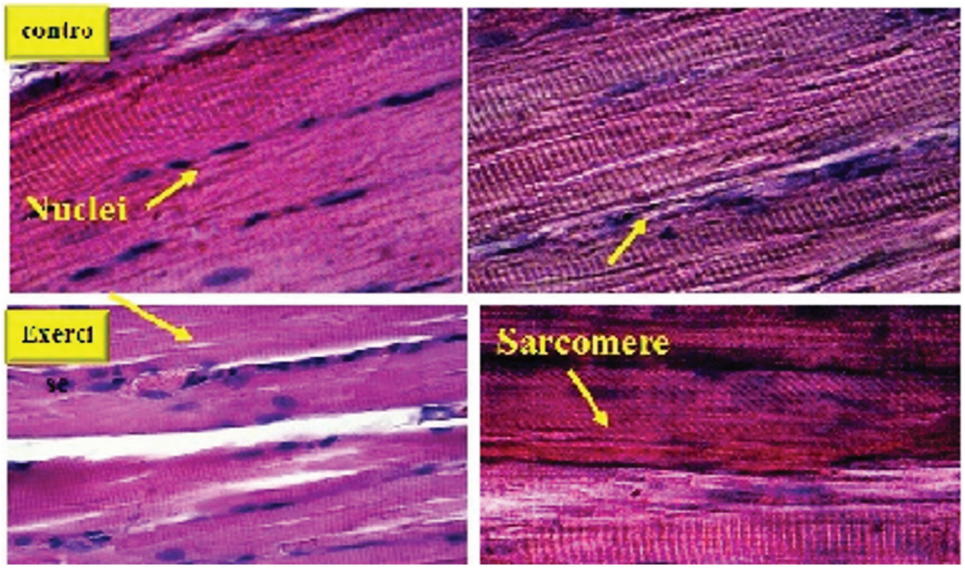
شکل ۲. * تفاوت معنی‌دار طول سارکومرهای عضله‌ی نعلی و دوقلو در دو گروه تمرین و کنترل. + مقایسه‌ی معنی‌دار بین عضله‌ی نعلی نسبت به عضله‌ی دوقلو در گروه تمرین

تصاویر عضله‌ی دوقلو (شکل ۳) در گروه‌های تمرین و کنترل با بزرگ‌نمایی بیست میکرومتر، نشان‌دهنده‌ی مقادیر بالاتر تعداد و طول سارکومرها در موش‌های گروه تمرین در مقایسه با گروه کنترل بود (P<۰/۰۵).

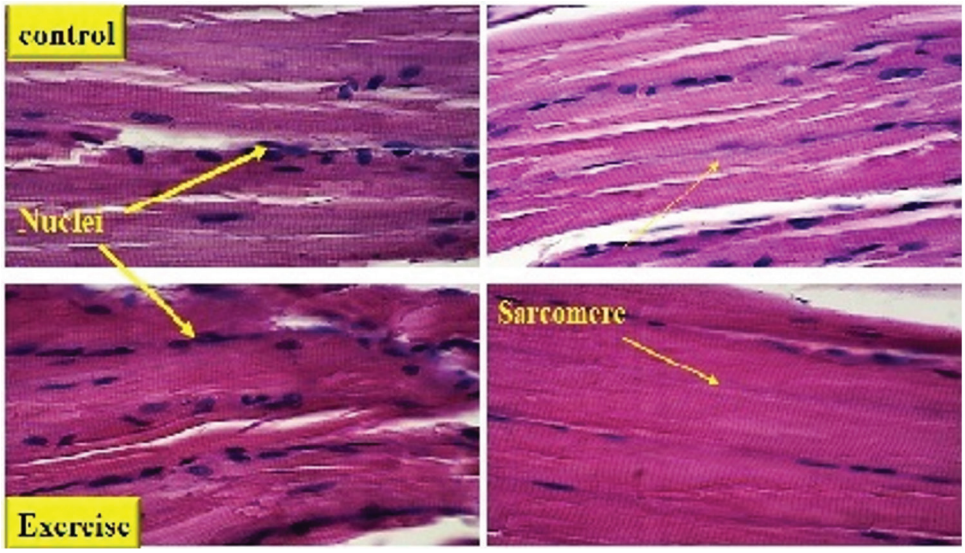
تصاویر عضله‌ی نعلی (شکل ۴) در گروه‌های تمرین و کنترل با بزرگ‌نمایی بیست میکرومتر، نشان‌دهنده‌ی تعداد بالاتر و افزایش طول سارکومرها در موش‌های گروه تمرین در مقایسه با گروه کنترل بود (P<۰/۰۵).

براساس آنالیز آماری انجام‌شده، مشخص شد که مقدار MGF در عضله‌ی نعلی و دوقلو در گروه تمرین نسبت‌به گروه کنترل دارای مقادیر بالاتر و معنی‌دار بود (P<۰/۰۵) (شکل ۵).

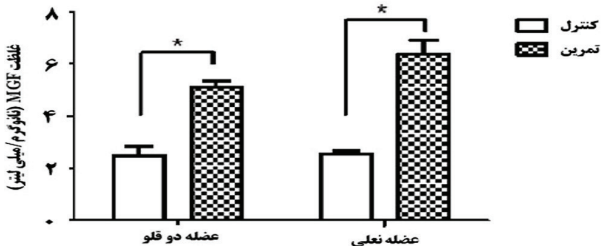
1. National Institutes of Health
2. Shapiro-Wilk



شکل ۳. تصاویر افزایش تعداد و طول سارکومرهای عضله‌ی دوقلو در دو گروه کنترل و تمرین



شکل ۴. تصاویر افزایش تعداد و طول سارکومرهای عضله‌ی نعلی در دو گروه کنترل و تمرین



شکل ۵. * تفاوت معنی‌دار MGF در گروه تمرین و کنترل عضله‌ی دوقلو و نعلی

بحث

تارهای عضله‌ی اسکلتی توانایی چشمگیری برای سازگاری در پاسخ به محرک‌ها، اختلال‌های محیطی و شرایط فشارزا دارند (۱۶). در پاسخ به عوامل بالا، عضله‌ی اسکلتی، تعدادی فرایندهای سلولی شامل نوسازی و هایپرتروفی تار عضله را متحمل می‌شود. یکی از تغییرات فیزیولوژیکی که بر اثر فعالیت بدنی اتفاق می‌افتد هایپرتروفی عضلانی است که خود می‌تواند براساس نوع و شدت فعالیت بدنی تحت تأثیر تغییرات هورمونی از نوع آنابولیک باشد که بیشتر در جنس مذکر به‌صورت افزایش در غلظت تستوسترون، IGF-1 و MGF نمایان می‌شود (۸). بااین‌حال در دوره‌ی کودکی افزایش فزاینده‌ی تستسترون برای رشد عضلانی غالب نیست، بلکه محور GH/IGF-1 قبل از جهش رشدی در دوره‌ی نوجوانی، عامل اصلی هایپرتروفی عضلانی است (۱۷-۱۹). پژوهش حاضر نشان داد تمرینات مقاومتی-هوازی باعث افزایش تعداد و اندازه‌ی سارکومرهای عضله‌ی نعلی و دوقلو شده و این هم‌راستا با مطالعاتی است که نشان داده‌اند تمرین مقاومتی باعث هایپرتروفی عضلانی می‌گردد. این یافته هم‌سو با نتایج بسیاری از پژوهش‌های گذشته است؛ مانند

اثر تمرین مقاومتی بر عضله‌ی دوسربازویی موش‌های نر ویستار که توسط نتو و همکاران انجام شد (۷) و در تحقیق بیگلری و همکاران اثر تمرین با شدت بالا بر عضله‌ی دوقلوی موش‌های صحرایی نر نشان داده شد (۲۰). همچنین نتایج تحقیق باقرپور و همکاران ۲۰۲۰ نشان داد که تمرین مقاومتی–هوازی بر عضله‌ی نعلی موش‌های صحرایی نر در سنین مختلف به هایپرپلازی سلول‌های عضلانی گروه تمرین در مقایسه با گروه کنترل انجامید. درواقع، بهبود ۱۱۲ درصدیِ هایپرتروفی در گروه تمرین نسبت‌به گروه کنترل، حاکی از آن بود که بخش تمرین مقاومتی از طریق افزایش سنتز پروتئین در تارهای عضلانی موجب هایپرتروفی عضلانی شده است (۱۳). از دلایل عمده‌ی هایپرتروفی بافت عضلانی می‌توان به اثر طولی رشد در دوران کودکی اشاره کرد که خود حاصل تغییرات هورمونی ازجمله هورمون‌های آنابولیک مانند رشد، تستسترون، IGF-1 و MGF با منشاء بافت عضلانی است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که MGF عضلانی در هر دو نوع عضله‌ی کند و تندانقباض افزایش داشت (۲۱). نتایج تحقیق هینمیر و همکاران موافق با نتایج پژوهش حاضر بود که نشان داد تمرین مقاومتی، بیانِ mRNA MGF را افزایش می‌دهد (۱۰). همچنین نتایج تحقیق چارلس نشان داد فقط در اثر فشار مکانیکی MGF بیان می‌شود (۱۱).

بررسی‌های انجام‌گرفته نشان می‌دهد که روند رشد بافت عضلانی ناشی از هایپرتروفی در دوران کودکی یعنی از وضعیت نابالغ آغاز و در دوران بلوغ به‌خصوص در جنس نر با سرعت بالایی تداوم دارد. اعمال محرک‌هایی چون تمرینات مقاومتی می‌تواند چنین فرایندی را تغییر دهد (۱۷). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که اجرای تمرینات ترکیبی می‌تواند بر هایپرتروفی عضله‌ی نعلی موش‌های صحرایی نر نابالغ، بالغ و سالمند مؤثر واقع شود؛ بااین‌حال بیشترین تمرین‌پذیری در رده‌های سنی نابالغ و سالمند دیده شد که نشان‌دهنده‌ی پویایی اثر تمرین به‌خصوص در دوران کودکی است یعنی تمرین‌پذیری در این بازه‌ی سنی بالاتر از دوران جوانی است (۱۳). مقایسه‌ی دو نوع عضله‌ی سولئوس و گاستروکینموس در تحقیق حاضر نشان داد اثر تمرین مقاومتی-هوازی بر طول سارکومرهای عضله‌ی کندانقباض بیشتر از تندانقباض بود که خود حاصل اثربخشی بیشتر تمرین استقامتی بر این عضله بود. هرچند محمدنژاد و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود نشان دادند که تمرین مقاومتی موجب تنظیم منفی میوستاتین در عضلات تند و کندانقباض موش‌های صحرایی نر می‌شود که این تغییر در عضله‌ی تندانقباض نسبت‌به عضله‌ی کندانقباض بیشتر است (۲۲). درمجموع باتوجه‌به یافته‌های به‌دست‌آمده می‌توان گفت که تمرین مقاومتی-هوازی می‌تواند باعث رشد عضلانی و هایپرتروفی در دوران کودکی شود.

محدودیت تحقیق

ازجمله محدودیت‌های تحقیق حاضر مقایسه‌نشدن دو نوع تمرین مقاومتی و هوازی به‌صورت مجزا بر فرایند رشد طولی تارهای عضلانی بود. همچنین باتوجه‌به ماهیت متفاوت نمونه‌ی حیوانی، تعمیم نتایج به نمونه‌ی انسانی ممکن نیست و مطالعات بیشتر در نمونه‌های انسانی ضروری به‌نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هایپرتروفی طولی عضلانی در اثر تمرین ترکیبی مقاومتی-هوازی در موش‌های صحرایی نر در دوران رشد افزایش یافت که با افزایش MGF در هر دو نوع بافت عضلانی همراه بود. هرچند اثر تمرین بر افزایش طول سارکومرهای بافت عضلانی کندانقباض بیشتر بود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع

1. Purslow PP. The structure and growth of muscle. In: Lawrie's meat science. Amsterdam: Elsevier; 2023. p. 51-103.
2. Purslow PP. The structure and role of intramuscular connective tissue in muscle function. Front Physiol. 2020;11:495.
3. Hasti Sherizadeh. [Unpublished academic work]. Shiraz: Faculty of Educational Sciences and Psychology, Shiraz University; 2022. Persian.
4. Smith JAB, Murach KA, Dyar KA, Zierath JR. Exercise metabolism and adaptation in skeletal muscle. Nat Rev Mol Cell Biol. 2023;24(9):607-32.

5. Karimi R, Fakhrpour R, Zarneshan A. Effect of resistance training with milk protein concentrate (MPC) supplementation on serum levels of follistatin and myostatin and muscle hypertrophy in beginner bodybuilders. J Appl Health Stud Sport Physiol. 2022;9(1):151-63.
6. Castelli F, Valero-Breton M, Hernandez M, Guarda F, Cornejo J, Cabello-Verrugio C, et al. Regulatory mechanisms of muscle mass: the critical role of resistance training in children and adolescent. In: Cell biology and translational medicine, volume 19: perspectives in diverse human diseases and their therapeutic options. Cham: Springer; 2022. p. 21-34.
7. Krause Neto W, Silva WA, de Oliveira TVA, Vilas Boas A, Ciena AP, Anaruma CA, et al. Muscle hypertrophy is correlated with load progression delta, climb volume, and total load volume in rodents undergoing different ladder-based resistance training protocols. Tissue Cell. 2022;75:101725.
8. Yoshida T, Delafontaine P. Mechanisms of IGF-1-mediated regulation of skeletal muscle hypertrophy and atrophy. Cells. 2020;9(9):1970.
9. Kraemer WJ, Ratamess NA, Hymer WC, Nindl BC, Fragala MS. Growth hormone (s), testosterone, insulin-like growth factors, and cortisol: roles and integration for cellular development and growth with exercise. Front Endocrinol (Lausanne). 2020;11:513110.
10. Heinemeier K, Bjerrum S, Schjerling P, Kjaer M. Expression of extracellular matrix components and related growth factors in human tendon and muscle after acute exercise. Scand J Med Sci Sports. 2013;23(3):e150-61.
11. Lambert CP, Wright NR, Finck BN, Villareal DT. Exercise but not diet-induced weight loss decreases skeletal muscle inflammatory gene expression in frail obese elderly persons. J Appl Physiol (1985). 2008;105(2):473-8.
12. Taghi Beikzadeh Badr P, Shabkhiz F, Shahrbanian S. Expression of PGC-1 alpha isoforms in response to eccentric and concentric resistance training in healthy subjects. J Sport Biosci. 2020;11(4):447-62.
13. Bagherpour Tabalvandani MM, Fadaei MR, Elmieh A. The effect of resistance-aerobic training on the growth of muscle fibers, serum testosterone and androgen receptors on soleus muscles, in different ages groups of male rats. Metab Exerc. 2020;10(2):1-10.
14. Chafy MRF, Tabalvandani MMB, Elmieh A, Arabzadeh E. Determining the range of aerobic exercise on a treadmill for male Wistar rats at different ages: a pilot study. J Exerc Organ Cross Talk. 2022;2(3):96-100.
15. Fadaei Chafy MR, Mohebbi H, Rahmani Nia F, Arabzadeh E. Possible crosstalk between leptin and insulin resistance in sedentary obese boys at different stages of puberty. J Exerc Organ Cross Talk. 2021;1(1):15-23.
16. Powers SK, Schrager M. Redox signaling regulates skeletal muscle remodeling in response to exercise and prolonged inactivity. Redox Biol. 2022;54:102374.
17. Nematalahi M, Farzaneh HA, Farzanegi P. TGF-β1 response to eight weeks combined training with different orders in slow and fast twitch muscles in Wistar rats. Razi J Med Sci. 2021;28(8):11-20.
18. Tunç BS, Toprak F, Toprak SF, Sozer S. In vitro investigation of growth factors including MGF and IGF-1 in neural stem cell activation, proliferation, and migration. Brain Res. 2021;1759:147366.
19. Liu L. Satellite cell activation and signaling pathway response in joint exercise athletes. Rev Bras Med Esporte. 2022;28(5):573-6.
20. Biglari S, Afousi AG, Mafi F, Shabkhiz F. High-intensity interval training-induced hypertrophy in gastrocnemius muscle via improved IGF-I/Akt/FoxO and myostatin/Smad signaling pathways in rats. Physiol Int. 2020;107(2):220-30.
21. Cornish SM, Bugera EM, Duhamel TA, Peeler JD, Anderson JE. A focused review of myokines as a potential contributor to muscle hypertrophy from resistance-based exercise. Eur J Appl Physiol. 2020;120(4):941-59.
22. Mohammadnezhad G, Matin Homayi H, Ghazalian F. Effect of a 6-week resistance training program on transforming growth factor beta-1 and myostatin genes expression in tendons of extensor digitorum longus and soleus muscles in rats. J Arak Univ Med Sci. 2020;23(1):82-91.