

علوم زیستی ورزشی - پاییز ۱۳۹۵
دوره ۸، شماره ۳، ص: ۳۵۳ - ۳۶۴
تاریخ دریافت: ۱۳ / ۰۵ / ۹۲
تاریخ پذیرش: ۲۵ / ۱۲ / ۹۳

تأثیر تمرینات استقامتی و مقاومتی بر میزان فعالیت استیل کولین استراز G_4 در عضلات تند و کندانقباض موش‌های صحرایی

رضا قراخانلو^{۱*} - علی گرزلی^۲ - زینب نبی‌اللهی^۳

۱. دانشیار گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران ۲. استادیار گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران ۳. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

این پژوهش با هدف تعیین اثر هشت هفته تمرین استقامتی و مقاومتی بر میزان فعالیت استیل کولین استراز نوع G_4 در عضلات خم‌کننده دراز انگشت شست (FHL) و نعلی موش‌های صحرایی انجام گرفت. تعداد ۲۴ سر موش صحرایی نر ویستار (سن ۱۰ هفته و وزن $171/94 \pm 8/961$ گرم) به صورت تصادفی به سه گروه کنترل، تمرین استقامتی و مقاومتی تقسیم شدند. گروه تمرین استقامتی و مقاومتی به مدت هشت هفته و هفته‌ای پنج جلسه تمرینات خود را اجرا کردند. تمرینات مقاومتی شامل بالا رفتن از نردبان‌های مخصوص به ارتفاع ۱ متر و ۲۶ پله با حمل یک وزنه بود. نتایج نشان داد که میزان فعالیت استیل کولین استراز G_4 در عضلات تند گروه‌های تمرین مقاومتی و استقامتی در مقایسه با گروه کنترل به صورت معنادار (به ترتیب $P=0/045$ و $P=0/015$) افزایش یافت، ولی تفاوت معناداری در میانگین میزان فعالیت استیل کولین استراز G_4 بین گروه‌های تمرین مقاومتی و استقامتی در عضله تندانقباض مشاهده نشد ($P=0/838$). در عضلات کندانقباض نیز میزان فعالیت استیل کولین استراز G_4 گروه تمرین مقاومتی به صورتی معناداری بالاتر از گروه‌های کنترل و تمرین استقامتی بود (به ترتیب $P=0/003$ و $P=0/005$)؛ ولی تفاوت معناداری بین میانگین میزان فعالیت استیل کولین استراز G_4 گروه‌های کنترل و تمرین استقامتی مشاهده نشد ($P=0/958$). به نظر می‌رسد تمرین مقاومتی اهمیت حاضر تأثیر بارزی در میزان فعالیت استیل کولین استراز G_4 در هر دو نوع عضله داشته است که احتمالاً حاکی از است به دلیل تأثیرپذیری بیشتر این عضلات به محرک‌های تمرینی باشد.

واژه‌های کلیدی

استیل کولین استراز، تمرینات استقامتی، تمرینات مقاومتی، عضلات FHL و نعلی.

مقدمه

پیوندگاه عصبی-عضلانی پستانداران، قابلیت سازگاری بالایی دارد. ساختار این پیوندگاه تحت تأثیر عواملی چون فرایند رشد، ارتفاع بالا، استرس ناشی از شوک الکتریکی، استفاده نامناسب و حالت‌های پاتولوژیک تغییر می‌کند (۲۱). براساس نتایج پژوهش‌ها تمرینات مقاومتی و استقامتی می‌تواند پیوندگاه عصبی-عضلانی را تحت تأثیر قرار دهد (۴، ۵). شواهد حاکی از آن است که فعالیت استقامتی، ریخت-شناسی پیوندگاه عصبی-عضلانی^۱ پستانداران را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴). تمرین قدرتی نیز موجب تغییر در الگوی فراخوانی و همزمانی واحدهای حرکتی شده و تمرینات با وزنه سبب کاهش مهار دستگاه عصبی-عضلانی می‌شوند (۴، ۵).

زمانی که ایمپالس عصبی نوروون حرکتی به انتهای اکسونی می‌رسد، انتقال ایمپالس‌های عصبی در صفحه محرک انتهایی روی می‌دهد. حرکت یون‌های Ca^{2+} به داخل پایانه عصبی که از طریق کانال‌های وابسته به ولتاژ کلسیمی انجام می‌گیرد، رهایی استیل‌کولین^۲ توسط اگزوسیتوز^۳ را تسهیل می‌کند (۲۱). گیرنده‌های نیکوتینی استیل‌کولین (nAChR) پروتئین‌های سراسری غشا و اعضای اصلی سرگروه کانال یونی دریچه لیگاندی هستند که به اتصال استیل‌کولین پاسخ می‌دهد (۱۱). تغییر در قابلیت نفوذپذیری غشای پس‌سیناپسی در نهایت پتانسیل صفحه انتهایی^۴ را ایجاد می‌کند که در طول غشا منتشر می‌شود (۲۱). پس از آن استیل‌کولین رها شده توسط استیل‌کولین‌استراز^۵ موجود در NMJ برداشته می‌شود و کار انتقال تحریک در این مرحله به پایان می‌رسد.

استیل‌کولین‌استراز یکی از پروتئین‌های عملکردی کلیدی در پیوندگاه عصبی-عضلانی است که مسئولیت هیدرولیز سریع استیل‌کولین بعد از اتصال آن به گیرنده‌های پس‌سیناپسی را برعهده دارد (۳). دو نوع عمده استیل‌کولین‌استراز در پیوندگاه عصبی-عضلانی وجود دارد، نوع اول استیل‌کولین‌استراز، $A_{1\gamma}$ نام دارد، این نام بدین سبب است که استیل‌کولین به شکل نامتقارن^۶ است و از دوازده واحد استیل‌کولین‌استراز کروی شکل تشکیل یافته، و به وسیله دم کلاژنی به غشای پایه متصل شده است. نوع دوم G_4 نام دارد که آزادانه با غشای پایه ارتباط دارد و در تمام طول ناحیه اطراف پیوندگاه موجود است؛

-
1. Neuromuscular Junction
 2. Acetylcholine
 3. Exocytosis
 4. End-Plate Potential
 5. Acetylcholinesteras
 6. Asymmetric

اگرچه استیل کولین استراز G₄، فرم اصلی در عضله نیست، اما فعالیت آن به طور دقیقی کنترل می‌شود. مطالعات ثابت کرده‌اند که سطح استیل کولین استراز G₄ به وسیله فعالیت پویای عضله اسکلتی کنترل می‌شود؛ تغییر سطح استیل کولین استراز G₄ پس از عصب‌برداری نیز نقش عصب حرکتی را در تنظیم این ایزوفرم ثابت می‌کند (۱۵، ۸، ۷).

دو تا سه هفته تحریک مستقیم پس از عصب‌برداری در عضله نعلی، فعالیت ویژه استیل کولین استراز را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد (۱۴) و اثر تحریک روی فرم‌های مولکولی مختلف، قویاً به الگوی تحریک بستگی دارد. افزایش مزمن سطح فعالیت طبیعی، همان‌گونه که از طریق یک برنامه ملایم ورزشی ایجاد شده، به طور انتخابی ویژگی مخزن G₄ عضلات تندانقباض را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳). استیل کولین استراز با فعالیت عضلانی به صورت انتخابی تغییر می‌کند، بدین معنا که در حالی که عضلات کندانقباض زیاد تحت تأثیر تمرین قرار نمی‌گیرند، عضلات تندانقباض با تمرین از طریق تغییر در مخزن G₄ پاسخ می‌دهند.

شواهد بیانگر آن است که استیل کولین استراز در پایانه آکسونی از جسم سلولی نورون حرکتی به وسیله جریان آکسوپلاسمیک منتقل می‌شود. اگرچه تار عضلانی نیز قادر به سنتز این آنزیم است، با وجود این از آزمایش‌های قطع عصب چنین برمی‌آید که اغلب این سنتز تحت کنترل تغذیه‌ای نورون حرکتی قرار دارد (۲). همان‌طور که می‌دانیم حالت پویایی عضله نیز فعالیت استیل کولین استراز G₄ را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ با توجه به توزیع کولین استرازها در سلول‌های خونی و مغز، این پژوهش می‌تواند آغازی برای درک تأثیرات شیوه‌های مختلف تمرینی بر بهبود برخی بیماری‌ها (همانند سندروم ضعف عضلانی) نیز باشد. افزایش فعالیت استیل کولین استراز G₄ بر اثر تمرینات استقامتی در پژوهش‌های پیشین نشان داده شده است (۹).

بنابراین بررسی تأثیر تمرین مقاومتی بر فعالیت استیل کولین استراز G₄ یافته‌های جدیدی را تولید خواهد کرد که با مقایسه تمرین مقاومتی و استقامتی امکان متمایز ساختن اثر این دو شیوه تمرینی در عضلات تندانقباض و کندانقباض میسر خواهد شد. از این رو، سهم سازگاری‌های عصبی-عضلانی در مقابل سایر سازگاری‌ها در بهبود عملکرد ورزشی بر اثر انواع متفاوت تمرین در عضلات مختلف روشن‌تر خواهد شد. همچنین این موضوع می‌تواند مفاهیمی را در زمینه استفاده از تمرینات قدرتی برای ورزشکاران استقامتی در پی داشته باشد.

روش پژوهش

با توجه به اینکه این پژوهش روی آزمودنی‌های حیوانی (موش‌های صحرایی) انجام گرفت و امکان کنترل کامل آنها وجود داشت، از نوع تجربی است.

جامعه آماری و نمونه پژوهش، روش و نحوه گزینش نمونه‌ها: تعداد ۲۴ سر موش نر ویستار با سن پنج هفته از مؤسسه سرم‌سازی رازی خریداری شد که پس از چهار هفته نگهداری (برای رسیدن به سن مورد نظر) و یک هفته عادت دادن به پروتکل‌های تمرینی (آشناسازی)، از هفته دهم تمرینات شروع شد. حیوانات در گروه‌های چهارتایی در قفس‌های مخصوص نگهداری شدند. آنها در دمای اتاق ($22 \pm 1/4$ درجه سانتی‌گراد) و براساس چرخه ۱۲ ساعت خواب و بیداری (روشنایی و تاریکی) و با در دسترس بودن آب و غذا نگهداری و کنترل شدند. موش‌ها به‌طور تصادفی همگن شدند از نظر وزنی در سه گروه کنترل- شاهد ($n=8$)، تمرین استقامتی (تداومی) ($n=8$) و تمرین مقاومتی ($n=8$) قرار گرفتند. روش اجرای پژوهش: تمرینات استقامتی شامل هشت هفته و هفته‌ای پنج جلسه (۳ روز تمرین ۱ روز استراحت و ۲ روز تمرین ۱ روز استراحت) دویدن روی نوار گردان مخصوص جوندگان (ساخت ایران) بود. تمرینات در آغاز شامل هر روز ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۰ متر در دقیقه بود و این میزان به صورت فزاینده به هر روز ۶۰ دقیقه روی نوار گردان و با سرعت ۳۰ متر در دقیقه (معادل ۷۰ تا ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی-۱۸، ۱۲) رسید (۱۶، ۱۰). (جدول ۱). قبل از هر جلسه تمرینی موش‌ها وزن کشی می‌شدند. حیوانات در طول هفته‌های قبل از شروع تمرینات با دویدن روی نوار گردان آشنا شدند و در صورت خودداری از صعود، از شوک الکتریکی کم‌وات در انتهای نوار گردان استفاده می‌شد.

جدول ۱. برنامه تمرینات استقامتی

هفته‌های تمرین	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
مدت تمرین (دقیقه/روز)	۳۰	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۰	۶۰
سرعت نوار گردان (متر/دقیقه)	۱۰	۲۰	۲۰	۲۵	۲۵	۳۰	۳۰	۳۰

تمرینات مقاومتی شامل هشت هفته و هفته‌ای پنج جلسه صعود از نردبان ۱ متری با ۲۶ پله (ساخت پژوهشگر) بود. در این تمرین، پس از بستن وزنه به دم موش صحرایی، آنها وادار به صعود از نردبان عمود (۸۵ درجه) می‌شدند. پیش از هر جلسه تمرینی موش‌ها وزن کشی می‌شدند. در هفته اول

میزان وزنه‌های بسته‌شده به موش‌ها ۳۰ درصد وزن بدن آنها بود که به تدریج افزایش یافت و به حدود ۲۰۰ درصد وزن بدن آنها در هفته پایانی رسید (جدول ۲). حیوانات در طول هفته‌های قبل از شروع تمرینات با صعود از نردبان آشنا شدند و در صورت خودداری از صعود، از شوک الکتریکی کم‌وات استفاده می‌شد. تمرینات در سه نوبت چهار تکراری انجام می‌گرفت و ۳ دقیقه استراحت بین نوبت‌ها و حدود ۱۰ ثانیه بین تکرارها در نظر گرفته شد. این شیوه تمرینی با اندکی تغییرات از منابع معتبر اخذ شد. اثربخشی این نوع تمرین مقاومتی در آمادگی عضلانی در پژوهش‌های پیشین به تأیید رسیده بود (۱۳).

جدول ۲. تمرینات مقاومتی در ۳ نوبت ۴ تکراری روی نردبان ۱ متری با ۲۶ پله

هفته	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم
بار (درصدوزن بدن)	۳۰	۷۰-۸۰	۱۰۰	۱۲۰-۱۳۰	۱۴۰-۱۵۰	۱۷۰-۱۷۵	۱۸۰-۱۹۰	۲۰۰

گروه کنترل (شاهد) نیز به‌منظور تجربه کلیه شرایط موجود (صدای نوار گردان، نردبان‌ها و پژوهشگران در حین تمرین) به‌جز تمرین، در محل تمرینات حضور داشت.

آماده‌سازی بافت: ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی حیوانات با ترکیبی از Ketamine (۵۰-۳۰ میلی‌گرم/کیلوگرم وزن بدن) و Xylazine (۵-۳ میلی‌گرم/کیلوگرم وزن بدن) بی‌هوش شدند و عضلات خم‌کننده دراز انگشت شست ۱ (FHL) و نعلی آنها تحت شرایط استریل از طریق شکاف روی ناحیه پشتی جانبی ۲ اندام پشتی تحتانی جدا شد. بافت‌های مورد نظر بلافاصله در نیتروژن مایع (دمای ۱۹۶- درجه) منجمد شده و ضمن انتقال به آزمایشگاه در دمای ۸۰- درجه تا زمان اجرای سنجش آزمایشگاهی مورد نظر نگهداری شدند. بافت‌ها هموژن شده و با استفاده از روش الکتروفورز (پلی‌اکریل-آمید ۰/۰۶ غیرتقلیبی) زیر واحدهای فرعی استیل کولین استراز در آن جداسازی شد و سپس از کیت مخصوص سنجش میزان فعالیت استیل کولین استراز به روش الایز توسط کیت محصول کمپانی بایوبیژن آمریکا با حساسیت ۰/۵ μg/ml و دقت CV = ۲/۳٪ استفاده شد. برای هموژن کردن از بافر PBS (Phosphate Buffer Saline) با ترکیب آپروتینین (Aprotinin) به‌عنوان آنتی‌پروتئاز استفاده شد (1ml)

1 . Flexor Hallicus Longus

2 . Dorsolateral

و سپس با دور ۶۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شده و دو بخش محلول فوقانی Supernatant و رسوب Pellet آنها از هم جدا شد. هموژن و سانتریفیوژ در دانشگاه تربیت مدرس و آنالیز در مرکز تحقیقات غدد و متابولیسم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی انجام گرفت. بخش محلول فوقانی Supernatant برای اندازه‌گیری میزان فعالیت استیل کولین‌استراز نوع A12 استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری: پس از کسب اطمینان از طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، برای بررسی اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته و مقایسه بین تارها از آزمون ANOVA و در صورت وجود تفاوت معنادار از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. تمام عملیات آماری پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ و سطح معناداری $P < 0.05$ انجام گرفت.

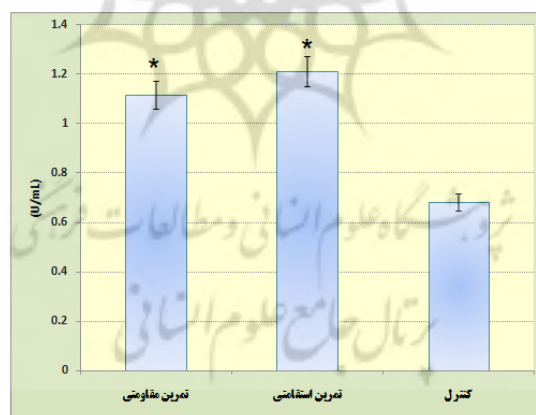
یافته‌های پژوهش

ارزیابی طبیعی بودن توزیع داده‌های مربوط به میزان فعالیت استیل کولین‌استراز نوع A12 با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در عضلات تندانقباض برای گروه کنترل ۰/۹۴۶، گروه تمرین مقاومتی ۰/۸۴۵ و تمرین استقامتی ۰/۹۲۴ و در عضلات کندانقباض برای گروه کنترل ۰/۹۶۱، گروه تمرین مقاومتی ۰/۸۸۵ و تمرین استقامتی ۰/۴۷۲ بود. تمرینات استقامتی که پروتکل تمرینی آن از منابع معتبر اقتباس و کارایی خود در زمینه

سازگاری‌های استقامتی را نشان داده بود (۱۴، ۱۰)، موجب ایجاد سازگاری‌های استقامتی در حیوانات شد، به طوری که آنها توانستند در هفته‌های پایانی با سرعت ۳۰ متر در دقیقه که معادل ۷۰ تا ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی (VO₂max) است، به مدت ۶۰ دقیقه بدون.

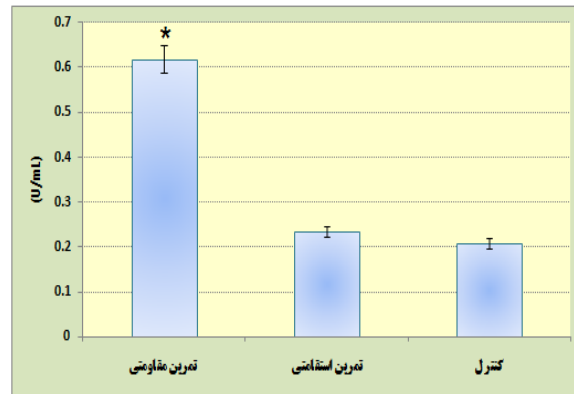
میزان فعالیت استیل کولین استراز G₄ در عضلات تندانقباض (شکل ۱) گروه‌های تمرین مقاومتی (۱/۱۱۸ (U/mL)) و استقامتی (۱/۲۱۱ (U/mL)) در مقایسه با گروه کنترل (۰/۶۸۳ (U/mL)) به صورتی معنادار (به ترتیب P=۰/۰۴۵ و P=۰/۰۱۵) افزایش یافت، ولی تفاوت معناداری در میانگین میزان فعالیت استیل کولین استراز G₄ بین گروه‌های تمرین مقاومتی و تمرین استقامتی در عضله تندانقباض موش‌های صحرائی مشاهده نشد (P=۰/۸۳۸).

میزان فعالیت استیل کولین استراز G₄ عضلات نعلی (شکل ۲) در گروه تمرین مقاومتی (۰/۶۱۸ (U/mL)) به صورتی معنادار بالاتر از گروه‌های کنترل (۰/۲۰۸ (U/mL)) و تمرین استقامتی (۰/۲۳۵ (U/mL)) بود (به ترتیب P=۰/۰۰۳ و P=۰/۰۰۵)؛ ولی تفاوت معناداری بین میانگین میزان فعالیت استیل کولین- استراز G₄ گروه‌های کنترل و تمرین استقامتی در عضله کندانقباض موش‌های صحرائی مشاهده نشد (P=۰/۹۵۸).



*معنادار بودن اختلاف میانگین با گروه کنترل

شکل ۱. میزان فعالیت استیل کولین استراز نوع G₄ پس از هشت هفته تمرین متفاوت در عضله تندانقباض موش‌های صحرائی



*معنادار بودن اختلاف میانگین با دو گروه دیگر

شکل ۲. میزان فعالیت استیل کولین استراز نوع G4 پس از هشت هفته تمرین در عضلات نعلی موش‌های صحرائی

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌نظر می‌رسد که در مورد عضله کندانقباض تنش نعلی، تمرین مقاومتی نسبت به تمرین استقامتی اثربخشی بیشتری بر فعالیت استیل کولین استراز نوع G4 داشته است. در صورتی که در مورد عضله تندتنش FHL هر دو تمرین استقامتی و مقاومتی تأثیر نسبتاً مشابهی بر فعالیت استیل کولین استراز نوع G4 داشته‌اند که می‌توان این اثربخشی را به قابلیت تغییرپذیری بیشتر عضلات تندتنش نسبت به عضلات کندتنش، بالاتر بودن نسبت رونوشت‌های استیل کولین استراز نوع G4 در عضلات تندتنش و خستگی ایجادشده بر اثر تمرین استقامتی نسبت داد (۲۰، ۱۷، ۶). در ضمن به‌نظر می‌رسد عضلات نعلی در حرکت بالا رفتن از نردبان‌های عمودی، درگیری بیشتر و فشار بیشتری را در مقایسه با دویدن معمولی داشته است. این موضوع ممکن است ناشی از انقباض‌های برون‌گرا و درون‌گرای بیشتر در جریان بالا رفتن عمودی از پله‌های نردبان عمودی در مقایسه با دویدن معمولی روی نوار گردان باشد.

توانایی جابه‌جایی وزنه‌ها و عدم تفاوت وزن حیوانات در گروه تمرین مقاومتی با گروه کنترل و استقامتی پس از هشت هفته تمرین می‌تواند حاکی از آن باشد که تمرین مقاومتی تا حد زیادی به‌طور ویژه از طریق اعمال سازگاری‌های عصبی-عضلانی موجب بهبود قدرت شده است. پژوهش‌ها نشان دادند که تحریک ورزشی و افزایش فعالیت انتقال عصبی توأمان با تغییرات NMJ تار عضلانی صورت نمی‌گیرد و ممکن است NMJ نسبت به سایر بخش‌های عضله اسکلتی به پاسخ‌دهی سازشی حاصل از ورزش حساس‌تر باشد (۴). این پژوهشگران نشان دادند که برای افزایش سطوح صفحه انتهایی حرکتی نعلی، تمرینات مقاومتی همانند تمرینات استقامتی، کارآمدی لازم را دارد (۴).

در پژوهش حاضر افزایش تقریباً ۴۳ درصدی فعالیت استیل کولین استراز G₄ در عضلات تندانقباض گروه تمرین استقامتی مشاهده شد. عضلات تندانقباض و کندانقباض موش‌های صحرائی همچنین از نظر بیان استیل کولین استراز با هم تفاوت دارند (۱۹). بنابراین بروز پاسخ‌های متفاوت دور از انتظار نیست. عضله تندانقباض FHL از طریق تغییر در میزان فعالیت استیل کولین استراز G₄ به افزایش در فعالیت عصبی-عضلانی ایجاد شده از طریق ورزش یا تحریک الکتریکی پاسخ می‌دهد. نشان داده شده که اگرچه عضلات تندتنش از نظر عملکردی و معماری داخلی با هم فرق دارند، پاسخ استیل کولین استراز G₄ آنها با سطح فعالیتشان همبستگی دارد (۶).

در پژوهش حاضر تمرین مقاومتی در مقایسه با گروه کنترل افزایش تقریباً ۶۶ درصدی در فعالیت ایزوفرم استیل کولین استراز G₄ عضله کندانقباض و افزایش تقریباً ۳۹ درصدی در فعالیت ایزوفرم استیل کولین استراز G₄ عضلات تندانقباض ایجاد کرد. این امر نشان‌دهنده درگیر بودن این عضلات در این پروتکل تمرینی است که در پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده شده است (۱۳). همچنین سازگارپذیر بودن پیوندگاه عصبی-عضلانی بر اثر تمرینات ورزشی، که در پژوهش‌های پیشین بدان اشاره شده است، تأیید شد (۱۶). بنائی فر و همکاران نیز افزایش شایان توجهی را در میزان فعالیت ایزوفرم A12 استیل کولین استراز در عضلات تندانقباض موش‌های صحرائی بر اثر تمرینات مقاومتی مشابه به‌دست آوردند (۱). همچنین در هر سه گروه تمرین مقاومتی، استقامتی و کنترل میزان فعالیت ایزوفرم استیل کولین استراز G₄ عضله FHL در مقایسه با عضله نعلی بیشتر بود که با پژوهش‌های مشابه در این زمینه همخوانی دارد (۹، ۳). علت افزایش میزان فعالیت استیل کولین استراز G₄ در عضله FHL بر اثر هر دو نوع تمرین ممکن است ناشی از پاسخ‌پذیری بیشتر این عضله به محرک‌های تمرینی در مقایسه با عضلات کندانقباض باشد. همچنین همان‌طور که جاسمین و گسیگر عنوان کرده‌اند (۹)، نوع تحریک

وارد شده به عضله (تدامی یا تناوبی) نیز می‌تواند این پاسخ‌پذیری را تحت تأثیر قرار دهد. در پژوهش حاضر نیز تمرین مقاومتی که شکل تقریباً تناوبی داشت، بر هر دو نوع عضله تأثیر معناداری گذاشت. در مجموع و با در نظر گرفتن یافته‌های پژوهش حاضر، نتیجه گرفته می‌شود که تمرینات مقاومتی نیز می‌تواند همانند تمرینات استقامتی به افزایش میزان فعالیت استیل‌کولین‌استراز نوع G_4 در عضلات تندتنش منجر شود و بروز خستگی را به تعویق بیندازد. در مورد عضلات کندتنش انجام پژوهش‌های دیگر با شدت‌ها و مدت‌های بالاتر و متغیرهای وسیع‌تر به‌منظور نتیجه‌گیری قاطع در زمینه سازوکار بهبود رهایش استیل‌کولین بر اثر تمرینات ورزشی استقامتی ضروری است. با این حال، به نظر می‌رسد که در مورد عضله کندتنش تمرین مقاومتی تأثیر بیشتری در میزان فعالیت استیل‌کولین‌استراز نوع G_4 داشته است. این موضوع می‌تواند ناشی از تفاوت در میزان یا الگوی فشار وارده توسط انواع تمرین در پژوهش حاضر نیز باشد. همچنین با توجه به به‌کار نگرفتن عضلات تندتنش در فعالیت‌های روزمره، ظرفیت ابتدایی بیشتر این نوع عضلات برای پاسخ‌دهی بیشتر و سازگاری‌های وسیع‌تر در مقایسه با عضلاتی که پیوسته در حال فعالیت‌اند (همانند عضلات نعلی در حفظ قامت بدن) دور از انتظار نیست. با توجه به نقش حیاتی و ویژه عضلات تونیک‌کنندانباض در سلامت و پیشگیری از خستگی عصبی-عضلانی در فعالیت‌های ورزشی طولانی‌مدت، این امر اهمیت روزافزون تمرینات مقاومتی را بارزتر می‌سازد. از این‌رو، نتایج پژوهش حاضر تا حدودی به‌کارگیری تمرینات مقاومتی برای ورزشکاران استقامتی به‌منظور به‌تعویق انداختن خستگی در پیوندگاه عصبی عضلانی را آشکار می‌کند.

منابع و مأخذ

۱. بنائی فر، عبدالعلی؛ گرزلی، علی؛ هدایتی، مهدی؛ نبی‌اللهی، زینب (۱۳۹۰). اثر ۸ هفته تمرین مقاومتی بر فعالیت استیل‌کولین‌استراز در عضلات موش صحرائی، مجله فیض، ج ۱۵ ش ۴، ص ۳۲۱ - ۳۱۶.
۲. مکینتاش، برایان آر؛ گاردینر، فیلیپ اف؛ و مک کومز، الان جی (۱۳۹۱). ساختار و عملکرد عضله اسکلتی، ترجمه رضا قراخانلو، احمد آزاد و علی گرزلی، تهران، سمت، ص ۹۵ - ۹۰.
3. Crne-Finderle, N., Pregelj, P., Sketelj, J. (2005). "Junctional and extrajunctional acetylcholinesterase in skeletal muscle fibers". Chem Biol Interact., Vol.157-158, PP: 23-27.

4. Deschenes, M.R., Judelson, D.A., Kraemer, W.J., Meskaitis, V.J., Volek, J.S., Nindl, B.C., Harman, F.S., Deaver, D.R. (2000). "Effects of resistance training on neuromuscular junction morphology". *Muscle Nerve.*, Vol.23, No.10, PP: 1576-1581.
5. Fahim, M.A. (1997). "Endurance exercise modulates neuromuscular junction of C57BL/6NNia aging mice". *J Appl Physiol.*, Vol.83, No.1, PP: 59-66.
6. Gisiger, V., Bélisle, M., Gardiner, P.F. (1994). "Acetylcholinesterase adaptation to voluntary wheel running is proportional to the volume of activity in fast, but not slow, rat hindlimb muscles". *Eur J Neurosci.*, Vol.6, No.5, PP: 673-680.
7. Gregory, E.J., Hodges-Savola, C.A., Fernandez, H.L. (1989). "Selective increase of tetrameric (G4) acetylcholinesterase Activity in rat hindlimb skeletal muscle following short-term denervation". *J Neurochem.*, Vol.53, No.5, PP: 1411-1418.
8. Hodges-Savola, C. A., and Fernandez, H. L. (1991). "A role for acetylcholine-nicotinic receptor interactions in the selective increase of rat skeletal muscle G4 acetylcholinesterase following short-term denervation". *J Neurochem.*, Vol.56, No.4, PP: 1423-1431.
9. Jasmin, B.J., Gisiger, V. (1990). "Regulation by exercise of the pool of G4 acetylcholinesterase characterizing fast muscles: opposite effect of running training in antagonist muscles". *J Neurosci.*, Vol.10, No.5, PP: 1444-1454.
10. Joo YI, Sone T, Fukunaga M, Lim SG, Onodera S. (2003). "Effects of endurance exercise on three-dimensional trabecular bone microarchitecture in young growing rats". *Bone.*, Vol.33, No.4, PP: 485-493.
11. Kalamida, D., Poulas, K., Avramopoulou, V., Fostieri, E., Lagoumintzis, G., Lazaridis, K., Sideri, A., Zouridakis, M., Tzartos, S.J. (2007). "Muscle and neuronal nicotinic acetylcholine receptors. Structure, function and pathogenicity". *FEBS J.*, Vol.274, No.15, PP: 3799-3845.
12. Kowalchuk H., Noble E. (2013). The effects of acute high- and low-intensity exercise on Hsp70 and Hsp90 accumulation in rat skeletal myofibres and vasculature. University of Western Ontario. Thesis, 1- 57. p 42.
13. Lee, S., Farrar, R.P. (2003). "Resistance training induces muscle-specific changes in muscle mass and function in rat". *JEPonline.*, Vol.6, No.2, PP: 80-87.
14. Lømo, T., Massoulié, J., Vigny, M. (1985). "Stimulation of denervated rat soleus muscle with fast and slow activity patterns induces different expression of acetylcholinesterase molecular forms". *J Neurosci.*, Vol.5, No.5, PP: 1180-1187.
15. Massoulié, J. (2002). "The origin of the molecular diversity and functional anchoring of cholinesterases". *Neurosignals.*, Vol.11, No.3, PP: 130-143.
16. Parnow A, Gharakhanlou R, Gorginkaraji Z, Rajabi S, Eslami R, Hedayati M and Mahdian R. (2012). Effects of Endurance and Resistance Training on Calcitonin Gene-Related Peptide and Acetylcholine Receptor at Slow and Fast Twitch Skeletal Muscles and Sciatic Nerve in Male Wistar Rats. *International Journal of Peptides.* 2012;1-8.

17. Prakash, Y.S., Smithson, K.G., and Sieck, G.C. (1995). "Growth-related alterations in motor endplates of type-identified diaphragm muscle fibres". *J Neurocytol.*, Vol.24, No.3, PP: 225-235.
18. Rodrigues B, Figueroa D.M, Mostarda C.T, Heeren M.V, Irigoyen M.C and Angelis K.D. Maximal exercise test is a useful method for physical capacity and oxygen consumption determination in streptozotocin-diabetic rats. *Cardiovascular Diabetology* 2007, 6:38.
19. Sketelj J, Crne-Finderle N, Ribaric S, Brzin M. (1991). "Interactions between intrinsic regulation and neural modulation of acetylcholinesterase in fast and slow skeletal muscles". *Cell Mol Neurobiol.*, Vol.11, No.1, PP: 35-54.
20. Waerhaug, O., Dahl, H.A., and Kardel, K. (1992). "Different effects of physical training on the morphology of motor nerve terminals in the rat extensor digitorum longus and soleus muscles". *Anat Embryol (Berl.)*, Vol.186, No.2, PP: 125-128.
21. Wilson, M.H., Deschenes, M.R. (2005). "The neuromuscular junction: anatomical features and adaptations to various forms of increased, or decreased neuromuscular activity". *Int J Neurosci.*, Vol.115, No.6, PP: 803-828.

