

مقاله پژوهشی

اثر تمرین مقاومتی با شدت زیاد و متوسط بر بیان ژن AMPK, PGC-1 α , TFAM و سیتوکروم ث میوسیت‌های قلبی موش‌های صحرایی سالمند

روح الله طاهری گندمانی، ارسلان دمیرچی^{*}، بهمن میرزایی

دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

پذیرش: ۱۱ دی ۱۴۰۰

دریافت: ۲۶ آذر ۱۴۰۰

چکیده

زمینه و هدف: بیماری‌های قلبی-عروقی از دلایل اصلی مرگ و میر در سالمندان می‌باشند. سیگنالینگ بیوژنز میتوکندری نقش مهمی در تعادل انرژی قلبی عروق دارد. هدف این پژوهش بررسی اثر تمرین مقاومتی با شدت زیاد و متوسط بر بیان ژن برخی از مولکول‌های سیگنالینگ میتوکندری شامل AMPK, PGC-1 α , TFAM و سیتوکروم ث قلب موش‌های صحرایی سالمند بود.

روش‌ها: ۲۵ سر موش صحرایی نر سالمند ۲۳ ماهه نژاد ویستار دارای میانگین وزنی ۴۳۷ گرم به صورت تصادفی به سه گروه، تمرین مقاومتی با شدت متوسط (۹ سر)، شدت زیاد (۸ سر) و کنترل (۸ سر) تقسیم شدند. تمرینات مقاومتی ۵ روز در هفته برای ۸ هفته و شامل بالا رفتن از نردبان با شدت زیاد (۸۰٪ حداکثر ظرفیت حمل ارادی) و شدت متوسط (۶۰٪ حداکثر ظرفیت حمل ارادی) اجرا شد. ۷۲ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، میزان بیان ژن‌ها در قلب به روش "واکنش زنجیره‌ای پلیمرز کمی در زمان واقعی" اندازه‌گیری شد. برای مقایسه گروه‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی توکی در سطح معناداری $p < 0.05$ استفاده شد.

یافته‌ها: بیان PGC-1 α در هر دو گروه تمرینی نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری یافت ($p < 0.05$). بیان سیتوکروم ث در گروه تمرین مقاومتی با شدت متوسط نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری یافت ($p < 0.05$). در میزان بیان دیگر فاکتورها بین گروه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری: تمرینات مقاومتی با شدت زیاد و متوسط موجب افزایش بیان PGC-1 α و تمرین مقاومتی با شدت متوسط موجب افزایش بیان سیتوکروم ث در سلول‌های قلبی موش‌های سالمند می‌گردد. این اثرات می‌تواند در بهبود تعادل انرژی سلول‌های قلبی در سالمندان مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: بیوژنز میتوکندریایی، تمرین مقاومتی، میوسیت قلب

مقدمه

یک سوم حجم سیتوپلاسم سلول‌های قلبی را میتوکندری اشغال کرده است. به‌نظر می‌رسد داکسی ریبونوکلیئیک اسید میتوکندریایی (mtDNA)^۲ نسبت به ژنوم هسته‌ای نسبت به آسیب اکسیداتیو آسیب‌پذیرتر باشد. آسیب mtDNA یکی از دلایل اختلال در عملکرد میتوکندری است که منجر به کاهش فعالیت متابولیک سلول می‌شود و این اختلال در طی فرآیند سالخوردگی قابل‌مشاهده است. مشخص شده است که عدم-تولید انرژی کافی، عامل مهمی در اختلالات قلبی محسوب

فعالیت ناکافی و کم‌تحركی علت ۲۰٪ از مرگ‌ومیرهای حاصل از بیماری‌های قلبی-عروقی، سرطان و دیابت شناخته شده است و در هر سنی به ویژه سالمندی، تغییر در الگوی زندگی مثل فعالیت بدنی و ورزش، عاملی مهم در کاهش مرگ‌ومیرها و افزایش طول عمر است [۱]. میزان فعالیت جسمانی افراد با افزایش سن، کاهش می‌یابد و با ورود به دوره سالمندی این کاهش چشمگیرتر می‌شود [۲]. قلب اندامی است که سطح بالایی از آدنوزین تری‌فسفات (ATP)^۱ را نیاز دارد و

^۲ Mitochondrial deoxyribonucleic acid (mtDNA)^۱ Adenosine triphosphate (ATP)

می‌شود. هیپرتروفی عروق بطنی و هیپرتروفی همراه با افزایش حجم میتوکندری پاسخ جبرانی مهم در این گونه موارد است [۳]. برای افزایش عملکرد میتوکندری دو عامل کمیت و کیفیت نقش دارند. کمیت، در ارتباط با تعداد و اندازه میتوکندری است که از طریق دو فرآیند ادغام (فیوژن)^۳ و شکافت (فیژن)^۴ انجام می‌شود. اما کیفیت میتوکندری به منزله بهبود در بیوژنز میتوکندری است. در بافت‌های با ظرفیت اکسیداتیو زیاد مانند عضله اسکلتی، گیرنده گاما کواکتیواتور-۱ آلفا فعال شده توسط پراکسی زوم^۵ (*PGC-1α*) به عنوان مهمترین تنظیم کننده بیوژنز و عملکرد میتوکندری در نظر گرفته می‌شود. از طرفی، فاکتور A رونویسی میتوکندری (*TFAM*)^۶ عامل رونویسی و همانندسازی DNA میتوکندری است و نقش مهمی را در فرایندهای بیوژنز میتوکندریایی برعهده دارد [۴]. در شرایط پایدار، محتوای میتوکندریایی عضله، حاصل مسیرهای سنتز (بیوژنز) و تخریب (میتوفاژی) است. در مسیر سیگنالینگ بیوژنز میتوکندری، فعال شدن پروتئین کیناز وابسته به کالمدولین (*CaMK*)^۷ و پروتئین کیناز فعال شده با آدنوزین منوفسفات (*AMPK*)^۸ از راه تنظیم مستقیم فعالیت عامل رونویسی^۹ در هسته و اتصال به پروموتور (*PGC-1α*)، بیان اسید ریبونوکلیک پیام‌رسان (*mRNA*)^{۱۰} و *PGC-1α* افزایش می‌یابد که اصلی‌ترین مرحله تنظیمی بیوژنز میتوکندریایی است [۵].

فعالیت مناسب میتوکندری می‌تواند بر بازگرداندن تعادل انرژی در بیماران قلبی موثر باشد [۶]. در پاسخ به برخی از شرایط محیطی میتوکندری دچار تغییرات مورفولوژیکی و عملکردی شدید می‌شود. فعالیت ورزشی باعث تحریک بیوژنز و قرارگرفتن در معرض سرما باعث تحریک بیوژنز میتوکندری در عضلات اسکلتی می‌شود [۷]. به گونه‌ای که بیان این پروتئین به شدت تحت تأثیر فعالیت ورزشی بوده و با بی‌حرکی کاهش می‌یابد [۸]. با وجود آن که گزارش شده تمرینات ورزشی به خصوص تمرینات استقامتی مهمترین فعال کننده بیوژنز میتوکندری هستند و نسبت به دیگر انواع ورزشی مانند تمرینات

مقاومتی و اینتروال شدید باعث افزایش بیشتر تراکم و عملکرد میتوکندری می‌شوند، اما اجرای تمرینات مقاومتی می‌تواند باعث حفظ وضعیت متابولیکی عضله و حجم آن شود. در طراحی و تجویز فعالیت ورزشی شدت فعالیت، یکی از مولفه‌های اصلی در اثرگذاری تمرین می‌باشد. با این وجود، اثر شدت‌های مختلف تمرین بر عملکرد میتوکندری در افراد سالمند مشخص نیست. مداخله فعالیت‌های بدنی منظم، مشاوره‌های بهداشتی و دارو درمانی، از جمله راه‌هایی است که تا به حال برای پیشگیری و درمان بیماری قلبی-عروقی مطرح شده‌اند [۹]. با توجه به عوارض خطرناک و متعدد بیماری قلبی-عروقی، ضرورت بررسی راه‌های درمان، کاهش و پیشگیری از آن ضروری است. با توجه به اختلال احتمالی بیوژنز میتوکندری در سالمندان، اثر تمرین مقاومتی شدید و متوسط بر بیان ژن‌های تأثیرگذار بر فرآیند بیوژنز میتوکندری کاردیومیوسیت-های قلبی در نمونه‌های سالمند تا کنون بررسی نشده است. تمرینات ورزشی می‌تواند نقش مهمی در شتاب بخشیدن به میزان بیوژنز میتوکندری داشته باشد. با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی درباره تأثیر افزایش سن و تمرینات مقاومتی شدید و متوسط بر بیوژنز میتوکندری کاردیومیوسیت‌های قلبی، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر تمرین مقاومتی با شدت بالا و متوسط بر بیان ژن برخی از مولکول‌های دخیل در بیوژنز میتوکندریایی از جمله *AMPK*, *PGC-1α*, *TFAM* و سیتوکروم C^{۱۱} در میوسیت‌های قلبی موش‌های صحرایی سالمند بود.

مواد و روش‌ها

حیوانات مورد استفاده

پژوهش حاضر از نوع تجربی با طرح پس آزمون به همراه گروه کنترل است که به شیوه آزمایشگاهی انجام شد. تعداد ۲۵ سر موش صحرایی نر ۲۳ ماهه و با میانگین وزنی ۳۵/۰ ± ۴۳۷ گرم از مرکز تکثیر و نگهداری حیوانات آزمایشگاهی مؤسسه انستیتو رازی خریداری شد و به محل نگهداری حیوانات آزمایشگاهی دانشگاه شهرکرد انتقال داده شدند. حیوانات در شرایط دمایی ۳ ± ۲۲ درجه سانتیگراد در شرایط ۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت روشنایی نگهداری و با

³ Fusion

⁴ Fission

⁵ Peroxisome proliferator-activated receptor-coactivator-1α (*PGC-1α*)

⁶ Mitochondrial transcription factor A

⁷ Calmodulin-dependent protein kinase

⁸ Adenosine monophosphate-activated protein kinase

⁹ Transcription factor

¹⁰ Messenger ribonucleic acid

¹¹ Cytochrome C

و سپس به آزمایشگاه برای اندازه‌گیری متغیرهای *AMPK*, *PGC-1 α* , *TFAM* و سیتوکروم *C* ارسال شد. برای بیان ژن *AMPK*, *PGC-1 α* , *TFAM* و سیتوکروم *C* از تکنیک واکنش زنجیره‌ای پلیمرز کمی در زمان واقعی (RT-PCR)^{۱۲} استفاده شد. بافت‌ها با استفاده از یک میلی‌مول محلول تریزول لیز و با دستگاه همگن‌کننده بافت، هموژن شدند. در مرحله بعد، جداسازی از فاز آبی به کمک ۰/۲۵ میلی‌لیتر کلروفرم صورت گرفت. برای سنجش کمی RNA استخراج شده، از دستگاه بایوفتومر با طول موج ۲۶۰ نانومتر استفاده شد. سپس با استفاده از RNA، کیت مخصوص^{۱۳} (شرکت روش آلمان) و پرایمر غیراختصاصی cDNA^{۱۴} ساخته شد. مقدار یک میکرولیتر از cDNA ساخته شده، پنج میکرولیتر آب مقطر، یک میکرولیتر پرایمر رفت اختصاصی، یک میکرولیتر پرایمر برگشت اختصاصی (ساخت شرکت زیست‌باران، ایران)، یک میکرولیتر از کیت سایبرگرین^{۱۵} با هم مخلوط شدند و در دستگاه ترموسایکلر^{۱۶} قرار گرفتند. روش استفاده از تمام کیت‌ها براساس دستورالعمل شرکت سازنده بود. میزان بیان ژن نسبت به ژن رفرنس (*GAPDH*)^{۱۷} با استفاده از فرمول ۲ به توان منفی $\Delta\Delta CT$ محاسبه شد. در نهایت، منحنی استاندارد و تکثیر پرایمرها توسط نرم‌افزار موجود در سیستم آنالیز و رسم شد. برای کنترل کیفی محصول واکنش مربوط به نمونه بر روی ژل ۲٪ انتقال داده شد و از نظر وجود یا عدم وجود محصول بررسی شد.

طراحی آزمایش‌ها

پس از یک هفته آشنایی با محیط آزمایشگاه موش‌ها به روش تصادفی به سه گروه تقسیم شدند. گروه تمرین مقاومتی با شدت متوسط (MRT)^{۱۸} با تعداد ۹ سر موش صحرایی (تمرین مقاومتی با ۶۰٪ از حداکثر ظرفیت حمل ارادی^{۱۹} با تکرار ۲۰-۱۴ بار در هر جلسه)، گروه تمرین مقاومتی با شدت بالا (HRT)^{۲۰} با تعداد ۸ سر موش صحرایی

غذای مخصوص موش صحرایی و آب تغذیه شدند. کلیه قوانین و نحوه رفتار با حیوانات (آشناسازی، تمرین، بیهوشی و کشتن حیوان) بر اساس انجمن ارزیابی و اعتباربخشی بین‌المللی مراقبت از حیوانات آزمایشگاهی و با تأیید کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت به شماره R.IAU.M.REC.1400.012 انجام شد.

حداکثر ظرفیت حمل ارادی

جهت تعیین حداکثر ظرفیت حمل ارادی، وزنه‌ای با وزن معادل ۷۵٪ وزن بدن حیوان به دم آن‌ها متصل و حیوان شروع به بالارفتن از نردبان با حمل این بار کرد. به ازای هر تکرار موفق ۳۰ گرم به بار تمرینی تکرار شده قبلی اضافه شد. در بالای نردبان دو دقیقه استراحت بین هر صعود وجود داشت. این کار تا زمانی تکرار می‌شد که موش موفق به صعود کل طول نردبان در ۳ تلاش متوالی نشود. اندازه‌گیری حداکثر ظرفیت حمل ارادی در شروع هفته اول و چهارم و در پایان هفته هشتم انجام شد [۱۰].

پروتکل تمرین مقاومتی

تمرین مقاومتی شامل بالارفتن از یک نردبان تمرینی مخصوص (طول ۱۱۰ سانتی‌متر، شیب ۸۰ درجه، ۲۶ پله و ۲ سانتی‌متر فضای بین هر پله) شامل دو نوع تمرین مقاومتی با شدت بالا و تمرین مقاومتی با شدت متوسط بود. در تمرین مقاومتی با شدت بالا، گروه‌های تمرینی، ۸ هفته تمرین مقاومتی نردبان را در ۸۰٪ از حداکثر ظرفیت حمل ارادی، ۹-۱۰ بار بالارفتن در هر جلسه با استراحت یک دقیقه‌ای بین وهله‌های فعالیت و ۵ روز در هفته انجام دادند [۱۱]. در تمرین مقاومتی با شدت متوسط، پروتکل اصلی تمرین با ۶۰٪ حداکثر ظرفیت حمل ارادی، ۱۴ تا ۲۰ بار بالارفتن در هر جلسه با استراحت دوقدقیقه‌ای بین وهله‌های فعالیت و ۵ روز در هفته انجام شد [۱۲].

استخراج و آنالیز بافتی

موش‌ها با تزریق درون صفاقی کتامین (۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و زایلازین (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بی‌هوش شدند و نمونه‌گیری‌های خونی و بافتی انجام گرفت. بدین ترتیب بافت عضله قلب آن‌ها جدا و در محیط ۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری

¹² real-time polymerase chain reaction (RT-PCR)

¹³ Cat. No:CK-12033674001

¹⁴ Complementary DNA

¹⁵ Cat. No. 204052, Qiagen GmbH, Hilden, Germany

¹⁶ Real-time PCR

¹⁷ Glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase

¹⁸ Moderate intensity resistance training (MRT)

¹⁹ Maximum voluntary carrying capacity (MVCC)

²⁰ High intensity resistance training (HRT)

جدول ۱- وزن بدن موش‌ها و میانگین تغییرات حداکثر ظرفیت حمل ارادی در گروه‌های آزمایشی

کنترل	تمرین مقاومتی متوسط	تمرین مقاومتی شدید	
۴۴۵/۵۰ ± ۳۳/۱	۴۳۲ ± ۳۷/۹	۴۳۴/۱۰ ± ۳۷/۸	وزن پیش از مداخلات (گرم)
۴۵۲ ± ۳۶/۹۲	۴۲۵ ± ۳۸/۹	۴۳۴/۳۷ ± ۳۹/۲	وزن پس از هفته چهارم (گرم)
۴۴۱/۸۷ ± ۲۳/۹	۴۲۶ ± ۳۸/۷	۴۲۴/۶۰ ± ۳۵	وزن پس از هشت هفته (گرم)
۳۴۰/۷ ± ۴۱/۳	۳۴۰/۸ ± ۴۱/۶	۳۲۵ ± ۳۵/۴	حداکثر ظرفیت حمل ارادی اولیه (گرم)
۳۴۳ ± ۱۰۹/۳	۴۲۵/۲ ± ۸۱/۹	۴۲۱/۸ ± ۱۶۵/۷	حداکثر ظرفیت حمل ارادی هفته چهارم (گرم)
۳۴۳/۲ ± ۱۰۹/۹	۴۷۴/۷ ± ۷۳/۶	۵۶۳/۵ ± ۷۹/۶	حداکثر ظرفیت حمل ارادی نهایی (گرم)

(تمرین مقاومتی با ۸۰٪ از حداکثر ظرفیت حمل ارادی با تکرار ۹-۱۰ بار در هر جلسه) و گروه کنترل با تعداد ۸ سر موش صحرایی (با فعالیت بدنی معمولی در قفس) در قفس‌های خود نگهداری شدند. موش‌های سه گروه پنج روز بدون وزنه تمرین بالارفتن از نردبان را انجام دادند. پس از آخرین جلسه سازگاری، از حیوانات تست حداکثر ظرفیت حمل ارادی گرفته شد. سپس حداکثر ظرفیت حمل ارادی به عنوان بالاترین بار حمل‌شده موفقیت‌آمیز تعریف شد [۱۰]. سپس هر دو گروه تمرین مقاومتی ۵ جلسه در هفته به مدت هشت هفته با شدت متوسط و بالا را انجام دادند. با توجه به سازگاری حیوانات با تمرین در انتهای هر چهار هفته، از حیوانات آزمون حداکثر ظرفیت حمل ارادی گرفته شد و شدت تمرین حیوانات بر اساس آزمون جدید تعیین شد [۱۳]. ۷۲ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی حیوانات برای استخراج و انجام آزمایشات سلولی مولکولی تشریح شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

برای مقایسه بین گروه‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نسخه ۲۱ نرم افزار آماری اسپ‌اس‌اس (SPSS)^{۲۱} انجام شد. سطح معناداری $p \leq 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

وزن بدن موش‌ها و میانگین تغییرات حداکثر ظرفیت حمل ارادی در گروه‌های آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است.

همانطور که ملاحظه می‌گردد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد. میزان بیان ژن *AMPK* در نمودار ۱ ارائه شده است. تفاوت معنی‌داری در بیان ژن *AMPK* میوسیت‌های قلب موش‌ها آزمایشی یافت نشد.

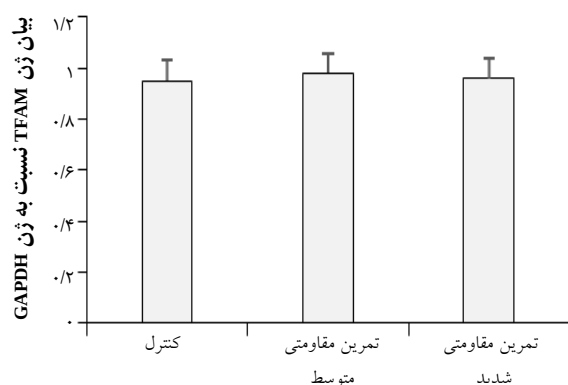
در نمودار ۲ میزان بیان ژن *PGC-1α* میوسیت‌های قلب موش‌ها در نمودار ۲ ارائه شده است. نتایج آنالیز واریانس یک‌سویه ($F_{2,22} = 37/93$, $p < 0.001$) نشان داد بین میانگین بیان ژن *PGC-1α* میوسیت‌های قلب موش‌های گروه‌های تمرین مقاومتی شدید ($p = 0.02$) و متوسط ($p = 0.001$) با گروه کنترل تفاوت معنی‌دار وجود دارد. میزان بیان ژن *PGC-1α* در گروه‌های تمرین مقاومتی متوسط و شدید با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشت.

میزان بیان ژن *TFAM* میوسیت‌های قلب موش‌ها در نمودار ۳ ارائه شده است. یافته‌های آنالیز واریانس یک‌سویه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بیان ژن *TFAM* میوسیت‌های قلب موش‌ها بین گروه‌های تمرین مقاومتی شدید و متوسط و گروه کنترل بود.

میزان بیان ژن سیتوکروم *C* میوسیت‌های قلب موش‌ها در نمودار ۴ ارائه شده است. یافته‌های آنالیز واریانس یک‌سویه ($F_{2,22} = 37/41$, $p < 0.001$) نشان داد که بیان ژن سیتوکروم *C* میوسیت‌های قلب موش‌های گروه تمرین مقاومتی با شدت متوسط به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه کنترل بود ($p = 0.04$)، اما بین بیان ژن سیتوکروم *C* گروه‌های تمرین مقاومتی شدید با گروه کنترل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. میزان بیان ژن سیتوکروم *C* در گروه تمرین مقاومتی شدید با گروه تمرین مقاومتی متوسط نیز تفاوت معنی‌داری نداشت.

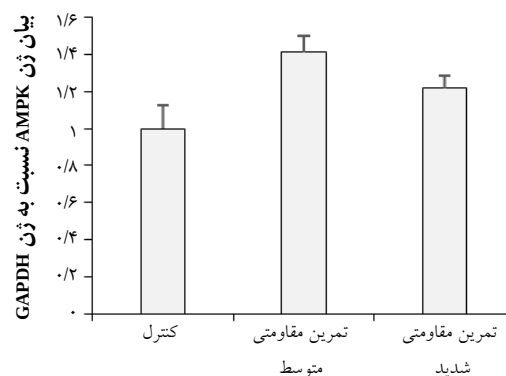
²¹ Statistical Package for Social Science (SPSS)

تمرینات شدید تا رسیدن به خستگی است که منجر به افزایش قابل توجهی در نسبت ADP/ATP و AMP/ATP می‌شود که این امر می‌تواند پروتئین $AMPK$ که یکی از مهمترین سنسورهای انرژی در سلول است را فعال کند [۱۲]. همچنین مطالعات نشان داده‌اند که فسفوریلاسیون $AMPK$ علاوه بر شدت فعالیت ورزشی، به مدت زمان تمرین ورزشی نیز بستگی دارد [۱۲]. هرچند این موضوع قابل نقد و بررسی است زیرا تمرینات شدید یا متوسط مقاومتی بر محتوای سیتوپلاسم و رشد عضلات اسکلتی تاثیرگذار می‌باشند و انتظار هاپیروتروفی سارکوپلاسمیک و افزایش در هاپیروتروفی یا نیرویابی اجزای انقباضی مورد انتظار است. در این پژوهش‌ها ارکان هوازی سلول از جمله آنزیم‌های هوازی و عملکرد میتوکندری‌ها



نمودار ۳- تاثیر هشت هفته تمرین مقاومتی بر بیان ژن $TFAM$ در بافت قلب موش‌های صحرایی سالمند. ستون‌ها نشان دهنده میانگین $\pm$ انحراف معیار میانگین برای ۳ تکرار می‌باشد.

مطالعه نشده است. می‌توان اظهار کرد که تمرینات مقاومتی نمی‌تواند مشابه تمرینات هوازی در شدت‌های مختلف بر متابولیسم هوازی موثر باشد. البته پیش از این افزایش هاپیروتروفی عضلات قلبی و عملکرد میوکاردیوم در اثر تمرینات مقاومتی مورد تایید قرار گرفته است. لیو و همکاران (۲۰۱۹) و ما^{۲۳} و همکاران (۲۰۱۵) این یافته‌ها را تایید کرده‌اند [۱۴، ۱۶]. تمرینات ورزشی از طریق تنظیم پروتئین‌های $AMPK$ و $PGC-1\alpha$ از هاپیروتروفی پاتولوژیک قلب جلوگیری کرده و منجر به هاپیروتروفی فیزیولوژیک قلب می‌شود که این را می‌توان در تحقیق دنیلز^{۲۴} و همکاران (۲۰۱۰) دید که نشان دادند بین

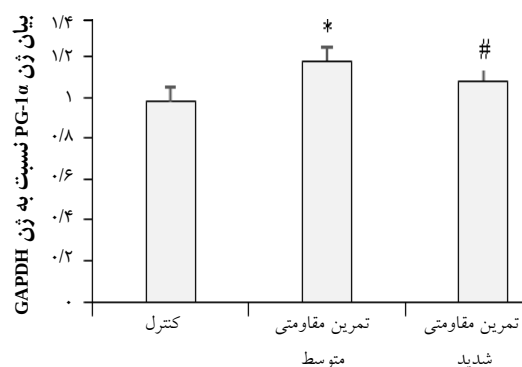


نمودار ۱- تاثیر هشت هفته تمرین مقاومتی بر بیان ژن $AMPK$ در بافت قلب موش‌های صحرایی سالمند. ستون‌ها نشان دهنده میانگین $\pm$ انحراف معیار میانگین برای ۳ تکرار می‌باشد.

بحث

این مطالعه به ارزیابی اثر تمرین مقاومتی شدت متوسط و تمرین مقاومتی شدید بر بیان ژن $AMPK$, $PGC-1\alpha$, و $TFAM$ و سیتوکروم C میوسیت‌های قلبی موش‌های سالمند نژاد ویستار پرداخته است. یافته‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بیان ژن $AMPK$ میوسیت‌های قلب موش‌های بین گروه‌های تمرین مقاومتی و گروه کنترل بود.

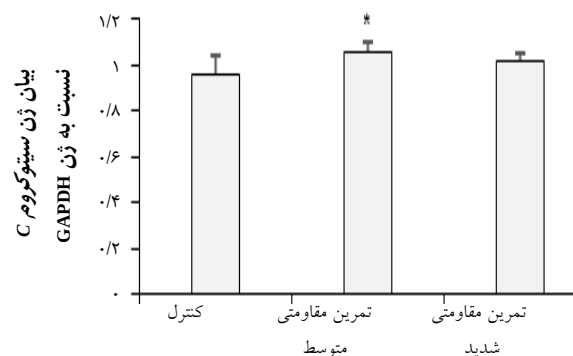
لیو^{۲۲} و همکاران (۲۰۱۹) و خلیلی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند تمرین با شدت بالا یا شدید منجر به افزایش محتوای پروتئین $AMPK$ می‌شود [۱۴، ۱۵]. عامل مهم را می‌توان شدت تمرینات دانست. تقاضای زیاد انرژی از نتایج



نمودار ۲- تاثیر هشت هفته تمرین مقاومتی بر بیان ژن $PGC-1\alpha$ در بافت قلب موش‌های صحرایی سالمند. ستون‌ها نشان دهنده میانگین $\pm$ انحراف معیار میانگین برای ۳ تکرار می‌باشد. *: تفاوت معنی‌دار با گروه کنترل با $p < 0.05$; #: تفاوت معنی‌دار با گروه کنترل با $p < 0.01$.

²³ Ma
²⁴ Daniels

²² Liu



نمودار ۴- تاثیر هشت هفته تمرین مقاومتی بر بیان ژن سیتوکروم C در بافت قلب موش‌های صحرایی سالمند. ستون‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ انحراف معیار میانگین برای ۳ تکرار می‌باشد. * تفاوت معنی‌دار با گروه کنترل با $p < 0.05$.

فعالیت پایین AMPK و کارایی پایین متابولیسم قلبی و کاهش قدرت انقباضی قلب در موش‌های صحرایی ارتباط وجود دارد [۱۷].

تاثیر تمرین مقاومتی با شدت بالا و متوسط بر بیوژنز میتوکندری نشان داد که مقدار بیان *PGC-1α* در هر دو گروه تمرینی نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری افزایش یافته است. همچنین، بین مقایسه روش‌های مختلف تمرینی بر بیان *PGC-1α* در گروه‌های تمرینی تغییرات معنی‌دار نبود. در این راستا نشان داده شده که فعالیت بدنی یک القاکننده قوی بیوژنز میتوکندریایی در بدن انسان بوده است [۱۸]. فعالیت بدنی نسبت AMP/ATP عضله و پروتئین کیناز فعال شده با AMPK (AMP) را افزایش می‌دهد که باعث افزایش تعداد میتوکندری‌ها می‌شود [۱۹]. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات هالینگ^{۲۵} و همکاران (۲۰۱۷)، باقدم و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد [۲۰، ۲۱]، اما با نتایج چاوانل^{۲۶} و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی ندارد [۲۲]. هالینگ و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که فعالیت ورزشی از طریق *PGC-1α* بیوژنز میتوکندریایی را در عضلات اسکلتی موش‌های مسن بهبود می‌بخشد [۲۰]. باقدم و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر تمرین مقاومتی بر آیریزین و بیان ژن *PGC-1α* در عضله قلب رت‌ها پرداختند. گروه تمرینی ۸ هفته تمرین مقاومتی را اجرا کردند. تمرین مقاومتی موجب افزایش معنی‌دار غلظت

PGC-1α بافت قلب شد [۲۳]. اما در مقابل یافته‌های بیک‌زاده‌بدر و همکاران (۱۳۹۸) بررسی بیان ایزوفرم‌های *PGC-1α* در پاسخ به تمرینات مقاومتی اکستریک و کانستریک در افراد سالم را مورد مطالعه قرار دادند. پروتکل‌های انقباض آیزوکینتیک شامل اکستریک و کانستریک اکستنشن زانو با حداکثر قدرت بود. در ابتدا و انتهای مطالعه از بافت عضله پهن جانبی بایوپسی انجام گرفت. نتایج نشان داد، تغییرات درون گروهی *PGC-1α*، در گروه اکستریک و گروه کانستریک معنی‌دار نبود که با نتایج تحقیق حاضر ناهمسو است. به نظر می‌رسد عدم تغییرات معنی‌دار در متغیرهای موردنظر ناشی از عدم فشار تمرینی کافی جهت تحریک افزایش *PGC-1α* باشد و باتوجه به بررسی پاسخ به نظر می‌رسد در بحث سازگاری نتایج متفاوتی به دست آید که نیاز به بررسی دارد.

باتوجه به این که *PGC1α* با سازگاری‌های تمرینات هوازی مرتبط است، تنها اهمیت آن در تمرینات مقاومتی می‌تواند تنظیم مثبت بیوژنز میتوکندریایی باشد، به طوری که متابولیسم اکسیداتیو هنگام افزایش حجم عضله و به تبع آن قابلیت تولید نیرو، به اندازه کافی باقی بماند. *PGC-1α* می‌تواند کاندیدای توانمندی برای درمان کاهش عضلانی مرتبط با پیری و بیماری باشند. به‌ویژه برای افرادی که توانایی شرکت در برنامه‌های تمرینات ورزشی قدرتی را ندارند [۲۴].

یافته‌های این پژوهش، بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بیان ژن *TFAM* میوسیت‌های قلب موش‌ها بین گروه‌های تمرین مقاومتی با شدت بالا و متوسط و گروه کنترل بود. *PGC-1α* از طریق فعال کردن فاکتور تنفسی هسته‌ای-۱ (NRF-1)^{۲۷} و فاکتور تنفسی هسته‌ای-۲ (NRF-2)^{۲۸} باعث بیان ژن *TFAM* می‌شود. *TFAM* یکی از فاکتورهای رونویسی است که در هسته سلول کدگذاری شده، در سیتوپلاسم ساخته و به داخل میتوکندری منتقل می‌شود و نقش مهمی در رونویسی DNA میتوکندری ایفا می‌کند. *TFAM* با ورود به میتوکندری با DNA میتوکندری تعامل برقرار می‌کند و به بیان زیر واحدهای زنجیره تنفسی کدگذاری شده در میتوکندری کمک می‌کند و با قرارگرفتن در ناحیه پروموتور ژن‌های کدکننده آنزیم‌های زنجیره تنفسی سبب افزایش بیان

²⁷ Nuclear respiratory factor-1 (NRF-1)

²⁸ Nuclear respiratory factor-۲ (NRF-2)

²⁵ Halling

²⁶ Chavanelle

آنزیم های فسفوریلاسیون اکسیداتیو می‌شود که این امر با ماهیت تمرینات مقاومتی در تعارض است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تمرینات مقاومتی با شدت بالا و متوسط می‌تواند بیان *PGC-1α* و تمرین مقاومتی با شدت متوسط می‌تواند بیان سیتوکروم *C* مرتبط با بیوژنز میتوکندری سلول‌های قلبی موش‌های صحرایی سالمند را به‌دنبال داشته باشد. با وجود این، فعالیت ورزشی مقاومتی شدید و متوسط نتوانسته است تغییرات معنی‌داری را بر متغیرهای مسیر هوازی مصرف و تولید انرژی داشته باشد.

ملاحظات مالی

نویسندگان برای این مقاله از هیچ موسسه‌ای کمک مالی دریافت نکرده‌اند.

تعارض در منافع

نویسندگان این مقاله تعارض در منافع ندارند.

نقش نویسندگان

ر.ط.: انجام مطالعه و نگارش مقاله؛ ب.م.: نظارت و راهنمایی اجرای مطالعه؛ ا.د.: راهنمایی، کمک به طراحی پروتکل.

فهرست منابع

- [1] Sadat Hosseini F, Hosseinzadeh R, Effect of physical activity on physical and mental health in elderly men. *J Health Care* 13 (2012) 19-25 [in Persian].
- [2] Benjamin K, Donnelly TT, Barriers and facilitators influencing the physical activity of Arabic adults: A literature review. *Avicenna* 8 (2013) 1-16.
- [3] Lesnefsky EJ, Moghaddas S, Tandler B, Kerner J, Hoppel CL, Mitochondrial dysfunction in cardiac disease: ischemia-reperfusion, aging, and heart failure. *J Mol Cell Cardiol* 33 (2001) 1065-1089.
- [4] Ping Z, Zhang LF., Cui YJ, Chang YM, Jiang CW, Meng ZZ, Xu P, Liu HY, Wang DY, Cao XB, The protective effects of salidroside from exhaustive exercise-induced heart injury by enhancing the PGC-1α-NRF1/NRF2 pathway and mitochondrial

ژن‌های زیر واحدهای زنجیره تنفسی کدگذاری شده در میتوکندری می‌شوند. آفایی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثر یک دوره بی‌تمرینی متعاقب تمرین مقاومتی بر بیان ایمنوهیستوشیمیایی کانال‌های پتاسیمی حساس به ATP و بیوژنز میتوکندریایی بافت قلب موش‌های صحرایی نر پرداختند [۲۵]. سی سر موش صحرایی نر نژاد ویستار به طور تصادفی به چهار گروه (کنترل، کنترل-بی‌تمرینی، تمرین مقاومتی و تمرین مقاومتی-بی‌تمرینی) تقسیم شدند. گروه کنترل در ابتدای تحقیق قربانی شده و گروه کنترل-بی‌تمرینی (۱۱ هفته) فعالیت ورزشی نداشتند. گروه تمرین مقاومتی هشت هفته تمرین را اجرا کردند. گروه تمرین مقاومتی-بی‌تمرینی بعد از اتمام تمرینات به مدت سه هفته تمرین نکردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد تمرین مقاومتی باعث افزایش بیان *PGC-1α* و *TFAM* در بافت قلب موش‌های صحرایی می‌شود که عامل افزایش‌دهنده بیوژنز میتوکندریایی است.

سرانجام، یافته‌ها نشان داد که بیان ژن سیتوکروم *C* میوسیت‌های قلب موش‌های گروه تمرین مقاومتی با شدت متوسط به طور معنی‌داری بالاتر از گروه کنترل بود، اما بین بیان ژن سیتوکروم *C* گروه‌های تمرین مقاومتی با شدت بالا و متوسط و تمرین مقاومتی با شدت بالا و گروه کنترل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این احتمال وجود دارد که پروتکل تمرینی مطالعه حاضر (تمرین مقاومتی شدید و با شدت متوسط به مدت ۸ هفته) علی‌رغم اثرگذاری بر برخی متغیرها، نتوانست تاثیر معنی‌داری بر بیان ژن سیتوکروم *C* در سلول قلبی داشته باشد. هرچند تمرین منظم موجب افزایش بیان سیتوکروم *C* از

respiratory function in rats. *Oxid Med Cell Longev* (2015) 876825.

- [5] Brandt N, Dethlefsen MM, Bangsbo J, Pilegaard H, PGC-1α and exercise intensity dependent adaptations in mouse skeletal muscle. *PLoS One* 12 (2017) e0185993.
- [6] Lee H, Kim K, Kim B, Shin J, Rajan S, Wu J, Chen X, Brown MD, Lee S, Park JY, A cellular mechanism of muscle memory facilitates mitochondrial remodelling following resistance training. *J Physiol* 596 (2018) 4413-4426.
- [7] Islam H, Hood DA, Gurd BJ, Looking beyond PGC-1α: emerging regulators of exercise-induced skeletal muscle mitochondrial biogenesis and their activation by dietary compounds. *Appl Physiol Nutr Metab* 45 (2020) 11-23.
- [8] Valle I, Álvarez-Barrientos A, Arza E, Lamas S, Monsalve M, PGC-1α regulates the mitochondrial

- antioxidant defense system in vascular endothelial cells. *Cardiovasc Res* 66 (2005) 562-573.
- [9] Buttar HS, Li T, Ravi N, Prevention of cardiovascular diseases: Role of exercise, dietary interventions, obesity and smoking cessation. *Exp Clin Cardiol* 10 (2005) 229.
- [10] De Cássia Marqueti R, Almeida JA, Nakagaki WR., Guzzoni V, Boghi F, Renner A, Silva PE, Durigan JLQ, Selistre-de-Araújo HS, Resistance training minimizes the biomechanical effects of aging in three different rat tendons. *J Biomech* 53 (2017) 29-35.
- [11] Rotllan N, Ramírez CM, Aryal B, Esau CC, Fernández-Hernando C, Therapeutic silencing of microRNA-33 inhibits the progression of atherosclerosis in Ldlr-/- mice—brief report. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 33 (2013) 1973-1977.
- [12] Horman S, Beauloye C, Vanoverschelde JL, Bertrand L, AMP-activated protein kinase in the control of cardiac metabolism and remodeling. *Curr Heart Fail Rep* 9 (2012) 164-173.
- [13] Krug AL, Macedo AG, Zago AS, Rush JW, Santos CF, Amaral, SL, High-intensity resistance training attenuates dexamethasone-induced muscle atrophy. *Muscle Nerve* 53 (2016) 779-788.
- [14] Liu HT, Pan SS, Late exercise preconditioning promotes autophagy against exhaustive exercise-induced myocardial injury through the activation of the AMPK-mTOR-ULK1 pathway. *Biomed Res Int* (2019) 5697380.
- [15] Khalili A, Nekooeian AA, Khosravi MB, Oleuropein improves glucose tolerance and lipid profile in rats with simultaneous renovascular hypertension and type 2 diabetes. *J Asian Nat Prod Res* 19 (2017) 1011-1021.
- [16] Ma S, Wang Y, Chen Y, Cao F, The role of the autophagy in myocardial ischemia/reperfusion injury. *Biochim Biophys Acta* 1852 (2015) 271-276.
- [17] Daniels A, van Bilsen M, Janssen BJ, Brouns AE, Cleutjens JP, Roemen TH, Schaart G, van der Velden J, van der Vusse GJ, Van Nieuwenhoven FA, Impaired cardiac functional reserve in type 2 diabetic db/db mice is associated with metabolic, but not structural, remodelling. *Acta Physiol (Oxf)* 200 (2010) 11-22.
- [18] Onyango IG, Lu J, Rodova M, Lezi E, Crafter AB, Swerdlow RH, Regulation of neuron mitochondrial biogenesis and relevance to brain health. *Biochim Biophys Acta* 1802 (2010) 228-234.
- [19] Chabi B, Adhihetty PJ, Ljubicic V, Hood DA, How is mitochondrial biogenesis affected in mitochondrial disease? *Med Sci Sports Exerc* 37 (2005) 2102-2110.
- [20] Halling JF, Ringholm S, Olesen J, Prats C, Pilegaard H, Exercise training protects against aging-induced mitochondrial fragmentation in mouse skeletal muscle in a PGC-1 α dependent manner. *Exp Gerontol* 96 (2017) 1-6.
- [21] Baghdadam M, Salamat KM, Azizbeidi K, Baesi K, The effect of 8 weeks aerobic training on cardiac pgc-1 α and plasma irisin in stz-induced diabetics' rats. *Iran J Diabetes Metab* 18 (2019) 228-235 [in Persian].
- [22] Chavanelle V, Boisseau N, Otero YF, Combaret L, Dardevet D, Montaurier C, Delcros G, Peltier SL, Sirvent P, Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on glycaemic control and skeletal muscle mitochondrial function in db/db mice. *Sci Rep* 7 (2017) 204.
- [23] Beikzadehbadr T, Shabkhiz F, Shahrbanian S, Expression of PGC-1 α isoforms in response to eccentric and concentric resistance training in healthy subjects. *Sport Biosci* 11 (2020) 447-462.
- [24] Millay DP, Olson EN, Making muscle or mitochondria by selective splicing of PGC-1 α . *Cell Metab* 17 (2013) 3-4.
- [25] Aghaei BN, Sherafati MM, Amirahmadi M, The effect of ampk and p53 proteins on tor pathway following endurance training in the left ventricle of the heart of diabetic rats by streptozotocin and nicotinamide. *Iran J Diabetes Metab* 21 (2021) 13-23 [in Persian].

Research paper

The effect of high and moderate resistance training intensities on the gen expression of AMPK, PGC-1 α , TFAM and cytochrome-C of cardiac myocytes in elderly Wistar rats

Ruhollah Taheri Gandmani, Arsalan Demirchi*, Bahman Mirzaei

School of Physical Education and Sports Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Received: 17 December 2021

Accepted: 1 January 2022

Abstract

Background and Aim: Cardiovascular diseases are among the main causes of mortality in the elderly. Signaling of mitochondrial biogenesis has a crucial role in cardiovascular energy homeostasis. The purpose of this study was to compare the effect of high and moderate intensity resistance training on the myocardial gene expression of some mitochondrial signaling molecules including *AMPK*, *PGC-1 α* , *TFAM* and cytochrome C in the elderly rats.

Methods: Twenty-five male Wistar rats with 23 months old and 437 g average weight were randomly assigned to control (n = 8), resistance training (RT) with high intensity [HRT, 80% of maximum voluntary carrying capacity] (n = 8), and moderate intensity [MRT, 60% of maximum voluntary carrying capacity] (n = 9). RT included 5 days/week of climbing a ladder for 8 weeks. Seventy-two hours after the last training session, myocardial gene expression of *AMPK*, *PGC-1 α* , *TFAM* and cytochrome C were measured by Real Time Polymerase Chain Reaction. One-way analysis of variance and Tukey post-hoc test were used for statistical analyses and $p < 0.05$ was considered the significant level.

Results: *PGC-1 α* gene expression significantly increased in both HRT and MRT groups compared to the control group ($p < 0.05$). MRT significant increased cytochrome C gene expression, compared to the control group ($p < 0.05$).

Conclusion: In elderly rats, HRT and MRT can improve *PGC-1 α* myocardial expression, whereas MRT improves the cytochrome C myocardial expression. These effects can be useful in improving the energy homeostasis of myocardial cells in the elderly.

Keywords: Mitochondrial biogenesis, Resistance training, cardiac myocyte

Please cite this article as follows:

Taheri Gandmani R, Demirchi A, Mirzaei B, The effect of high and moderate resistance training intensities on the gen expression of AMPK, PGC-1 α , TFAM and cytochrome-C of cardiac myocytes in elderly Wistar rats. *Iran J Physiol Pharmacol* 6 (2022) 1-9.

*Corresponding author: damirchi@gmail.com (ORCID ID: 0000-0001-9114-2327)