

## تأثیر تمرین تنابی بر ظرفیت اکسیداتیو و گلیکولیتیک عضلات اسکلتی موش‌های صحرایی نر پیر و جوان

الله یار عرب مومنی<sup>\*</sup>، حمید محبی<sup>۲</sup>، فرهاد رحمانی نیا<sup>۳</sup>، احمد ریاسی<sup>۴</sup>، محمد مرندی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزش، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

۲- استاد گروه فیزیولوژی ورزش، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

۳- دانشیار گروه فیزیولوژی حیوانی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- دانشیار گروه فیزیولوژی ورزش، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۴/۱۸

### چکیده

مقدمه: هر نوع پروتکل تمرینی آثار خاصی بر فیزیولوژی بدن دارد. با توجه به هدف از برنامه تمرینی و شرایط گروه‌های تحت تمرین لازم است برنامه خاصی در نظر گرفته شود. لذا، هدف از مطالعه حاضر، بررسی تأثیر تمرین تنابی بر ظرفیت اکسیداتیو و گلیکولیتیک عضلات اسکلتی موش‌های صحرایی نر پیر و جوان است.

روش بررسی: تعداد ۴۰ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار در دو گروه سنی پیر (میانگین سن و وزن به ترتیب ۲۷ ماه و  $\pm 31$  گرم) و جوان (میانگین سن و وزن به ترتیب ۳ ماه و  $\pm 13 \pm 224$  گرم) تهیه شده و به طور تصادفی به دو گروه شاهد ( $n = 10$ ) و تجربی ( $n = 10$ ) تقسیم شدند. پروتکل تمرینی شامل، ۴ دقیقه دویدن و ۲ دقیقه استراحت فعال در ۱۰ و هله تمرینی بود. سرعت دویدن در طول پروتکل به صورت فزاینده از ۱۸ به ۳۰ متر در دقیقه افزایش یافت. برنامه تمرینی هر جلسه به مدت ۶۰ دقیقه، ۶ روز در هفته و به مدت ۸ هفته انجام شد. موش‌ها ۲۴ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی بیهوش شده و عضلات نعلی (SOL) و بازکننده طویل انگشتان پا (EDL) خارج گردید. و فعالیت آنزیم‌های سیترات سنتاز (CS) و لاکتات دهیدروژنانز (LDH) ارزیابی شد. تجزیه و تحلیل اطلاعات با آزمون‌های تحلیل واریانس یک طرفه و تعقیبی توکی انجام شد.

نتایج: فعالیت آنزیم CS در گروه تجربی در عضله EDL و SOL در هر دو گروه سنی افزایش معنی‌داری داشت ( $p < 0.05$ ). همچنین اگر چه فعالیت LDH عضله EDL و SOL در گروه پیر تجربی نسبت به گروه پیر شاهد افزایش داشت، ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. با این حال، فعالیت LDH در هر دو عضله EDL و SOL در گروه جوان تجربی افزایش معنی‌داری داشت ( $p < 0.05$ ).

نتیجه‌گیری: زمانی که هدف ما افزایش هم زمان ظرفیت اکسیداتیو و گلیکولیتیک است، پروتکل تمرینی اجرا شده در این مطالعه می‌تواند در سالمندی و جوانی مفید و سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: تمرین تنابی، لاکتات دهیدروژنانز، سیترات سنتاز، اکسیداتیو، گلیکولیتیک

\* (نویسنده مسئول); تلفن: ۰۹۱۳۳۶۸۸۵۷، پست الکترونیکی: H.momeni1350@gmail.com

## مقدمه

حالی که مزایای تمرین در افراد خیلی مسن (مثلا در انسان حدود ۸۰ سال) ممکن است قابل توجه نباشد<sup>(۱۷)</sup>.

به طور کلی نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که اگر چه تمرین و فعالیت بدنی نمی‌تواند کاهش عوامل فیزیولوژیک و حرکتی مرتبط با سن را به طور کامل متوقف کند، اما باعث تقویت عضلات اسکلتی شده و کاهش عملکرد بدنی ناشی از سن را تعدیل می‌نماید<sup>(۱۸)</sup>. با این حال، توجه به این مسئله حائز اهمیت است که با وجود مزایای انواع تمرین، تغییرات ایجاد شده به دنبال تمرین در عضلات اسکلتی با توجه به برنامه تمرینی اجرا شده، متفاوت است. به عنوان مثال، تمرین استقامتی موجب بیشترین سازگاری در متابولیسم هوایی و تمرینات سرعتی باعث افزایش متابولیسم غیرهوایی می‌شوند<sup>(۱۹)</sup>. در حالی که متابولیسم هوایی با تمرینات استقامتی بهبود می‌یابد، اینگونه تمرینات نمی‌تواند، ظرفیت غیرهوایی را بهبود بخشد. در صورتی که مراحل (وهله‌های) تمرین تکراری شدید ممکن است این قابلیت را داشته باشد. در مجموع، تمرین استقامتی موجب بیشترین سازگاری در متابولیسم هوایی و افزایش ظرفیت اکسیداتیو می‌شود، در حالی که تمرینات سرعتی افزایش غلظت سوبستراهای انرژیتیک و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم غیرهوایی و افزایش ظرفیت گلیکولیتیک را به دنبال دارد<sup>(۱۹)</sup>. به نظر می‌رسد، برنامه تمرینی که بتواند هر دو ظرفیت هوایی و غیرهوایی را بهبود بخشد، بیشترین سودمندی را برای سالماندان در برخواهد داشت. شاید تمرین تنابوی این ویژگی را داشته باشد که هم ظرفیت اکسیداتیو و هم ظرفیت گلیکولیتیک را افزایش دهد. به همین خاطر در این مطالعه، آثار برنامه تمرین تنابوی جهت مشخص شدن این موضوع و دستیابی به حداکثر نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، فعالیت آنزیم سیترات سنتاز<sup>(CS: Citrate Synthase)</sup> در عضله نعلی<sup>(۱۲)</sup> و دوقلو<sup>(۹)</sup> موش‌ها (پیر و جوان) بعد از تمرین استقامتی دیده شده است. همسو با این مطالعات حیوانی، افزایش ظرفیت اکسیداتیو و بهبود عملکرد میتوکندریایی عضلات اسکلتی بعد از تمرین در انسان هم مشاهده شده است<sup>(۱۳، ۱۴)</sup>. Short و همکاران بیان کردند ۴ ماه تمرین هوایی در سالماندان باعث افزایش فعالیت آنزیم سیترات سنتاز، سیتوکروم C، سنتز پروتئین و بیوزن میتوکندری می‌شود<sup>(۱۵)</sup>. ضمن اینکه، نشان داده شده است که تمرین، حداقل تا اواخر میاسالی می‌تواند، مزایای قابل توجهی برای بدن و ظرفیت اکسیداتیو عضلات انسان<sup>(۸)</sup> و جوندگان<sup>(۱۶)</sup> داشته باشد. در

با افزایش سن، تغییرات مورفولوژیک و متابولیک در عضله اسکلتی رخ می‌دهد که کاهش توانایی و تضعیف عملکرد ورزشی را به همراه دارد<sup>(۱)</sup>. از دهه چهارم زندگی توده عضلانی و به دنبال آن قدرت عضلانی شروع به کاهش می‌کند<sup>(۲)</sup>. این کاهش، حدوداً یک درصد به ازای هر سال برآورد شده است و با افزایش سن، سرعت پیدا می‌کند<sup>(۳، ۴)</sup>. در سالماندان تارهای عضلانی با کاهش در تعداد تارها، همراه با آتروفی رو به رو شده<sup>(۵)</sup> و سطح عرضی عضلات اسکلتی کاهش می‌یابد. این پدیده که از آن به عنوان سارکوپنیا (Sarcopenia) یاد می‌شود، ناشی از کاهش در اندازه تار عضلانی، تعداد تار و یا ترکیبی از هر دو است<sup>(۱)</sup>. عنوان شده است، سطح مقطع عرضی عضلات در طول عمر حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد<sup>(۶)</sup>.

تحقیقات زیادی نشان داده‌اند، در سالماندان تمرین منظم می‌تواند موجب تقویت عضلات و بهبود عملکرد هوایی و بیهوایی بدن شود<sup>(۷، ۸)</sup>. به عنوان مثال، افزایش ۵۰ تا ۸۰ درصد در فعالیت آنزیم‌های میتوکندریایی و افزایش ۲۵ درصدی در حداکثر اکسیژن مصرفی در موش‌های مسن (۱۸ تا ۲۴ ماه) به دنبال تمرین مشاهده شده است<sup>(۹)</sup>. همچنین، افزایش فعالیت آنزیم لاکتات دهیدروژناز (LDH: Lactate Dehydrogenase)، بعد از تمرین تنابوی<sup>(۱۰)</sup> و مقاومتی<sup>(۱۱)</sup> در عضلات اسکلتی موش‌ها گزارش شده است. همچنین، افزایش ۴۲ تا ۲۵ درصد فعالیت آنزیم سیترات سنتاز (CS: Citrate Synthase) در عضله نعلی<sup>(۱۲)</sup> و دوقلو<sup>(۹)</sup> موش‌ها (پیر و جوان) بعد از تمرین استقامتی دیده شده است. همسو با این مطالعات حیوانی، افزایش ظرفیت اکسیداتیو و بهبود عملکرد میتوکندریایی عضلات اسکلتی بعد از تمرین در انسان هم مشاهده شده است<sup>(۱۳، ۱۴)</sup>. Short و همکاران بیان کردند ۴ ماه تمرین هوایی در سالماندان باعث افزایش فعالیت آنزیم سیترات سنتاز، سیتوکروم C، سنتز پروتئین و بیوزن میتوکندری می‌شود<sup>(۱۵)</sup>. ضمن اینکه، نشان داده شده است که تمرین، حداقل تا اواخر میاسالی می‌تواند، مزایای قابل توجهی برای بدن و ظرفیت اکسیداتیو عضلات انسان<sup>(۸)</sup> و جوندگان<sup>(۱۶)</sup> داشته باشد. در

جهت آشنایی و سازگاری با محیط در آزمایشگاه دانشکده داروسازی و علوم دارویی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و در دمای  $1\pm 22$  درجه سانتی‌گراد، رطوبت  $6\pm 5.5\%$  و چرخه ۱۲:۱۲ ساعت روشنایی-تاریکی و در شرایط مناسب تغذیه و آب قرار گرفتند. سپس موش‌های پیر با میانگین وزن  $31\pm 8.9$  گرم و موش‌های جوان با میانگین وزن  $13\pm 2.4$  گرم به طور تصادفی به دو گروه تجربی ( $n=10$ ) و شاهد ( $n=10$ ) تقسیم شدند. همچنین، یک هفته آشنایی با دویین روی نوارگردان انجام شد و در ادامه پروتکل تمرینی به مدت ۸ هفته روی گروه‌های تجربی اجرا شد. گروه‌های شاهد در طول دوره تمرین در قفس‌های پلی‌کربنات شفاف نگهداری شدند و برای کنترل سلامت آنها وزن کشی هفتگی انجام می‌شد.

پروتکل تمرینی شامل، ۴ دقیقه دویین و ۲ دقیقه استراحت فعال در  $10^{\circ}$  مرحله تمرینی بود. سرعت دویین در طول دوره تمرینی، به صورت فرایینده از  $18$  به  $30$  متر در دقیقه افزایش یافت. برنامه تمرینی به مدت  $60$  دقیقه،  $6$  جلسه در هفته و به مدت  $8$  هفته روی نوارگردان انجام شد. در هر جلسه تمرین،  $7$  دقیقه گرم کردن در ابتدا و  $5$  دقیقه سرد کردن در پایان انجام شد( $25$ ). پس از یک هفته آشناسازی با دویین روی نوارگردان، آزمودنی‌های گروه تجربی به مدت  $8$  هفته، هفت‌های  $6$  جلسه تمرین کردند. تمرین در هفته اول با سرعت  $18$  متر بر دقیقه شروع و به تدریج در دو هفته آخر، به سرعت  $30$  متر بر دقیقه افزایش یافت. دو هفته آخر تمامی متغیرهای تمرینی ثابت نگه داشته شد تا سازگاری‌های انجام شده در زمان تشریح به حالت یکنواخت خود برسد. همچنین از مطالعه Hafstad و همکاران به عنوان الگویی برای طراحی تمرین استفاده شد( $25$ ).

حیوانات  $24$  ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی ( $10^{\circ}$ )، بعد از ناشتاپی شبانه ( $12$  ساعت)، با ترکیبی از کتابمین ( $100$  میلی گرم) به ازای هر کیلوگرم وزن) و زایلazin ( $10$  میلی گرم) به ازای هر کیلوگرم وزن) بیهوش شدند. عضلات بازکننده طویل انگشتان پا (EDL) و نعلی (SOL) در شرایط استریل جدا شدند. نمونه‌های بافتی بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد و ضمن انتقال به آزمایشگاه در دمای  $-80^{\circ}$ -درجه سانتی‌گراد برای

نعلی (SOL) موش‌های صحرایی نر پیر و جوان اندازه‌گیری شده است. آنزیم سیترات سنتاز اولین واکنش چرخه اسیدسیتریک یعنی اتصال گروه استیل به اگزوالواستات (Oxaloacetate) برای تشکیل سیترات را کاتالیز می‌کند( $22$ ) و به طور معمول به عنوان یک آنزیم استاندارد برای ظرفیت اکسیداتیو و نشانگر کمی جهت محتوای میتوکندری سالم استفاده می‌شود( $20$ ). لاکتان دهیدروژناز نیز آنزیم نزدیک به تعادلی است که واکنش تبدیل لاکتان به پیروات و بر عکس را کاتالیز می‌کند( $23$ ). این واکنش، باعث حفظ عرضه انتقال دهنده پروتون- الکترون ( $\text{NAD}^+$ ) برای ادامه گلیکولیز می‌شود( $24$ ) و شاخص مناسبی برای ظرفیت گلیکولیتیک عضلات محسوب می‌شود( $21$ ). با توجه به مسایل عنوان شده، تمرین بدنی می‌تواند به عنوان عاملی مهم در جهت جلوگیری از کاهش توانمندی و اجراهای حرکتی در سالمندی مورد توجه قرار گیرد. با این وجود، این که چه نوع برنامه تمرینی بیشترین سودمندی را برای رسیدن به این هدف در بر دارد به روشنی مشخص نیست. اگر چه به نظر می‌رسد، تمرینات تنابی با شدت مناسب می‌تواند عوارض ناشی از افزایش سن را کاهش داده و یا به تأخیر اندازد( $3$ )، ولی تحقیقات صورت گرفته در این زمینه اندک است. بر همین اساس پژوهش حاضر به بررسی ظرفیت اکسیداتیو و گلیکولیتیک عضلات اسکلتی موش‌های صحرایی نر پیر و جوان به دنبال  $8$  هفته تمرین تنابی پرداخته است.

### روش بررسی

این تحقیق از نوع تحقیقات تجربی و مدل حیوانی است که با طرح پس آزمون با گروه شاهد اجرا شده است. نمونه‌ها به طور تصادفی به گروه‌های تجربی و شاهد تقسیم شده و پروتکل تمرینی به مدت  $8$  هفته روی گروه‌های تجربی اجرا شد. در این مدت گروه‌های شاهد فعالیت ورزشی نداشتند ولی در سایر موارد در شرایط یکسانی با گروه‌های تجربی نگهداری شدند. در این مطالعه تعداد  $40$  سر موش صحرایی نر نژاد ویستار در دو گروه سنی پیر ( $20$  سر) با میانگین سن  $27$  ماه و جوان ( $20$  سر) با میانگین سن  $3$  ماه به عنوان جامعه آماری از انستیتو پاستور ایران تهیه شدند. حیوانات به مدت یک هفته

فعالیت LDH در مسیر پیروات به لاکتان با استفاده از روش اصلاح شده Pesce و همکاران انجام گردید(۲۷). هموژن به ۱۰۰ میلیمول بافر فسفات پتاسیم ( $pH = ۷/۴$ ), ۰/۷ میلیمول سدیم پیروات و ۰/۱۲ میلیمول NADH اضافه و در یک کیووت مخلوط شد. جذب نمونه به مدت ۵ دقیقه در طول موج ۳۴۰ نانومتر در ۳۰ درجه سانتیگراد خوانده شد. از آنجا که بافر هموژن حاوی GSH است، نمیتوان محتوای پروتئین هموژن را برای سنجش آنزیم متابولیک بکار برد. بنابراین، بخشی از عضلات در بافر هموژنایزی که GSH از آن خارج شده بود، هموژن شد و از آن برای تعیین محتوای پروتئین استفاده شد. اندازه‌گیری محتوای پروتئین به روش برادفورد صورت گرفت.

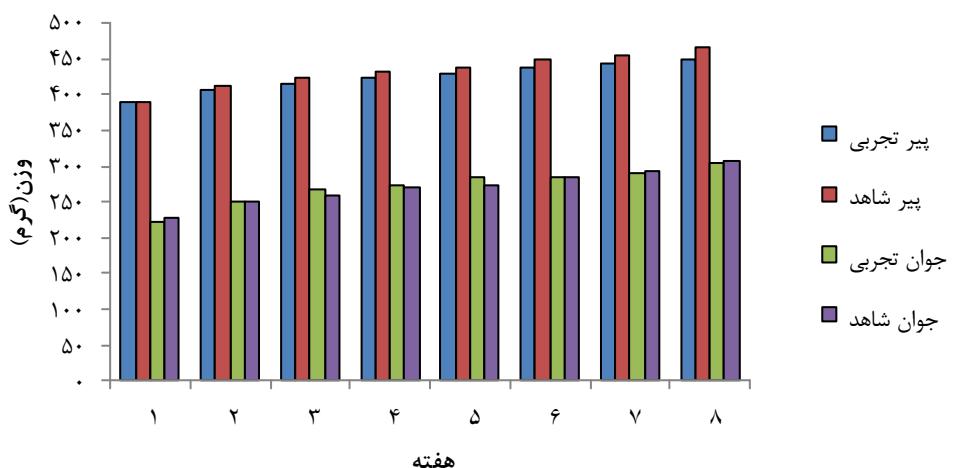
داده‌های به دست آمده به صورت شاخص‌های پراکندگی میانگین و انحراف معیار بیان شد. جهت اطمینان از نرمال بودن توزیع نمونه‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و از آزمون‌های تحلیل واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه تفاوت فعالیت آنزیم‌های سیترات سنتاز و لاکتان دهیدروژناز عضلات EDL و SOL بین گروه‌ها استفاده شد. در ضمن کلیه تجزیه و تحلیل آماری با نرمافزار SPSS صورت گرفت. سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

#### نتایج

در شروع و پس از ۸ هفته تمرین تناوبی، تغییر معنی‌داری در وزن حیوانات مشاهده نشد (نمودار ۱).

تجزیه و تحلیل‌های بیوشیمیایی نگهداری شد. سنجش میزان آنزیم سیترات سنتاز و لاکتان دهیدروژناز به روش آنزیماتیک انجام شد. حدود ۳۵ تا ۵۰ میلی‌گرم از عضلات با استفاده از ترازوی Extend-Sartorius با دقت ۰/۰۰۰۱ ساخت کشور آلمان جهت استخراج غشای سلولی برداشته شد. ابتدا به صورت تکه‌های بسیار ریز آماده شد. سپس بافت به نسبت ۱/۱۰ با بافر [mM: sucrose 210, EGTA 2, NaCl 40, HEPES 30, EDTA 5, and phenylmethylsulfonyl fluoride 2 ( $pH 7.4$ )] مخلوط و با استفاده از دستگاه هموژنایزر T10B ULTRA-TURRAX (آلمان) هموژن گردید. در ضمن فرایند هموژن کردن روی یخ صورت گرفت. هموژن آماده شده به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد با سرعت ۱۰۰۰۰ سانتریفوژ شد (سانتریفوژ مجهر به سیستم خنک کننده، Eppendorf - 5810R آلمان) تا مواد RBC از بافت جدا شود. سوپرناتانت برداشته شد و در دمای ۸۰ - درجه سانتیگراد برای سنجش میزان آنزیم نگهداری شد.

فعالیت CS و LDH توسط روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. برای سنجش فعالیت CS، هموژن به ۰/۱ میلی‌مول تریس بافر ( $pH = ۸$ ), ۰/۱ میلی‌مول DTNB، ۰/۳ میلی‌مول استیل کوا و ۰/۵ میلی‌مول اکسالواسرات) اضافه و در Tube or container which is used in (cuvette) laboritories مخلوط شد. جذب نمونه به مدت ۵ دقیقه در ۴۱۲ نانومتر در ۳۰ درجه سانتیگراد خوانده شد(۲۶). همچنین



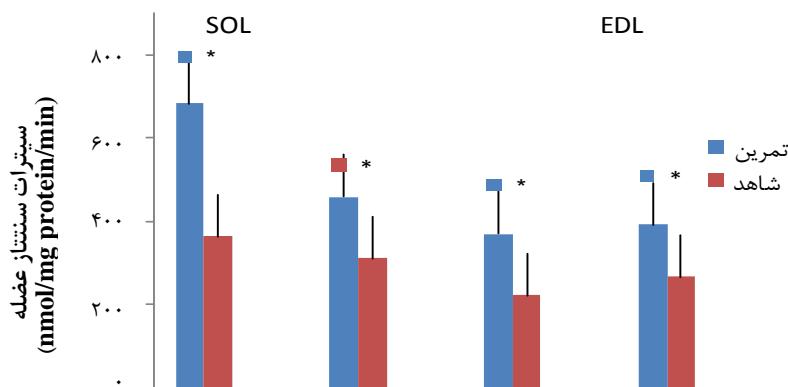
نمودار ۱: تغییر وزن موش‌ها در طول ۸ هفته تمرین تناوبی

جوان تجربی نسبت به گروه جوان شاهد در حدود ۴۸ درصد افزایش داشت. میانگین سیترات سنتاز عضله SOL در گروه جوان تجربی نسبت به گروه جوان شاهد در حدود ۳۲ درصد افزایش داشت. بنابراین در هر دو گروه سنی میانگین سیترات سنتاز در هر دو عضله افزایش معنی‌داری داشت ( $p < 0.05$ ). که در جدول و نمودار ۲ آورده شده است.

میانگین و انحراف استاندارد متغیرها، در عضلات، بازکننده طویل انگشتان پا (EDL) و نعلی (SOL) در جدول ۱ ارائه شده‌اند. بر اساس اطلاعات این جدول، میانگین سیترات سنتاز عضله EDL در گروه پیر تجربی نسبت به گروه پیر شاهد در حدود ۸۷ درصد افزایش داشت. میانگین این آنزیم در عضله نعلی گروه پیر تجربی نسبت به گروه پیر شاهد در حدود ۶۶ درصد افزایش داشت. همچنانی میانگین سیترات سنتاز عضله EDL در گروه

جدول ۱: میانگین و انحراف استاندارد متغیرها، در عضلات EDL و SOL موش‌ها

جوان شاهد	جوان تجربی	پیر شاهد	پیر تجربی	
(میانگین ± انحراف معیار) (میانگین ± انحراف معیار) (میانگین ± انحراف معیار)				EDL
۱۷۲۹/۴۱ ± ۱۲۳	۲۳۵۳/۸ ± ۱۵۲*	۱۵۰۳/۶۷ ± ۷۷	۱۵۷۰/۳۹ ± ۹۰	LDH(nmol/mg Protein/min)
۳۱۱/۰ ۱ ± ۳۹	۴۶۰/۱۶ ± ۶۱*	۳۶۴/۲۳ ± ۶۴	۶۸۳/۱ ± ۵۳*	Cs(nmol/mg Protein/min)
				SOL
۵۲۸/۴۷ ± ۱۰۹	۸۱۵/۴۴ ± ۹۹*	۶۲۷/۳۱ ± ۵۴	۶۷۱/۹۴ ± ۷۹	LDH(nmol/mg Protein/min)
۲۹۶/۷ ± ۳۹	۳۹۲/۳۸ ± ۹۲*	۲۲۳/۴۵ ± ۸۷	۳۷۱/۵۱ ± ۸۴*	Cs(nmol/mg Protein/min)

 $p < 0.05 *$ 

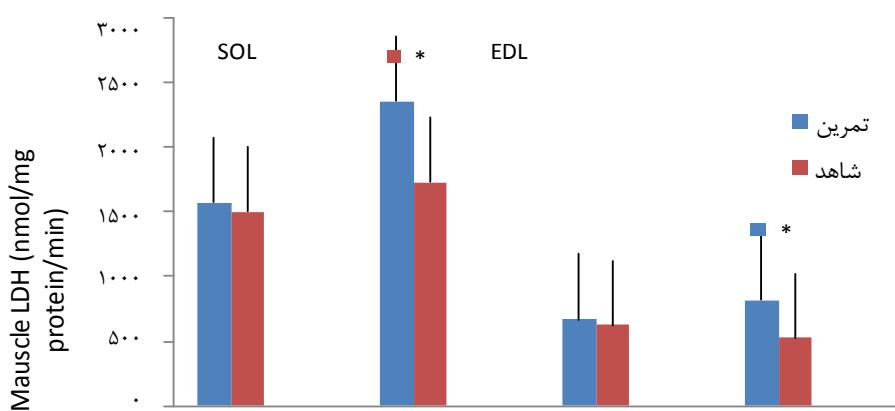
نمودار ۲: تغییرات سیترات سنتاز عضلات SOL و EDL بعد از اجرای پروتکل تمرینی

پیر تجربی (n=۸)، پیر شاهد (n=۶)، جوان تجربی (n=۸)، جوان شاهد (n=۶)

 $p < 0.05 *$ 

جدول ۲: نتایج آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه میانگین CS عضلات EDL و SOL

جوان شاهد P-Value	جوان تجربی P-Value	پیر شاهد P-Value	عضله	گروه
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	EDL	پیر تجربی
۰/۰۳۳	۰/۶۲۱	۰/۰۰۳	SOL	
۰/۱۱	۰/۰۰۴	-	EDL	پیر شاهد
۰/۳۶۴	۰/۰۰۱	-	SOL	
۰/۰۰۰	-	EDL		جوان تجربی
۰/۰۱۲	-	SOL		



نمودار ۳: تغییرات LDH عضلات SOL و EDL بعد از اجرای پروتکل تمرینی

پیر تجربی (n=۸)، پیر شاهد (n=۶)، جوان تجربی (n=۸)، جوان شاهد (n=۶)

p&lt;۰/۰۵ \*

نسبت به گروه پیر شاهد در حدود ۷ درصد افزایش داشت. در این گروه افزایش LDH در هر دو عضله از نظر آماری معنی دار نبود (جدول و نمودار ۳). با این حال، میانگین LDH عضله EDL در گروه جوان تجربی نسبت به گروه جوان شاهد در حدود ۳۶ درصد افزایش داشت. همچنان میانگین LDH عضله SOL نسبت به گروه جوان شاهد در حدود ۵۴ درصد افزایش داشت. در گروه جوان افزایش LDH در هر دو عضله از نظر آماری معنی دار بود(p<۰/۰۵).

همچنان که نتایج فوق نشان می دهد، تفاوت معنی داری بین میزان فعالیت سیترات سنتاز عضله EDL در دو گروه پیر تجربی و جوان تجربی وجود دارد (p<۰/۰۵). ولی این تفاوت در عضله SOL معنی دار نیست، این میزان در گروه پیر تجربی بالاتر بود.

علاوه بر این، میانگین LDH عضله EDL در گروه پیر تجربی نسبت به گروه پیر شاهد در حدود ۵ درصد افزایش داشت. ضمن آنکه میانگین این آنزیم در عضله SOL گروه پیر تجربی

جدول ۳ نتایج آزمون تعقیبی توکی (مقادیر p) برای مقایسه میانگین LDH عضلات EDL و SOL

گروه	عضله	پیر شاهد	جوان تجربی	جوان شاهد	P-Value
پیر تجربی	EDL	۰/۳۰۹	۰/۰۲۱		
	SOL	۰/۳۶۱	۰/۰۰۶		
پیر شاهد	EDL	-	۰/۰۰۳		
	SOL	-	۰/۰۶۶		
جوان تجربی	EDL	۰/۰۰۰	-		
	SOL	۰/۰۰۰	-		

### بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه فعالیت آنزیم سیترات سنتاز به عنوان شاخصی از فعالیت فسفوریل‌اسیون اکسیداتیو در عضلات اسکلتی اندازه‌گیری شد(۲۸). این آنزیم به وسیله نسبت بالای

همچنان که نتایج فوق نشان می دهد، تفاوت معنی داری بین افزایش میزان فعالیت آنزیم لاکتات دهیدروژنار در هر دو عضله EDL و SOL در دو گروه پیر تجربی و جوان تجربی وجود دارد (p<۰/۰۵) که این افزایش در گروه جوان تجربی بالاتر بود.

نتایج آنها نشان دادند که اگر چه تمرین روی نوارگردان از اواخر میانسالی تا سالخوردگی مزایای قابل توجهی در بهبود عملکرد و کاهش چربی بدن دارد، اما این تمرینات نمی‌تواند از کاهش توده عضلانی، ظرفیت هوایی عضلانی و یا فعالیت آنزیم‌های میتوکندریایی جلوگیری کند(۲۲). در مطالعه حاضر، فعالیت آنزیم سیترات سنتاز عضلات اسکلتی (EDL, SOL) گروه پیر تجربی بالاتر از گروه جوان تجربی بود. اگر چه این افزایش فقط در عضله EDL معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ), ولی این نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً در سالمندی واپستگی بیشتری به فسفوریلاسیون اکسیداتیو وجود دارد. همسو با این مطالعات حیوانی، Rodas و همکاران افزایش فعالیت آنزیم سیترات سنتاز (٪۳۸) و لاکتان دهیدروژناز (٪۴۵) را در انسان، بعد از دو هفته تمرین با دوره‌های استراحت طولانی (۱۲ دقیقه) روی دوچرخه کارستنج گزارش کردند(۳۰). علاوه بر این، در مطالعه Juan و همکاران میزان افزایش فعالیت آنزیم سیترات سنتاز و گسترش شبکه مویرگی در پاسخ به ۱۲ هفته تمرین استقامتی در مردان پیر (۶۹ سال) و جوان (۲۲ سال) بررسی شد(۳۱). نتایج این مطالعه نشان داد که در هر دو گروه سنی فعالیت سیترات سنتاز، پس از تمرین در مقایسه با قبل از تمرین به طور معنی‌داری بالاتر بود. ضمن اینکه بهبود حاصل شده در فعالیت سیترات سنتاز، ظرفیت تنفسی میتوکندری و گسترش شبکه مویرگی در هر دو گروه سنی مشابه بود. این نتایج پیشنهاد کرد که افزایش فعالیت CS و سایر متغیرهای اندازه‌گیری شده در این مطالعه، به دنبال تمرین مستقل از سن است(۳۱). در مجموع در تأیید نتایج مطالعه حاضر، حداکثر فعالیت آنزیم سیترات سنتاز بعد از تمرین در جوندگان (۹,۲۲,۳۲,۳۳) و انسان (۸,۳۱,۳۴) مشاهده شده است. به علاوه، در این مطالعه فعالیت آنزیم لاکتان دهیدروژناز به عنوان شاخصی از فعالیت گلیکولیتیک در عضلات اسکلتی اندازه‌گیری شد. این آنزیم دارای چهار زنجیره با ترکیبی از دو نوع زیرواحد مشابه است که زیر واحد H برای قلب و زیر واحد M برای عضله به کار می‌رود. از ترکیب آنها پنج ایزوژنیم H4, H3M, H2M2, HM3 و M4 حاصل می‌شود(۲۳). نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین LDH عضله EDL و SOL در

ATP/ADP مهار می‌شود. هنگام فعالیت بدنی افت این نسبت سبب فعال شدن این آنزیم می‌شود(۲۰). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میانگین فعالیت این آنزیم در عضله EDL و SOL در هر دو گروه سنی نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌داری دارد ( $p < 0.05$ ). این افزایش در عضله EDL و SOL گروه پیر به ترتیب ۸۷ و ۶۶ درصد بود. همچنین میزان افزایش سیترات سنتاز عضله EDL و SOL گروه جوان به ترتیب ۴۸ و ۳۲ درصد بود. در مطالعه‌ای تأثیر ۸ هفته تمرین استقامتی بر فعالیت آنزیم سیترات سنتاز عضلات اسکلتی و قلبی موش بررسی شد. نتایج نشان داد که بعد از اجرای تمرین سیترات سنتاز در عضله نعلی به میزان ۲۵ تا ۴۲ درصد افزایش داشت(۱۲). همچنین Rossiter و همکاران گزارش کردند که بعد از اجرای ۸ هفته تمرین استقامتی و حاد فعالیت آنزیم سیترات سنتاز در هر دو گروه موش‌های پیر (۲۴ ماه) و جوان (۶ ماه) در عضله دوقلو افزایش یافت(۹). با وجود اینکه میزان فعالیت CS گروه جوان شاهد به طور قابل توجهی بیشتر از گروه شاهد پیر بود ولی در میزان افزایش این آنزیم بعد از تمرین تفاوت معنی‌داری در دو گروه سنی مشاهده نشد. بر این اساس، نتیجه گیری کردند که سن عاملی در جهت جلوگیری از سازگاری در پاسخ به تمرین (حاد و طولانی مدت) نیست و اثر تمرین را کاهش نمی‌دهد(۹). همچنین Betik و همکاران تأثیر تمرین را بر روی بهبود عملکرد هوایی عضلات اسکلتی موش‌های پیر F344BN (۲۸ ماه) بررسی کردند(۲۹). این محققین گزارش کردند، فعالیت آنزیم سیترات سنتاز در گروه تمرین افزایش معنی‌داری نسبت به گروه شاهد دارد (حدود ٪۲۵) که نتایج این مطالعات با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. همین محققی در ادامه کار قبلی خود همان حیوانات را برای ۵ یا ۷ ماه روی نوارگردان تمرین دادند. نتایج آنها نشان داد که برخلاف نتایج به دست آمده در مطالعه اول (سن موش‌ها ۲۸ ماه بود) در این مطالعه که سن موش‌ها حدود ۳۴ یا ۳۶ ماه بود، اگر چه در گروه تمرین درصد چربی بدن موش‌ها کاهش یافته بود ولی افزایش فعالیت آنزیم هوایی سیترات سنتاز و توده عضلانی، در هیچ‌کدام از عضلات کند انقباض (نعلی) و یا تند انقباض (پلاتناریس) مشاهده نشد. با این

دارد، به طوری که این آنژیم علاوه بر فعالیت در روند تولید انرژی و لاكتات، در ایجاد شرایط التهابی برای سلول‌های عضلانی نیز نقش دارد<sup>(۳۶)</sup>. از این رو بعضی مطالعات، افزایش سطح LDH در اثر فعالیتهای بدنی را ناشی از آسیب غشاء فیبرهای عضلانی می‌دانند<sup>(۳۷)</sup>. در مطالعه حاضر افزایش LDH احتمالاً به علت آسیب عضله نیست. زیرا ۸ هفته تمرین منجر به سازگاری شده و احتمالاً باعث آسیب عضلانی نمی‌شود. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش میزان فعالیت آنژیم لاكتات دهیدروژناز به طور معنی‌داری در هر دو عضله EDL و LSO در گروه جوان تجربی بیشتر از گروه پیر تجربی است( $p < 0.05$ )<sup>(۳۸)</sup>. این یافته‌ها با یافته‌های حاصل از فعالیت آنژیم سیترات سنتار همخوانی دارد و نشان می‌دهد که با افزایش عضله آنژیم، متابولیسم هوایی معمولاً سیستم غالب در فعالیت عضلانی سن، متابولیسم هوایی معمولاً سیستم غالب در فعالیت عضلانی خواهد بود. در همین راستا، تأثیر سن و تمرین استقامتی بر فعالیت آنژیم LDH در موش‌های جوان، میانسال و پیر توسط Lupa و همکاران مطالعه شد. آنها گزارش کردند که به دنبال تمرین استقامتی در فعالیت این آنژیم در موش‌های میانسال و پیر تغییری ایجاد نمی‌شود<sup>(۳۸)</sup>. همچنین نتایج مطالعه آنها در نشان داد که تمرین استقامتی، در فعالیت آنژیم LDH در عضلات (EDL و SOL) همراه با افزایش سن تغییری ایجاد نمی‌کند<sup>(۳۸)</sup>. همچنین Masuda و همکاران در مطالعه‌ای روی موش‌های مسن و جوان، گزارش کردند، اگر چه همراه با افزایش سن تغییرات متابولیکی اتفاق می‌افتد ولی در فعالیت آنژیم لاكتات دهیدروژناز تفاوتی بین دو گروه وجود ندارد<sup>(۳۹)</sup>. در راستای این مطالعات حیوانی، Kaczor در پژوهشی به بررسی اثر سن بر فعالیت آنژیمهای هوایی و بی‌هوایی در عضلات اسکلتی انسان پرداخت<sup>(۴۰)</sup>. نتایج این مطالعه نشان داد که فعالیت تمام آنژیمهای در سالمندان در مقابل میانسالان هنگامی که نتایج بر اساس وزن عضلات بیان شود، کمتر است. اما هنگامی که فعالیت آنژیمی نسبت به محتوای پروتئین بیان شود، فقط فعالیت لاكتات دهیدروژناز به طور معنی‌داری در سالمندان در مقابل میانسالان پایین‌تر می‌باشد. در نتیجه، کاهش در عملکرد عضلانی افراد مسن، تنها به دلیل کاهش

گروه پیر تجربی نسبت به گروه پیر شاهد به ترتیب در حدود ۵ و ۷ درصد افزایش یافت که این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. با این حال، سطح LDH عضله LDH و SOL در گروه جوان تجربی نسبت به گروه جوان شاهد افزایش معنی‌داری داشت (به ترتیب حدود ۳۶ و ۵۴ درصد) ( $p < 0.05$ )<sup>(۴۱)</sup>. اگر چه میزان افزایش فعالیت LDH در گروه پیر تجربی نسبت به پیر شاهد معنی‌داری نبود، ولی همین میزان افزایش به اضافه افزایش معنی‌دار در گروه جوان تجربی نشان می‌دهد که پروتکل تمرین تناوبی روی فعالیت این آنژیم در هر دو گروه سنی موثر بوده و باعث افزایش فعالیت LDH شده است. در تأیید این نتایج، Carnevali و همکاران افزایش فعالیت آنژیم لاكتات دهیدروژناز را بعد از اجرای تمرین تناوبی در عضله Washington موش‌ها صحرایی مشاهده کردند<sup>(۴۲)</sup>. همچنین اسکلتی موش‌ها را به دنبال تمرین مقاومتی مشاهده کردند<sup>(۴۳)</sup>. در گزارش Clarkson و همکارش هم بیان شده، با افزایش شدت تمرین و تبدیل فعالیت از مسیر هوایی به بی‌هوایی، میزان غلظت لاكتات افزایش یافته و به دنبال آن میتوکندری در واکنش تبدیل لاكتات به پیروات ضروری است. همچنین میتوکندری عضلانی اسکلتی حاوی LDH هستند که لاكتات را می‌توانند مستقیماً مصرف کنند. این موضوع برای انتقال یون هیدروژن نیز حائز اهمیت است. بنابراین، LDH میتوکندری می‌تواند مصرف و انتقال لاكتات را تنظیم کند<sup>(۴۴)</sup>. بر اساس نظریه شاتل درون سلولی، لاكتات در سیتوپلاسم در حضور آنژیم LDH تولید شده و سپس از طریق MCT: Monocarboxylate Transporter شده و در چرخه اسیدسیتریک مصرف می‌شود<sup>(۴۵)</sup>. بنابراین به نظر می‌رسد، آنژیم LDH جهت انتقال، تنظیم و مصرف لاكتات اهمیت خاصی دارد و فعالیت آن میزان تولید و مصرف لاكتات را تعیین می‌کند<sup>(۴۶)</sup>. بر اساس شواهد موجود، به نظر می‌رسد که آنژیم لاكتات دهیدروژناز در اثر تمرین قابلیت افزایش تولید

LDH فراوان در میتوکندری عضلات اسکلتی امکان اکسیداسیون مستقیم لاکتات در میتوکندری وجود دارد(۲۴). همچنین وجود MCT1 در غشای سارکولمائی، میتوکندری و زیرسارکولمائی به همراه LDH، احتمال اکسیداسیون مستقیم لاکتات را توجیه می کند(۴۲). لذا، افزایش LDH به دنبال تمرین عاملی است که می تواند روند پاکسازی لاکتات را تسريع نماید. در واقع این موضوع به پرسازی مجدد گلیکوژن عضلات با افزایش اکسیداسیون از تبدیل لاکتات به گلوکز تا تشکیل گلیکوژن کمک می کند.

به طور کلی، برنامه تمرین تنابوی این مطالعه، افزایش فعالیت هر دو آنزیم هوایی و غیرهوایی را بعد از ۸ هفته تمرین روی نوارگردان در هر دو گروه سنی به همراه داشته است. همچنین، تفاوت حاصل در میزان افزایش فعالیت آنزیم های سیترات سنتاز و لاکتات دهیدروژنаз در گروه پیر تجربی و جوان بیشتری به فسفوریلاسیون اکسیداتیو وجود دارد و با افزایش سن، متابولیسم هوایی معمولاً سیستم غالب در فعالیت عضلانی خواهد بود. تغییرات در متابولیسم هوایی با مشاهدات دیگران که برنامه تمرین طولانی مدت را اجرا کرده اند، همسو است(۲۹،۳۱). بهبود ظرفیت هوایی به دنبال تمرین تنابوی شاید به علت آن باشد که در تمرینات تنابوی سیستم اکسیداتیو به چالش کشیده می شود. علاوه بر این، در دوره های استراحتی بین وله های تمرین تنابوی لاکتات از طریق فسفوریلاسیون اکسیداتیو مصرف می شود و غلظت لاکتات نیز کاهش می یابد(۲۴). همچنین احتمالاً، وله های تکراری و سرعت فزاینده در برنامه تمرین تنابوی با افزایش غلظت سوبستراهای اتریزیتیک و فعالیت آنزیم LDH باعث افزایش ظرفیت گلیکولیتیک عضلات اسکلتی شده است. این نتایج نشان می دهد، پروتکل تمرینی اجرا شده در این مطالعه زمانی که هدف افزایش هم زمان ظرفیت اکسیداتیو و گلیکولیتیک است، می تواند در جوانی و سالمندی مفید و سودمند باشد.

### References:

فعالیت جسمانی نیست، بلکه ممکن است به دلیل فعالیت پایین تر آنزیم های هوایی و بی هوایی و همچنین محتوای پروتئینی باشد(۴۰). Pastorisa و همکاران نیز در مطالعه ای با هدف بررسی اثر سن بر فعالیت آنزیم ها و غلظت متابولیت ها، در عضله اسکلتی مردان و زنان بی تحرک بیان کردند، سالمندی ظرفیت متابولیسم عضله اسکلتی به ویژه ظرفیت های گلیکولیتیک و تنفسی را تحت تأثیر قرار می دهد(۴۱). آنها فعالیت آنزیم های گلیکولیتیک و فسفوریلاسیون اکسیداتیو را در عضلات، ۷۶ نفر از افراد کم تحرک (۳۲ مرد و ۴۴ زن) بین ۱۵ و ۹۱ سال مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که به موازات افزایش سن، کاهش فعالیت آنزیم های لاکتات دهیدروژناز و هگزوکیناز، کاهش فعالیت سیترات و سیترات سنتاز در عضله پهن میانی و کاهش غلظت ATP و کراتین فسفات در عضله سرینی اتفاق می افتد. این داده ها نشان می دهد که عضلات متمايز ممکن است در سالمندان غیرفعال پاسخ متفاوتی به فعالیت آنزیم ها دهند(۴۱). بنابراین اکثر مطالعات، سن را یکی از عوامل مؤثر بر تغییرات متابولیسم دانسته و تغییر فعالیت آنزیم LDH را بعد از فعالیت بدنه گزارش کرده اند، اگر چه بعضی از مطالعات هم تغییری مشاهده نکرده اند. تناقض در نتایج این مطالعات می تواند به خاطر نژاد، جنسیت، سن و یا ناشی از روش متفاوت مطالعات باشد که نیاز به بررسی های بیشتری دارد.

نتایج مطالعه حاضر، تمایل به افزایش فعالیت لاکتات دهیدروژناز به دنبال تمرین را نشان می دهد. این یافته ها حاکی از آن است که تمرین تنابوی اثر مطلوبی روی فعالیت آنزیم لاکتات دهیدروژناز داشته است. با توجه به اینکه LDH بالاترین  $K_{max}$  را نسبت به سایر آنزیم های در گیر در گلیکولیز دارد و پیروات به لاکتات در جهت تولید لاکتات می باشد، افزایش فعالیت این آنزیم باعث افزایش غلظت لاکتات نسبت به پیروات (حدود ۱۰ برابر) در سطح سیتوزول می شود(۳۶). در نتیجه، لاکتات مونوکربوکسیلات غالب جهت اکسیداسیون در میتوکندری خواهد شد. Brooks گزارش کرد که به دلیل وجود

- 1- Nilwik R, Snijders T, Leenders M, Groen BB, Van Kranenburg J, Verdijk LB, et al. *The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size.* Exp Gerontol 2013; 48(5): 492-98.
- 2- Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, Evans WJ. *A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women.* J Appl Physiol 1991; 71(2): 644-50.
- 3- Hughes VA, Frontera WR, Wood M, Evans WJ, Dallal GE, Roubenoff R, et al. *Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health.* J Gerontol A Bid Sci Med Sci 2001; 56(5): B209-17.
- 4- Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, Kritchevsky SB, Nevitt M, Schwartz AV, et al. *The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2006; 61(10): 1059-64.
- 5- Goodpaster BH, Chomentowski P, Ward BK, Rossi A, Glynn NW, Delmonico MJ, et al. *Effects of physical activity on strength and skeletal muscle fat infiltration in older adults: a randomized controlled trial.* J Appl Physiol 2008; 105(5): 1498-503.
- 6- Klitgaard H, Mantoni M, Schiaffino S, Ausoni S, Gorza L, Laurent-Winter C, et al. *Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds.* Acta Physiol Scand 1990; 140(1): 41-54.
- 7- Peterson MD, Rhea MR, Sen A, Gordon PM. *Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis.* Ageing Res Rev 2010; 9(3): 226-37.
- 8- Short KR, Vittone JL, Bigelow ML, Proctor DN, Rizza RA, Coenen-Schimke JM, et al. *Impact of aerobic exercise training on age-related changes in insulin sensitivity and muscle oxidative capacity.* Diabetes 2003; 52(8): 1888-96.
- 9- Rossiter HB, Howlett RA, Holcombe HH, Entin PL, Wagner HE, Wagner PD. *Age is no barrier to muscle structural, biochemical and angiogenic adaptations to training up to 24 months in female rats.* J Physiol 2005; 565(Pt 3): 993-1005.
- 10- Carnevali Jr LC, Eder R, Lira FS, Lima WP, Gonçalves DC, Zanchi NE, et al. *Effects of high-intensity intermittent training on carnitine palmitoyl transferase activity in the gastrocnemius muscle of rats.* Braz J Med Biol Res 2012; 45(8): 777-83.
- 11- Washington TA, Reecy JM, Thompson RW, Lowe LL, McClung JM, Carson JA. *Lactate dehydrogenase expression at the onset of altered loading in rat soleus muscle.* J Appl Physiol 2004; 97(4): 1424-30.
- 12- Siu PM, Donley DA, Bryner RW, Alway SE. *Citrate synthase expression and enzyme activity after endurance training in cardiac and skeletal muscles.* J Appl physiol 2003; 94(2): 555-60.

- 13- Holloszy JO. *Biochemical adaptations in muscle. effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle.* J Biol Chem 1967; 242: 2278-82.
- 14- Ghosh S, Lertwattanarak R, Lefort N, Molina-Carrion M, Joya-Galeana J, Bowen BP, et al. *Reduction in reactive oxygen species production by mitochondria from elderly subjects with normal and impaired glucose tolerance.* Diabetes 2011; 60(8): 2051-60.
- 15- Short KR, Vittone JL, Bigelow ML, Proctor DN, Nair KS. *Age and aerobic exercise training effects on whole body and muscle protein metabolism.* Am J Physiol Endocrinol Metab 2004; 286(1): E92-101.
- 16- Cartee GD, Farrar RP. *Muscle respiratory capacity and  $vo_{2max}$  in identically trained young and old rats.* J Appl Physiol 1987; 63(1): 257-61.
- 17- Ehsani AA, Spina RJ, Peterson LR, Rinder MR, Glover KL, Villareal DT, et al. *Attenuation of cardiovascular adaptations to exercise in frail octogenarians.* J Appl Physiol 2003; 95(5): 1781-88.
- 18- Peterson CM, Johannsen DL, Ravussin E. *Skeletal muscle mitochondria and aging: a review.* J Aging Res; 2012 Available from:<http://dx.doi.org/10.1159/000194821>.
- 19- Egan B, Zierath JR. *Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation.* Cell Metab 2013; 17(2): 162-84.
- 20- Greenhaff PL, Hultmat E, Harris RC. *Carbohydrate metabolism.* In: Pootmans JR, editors. Principles of exercises biochemistry. Basel: Karger; 2004.p. 108-51.
- 21- Washington T, Brown L, Smith DA, Davis G, Baum J, Bottje W. *Monocarboxylate transporter expression at the onset of skeletal muscle regeneration.* Physiol Rep 2013; 1 (4): e00075.
- 22- Betik AC, Thomas MM, Wright KJ, Riel CD, Hepple RT. *Exercise training from late middle age until senescence does not attenuate the declines in skeletal muscle aerobic function.* Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 2009; 297(3): R744-55.
- 23- Quistorff B, Grunnet N. *The isoenzyme pattern of LDH does not play a physiological role; except perhaps during fast transitions in energy metabolism.* Aging (Albany NY) 2011; 3(5): 457-60.
- 24- Brooks GA. *Cell-cell and intracellular lactate shuttles.* J Physiol 2009; 587(Pt 23): 5591-600.
- 25- Hafstad AD, Boardman NT, Lund J, Hagve M, Khalid AM, Wisløff U, et al. *High intensity interval training alters substrate utilization and reduces oxygen consumption in the heart.* J Appl Physiol 2011; 111(5): 1235-41.
- 26- Hashimoto T, Kambara N, Nohara R, Yazawa M, Taguchi S. *Expression of MHC-b and MCT1 in cardiac muscle after exercise training in myocardial infarcted rats.* J Appl Physiol 2004; 97: 843-51.
- 27- Pesce A, McKay RH, Stolzenbach F, Cahn RD, Kaplan NO. *The comparative enzymology of lactic dehydrogenases. I. Properties of the crystalline beef and chicken enzymes.* J Biol Chem 1964; 239: 1753-61.
- 28- Drahota Z, Milerová M, Stieglerová A, Houšek J, Ostádal B. *Developmental changes of cytochrome c*

- oxidase and citrate synthase in rat heart homogenate.* Physiol Res 2004; 53(1): 119-22.
- 29- Betik AC, Baker DJ, Krause DJ, McConkey MJ, Hepple RT. *Exercise training in late middle-aged male Fischer344×Brown Norway F1-hybrid rats improves skeletal muscle aerobic function.* Exp Physiol 2008; 93(7): 863-71.
- 30- Rodas G, Ventura JL, Cadefau JA, Cussó R, Parra J. *A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism.* Eur J Appl Physiol 2000; 82(5-6): 480-86.
- 31- Murias JM, Kowalchuk JM, Ritchie D, Hepple RT, Doherty TJ, Paterson DH. *Adaptations in capillarization and citrate synthase activity in response to endurance training in older and young men.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2011; 66(9): 957-64.
- 32- Naito H, Powers SK, Demirel HA, Aoki J. *Exercise training increases heat shock protein in skeletal muscles of old rats.* Med Sci Sports Exerc 2001; 33(5): 729-34.
- 33- Donato AJ, Lesniewski LA, Delp MD. *The effects of aging and exercise training on endothelin-1 vasoconstrictor responses in rat skeletal muscle arterioles.* Cardiovasc Res 2005; 66(2): 393-401.
- 34- Orlander J, Aniansson A. *Effect of physical training on skeletal muscle metabolism and ultrastructure in 70 to 75-year-old men.* Acta Physiol Scand 1980; 109(2): 149-54.
- 35- Clarkson PM, Thompson HS. *Antioxidants: what role do they play in physical activity and health?* American J Clin Nutr 2000; 72(2): 637-46.
- 36- Spriet LL, Howlett RA, Heigenhauser GJ. *An enzymatic approach to lactate production in human skeletal muscle during exercise.* Med Sci Sports Exerc 2000; 32(4): 756-63.
- 37- Choung BY, Byun SJ, Suh JG, Kim TY. *Extracellular superoxide dismutase tissue distribution and the patterns of superoxide dismutase mRNA expression following ultraviolet irradiation on mouse skin.* Exp Dermatol 2004; 13(11): 691-99.
- 38- Lupa VA, Podolin DA, Roth DA, Mazzeo RS. *Influence of aging and endurance training on lactate dehydrogenase in liver and skeletal muscle.* Mech Ageing Dev 1994; 75(3): 191-204.
- 39- Masuda S, Hayashi T, Egawa T, Taguchi S. *Evidence for differential regulation of lactate metabolic properties in aged and unloaded rat skeletal muscle.* Exp Gerontol 2009; 44(4): 280-88.
- 40- Kaczor JJ, Ziolkowski W, Antosiewicz J, Hac S, Tarnopolsky MA, Popinigis J. *The effect of aging on anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2006; 61(4): 339-44.
- 41- Pastoriza O, Boschia F, Verria M, Baiardib P, Felzanic G, Ecchieta J, et al. *The effects of aging on enzyme activities and metabolite concentrations in skeletal muscle from sedentary male and female subjects.* Exp Gerontol 2000; 35(1): 95-104.
- 42- McClelland GB, Brooks GA. *Changes in MCT1, MCT4, and LDH expression are tissue specific in rats after long-term hypobaric hypoxia.* J Appl Physiol 2002; 92(4): 1573-84.

## **Effect of Intermittent Training on Oxidative and Glycolytic Capacity in Rat Skeletal Muscles**

**Arabmomeni A(PhD Student)<sup>\*1</sup>, Mohebbi H(PhD)<sup>2</sup>, Rahmani-Nia F(PhD)<sup>3</sup>, Riasi A(PhD)<sup>4</sup>, Marandi M(PhD)<sup>5</sup>**

<sup>1-3</sup>Department of Physical Education, University of Guilan, Rasht, Iran

<sup>4</sup>Department of Agriculture, Industrial University of Isfahan, Isfahan, Iran

<sup>5</sup>Department of Physical Education, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**Received:** 9 Jul 2014

**Accepted:** 2 Oct 2014

### **Abstract**

**Introduction:** Any type of exercise protocol has specific effects on the physiology of the body. Thus, according to the purpose of the training program and conditions of the subjects, a specific exercise protocol is needed to be considered. Therefore, the purpose of this study was to assess the effect of intermittent training on oxidative and glycolytic capacity in rat skeletal muscles.

**Methods:** Forty male rats were divided into two old (27 mon,  $389 \pm 31$  g) and young groups ( $3 \pm 4$  mon,  $224 \pm 14$  g), each of which were randomly divided into control and experimental groups ( $n = 10$ ). Training group performed intermittent exercise on a treadmill 6 times /week for 8 weeks. It consisted of 10 bouts of 4 min running interspersed by 2 min of active rest. All rats were anesthetized, 24 hours after the last session exercise, and Soleus (SOL) and extensor digitorum longus (EDL) muscles were removed rapidly. In fact, the tissues were analyzed in regard with CS and LDH enzymes activities. In order to analyze the study data, one way-ANOVA and Tukey's post-hoc tests were applied.

**Results:** The results demonstrated that CS enzyme activity in EDL and SOL muscles increased significantly in both, old (OT) and young groups (YT) ( $p < 0.05$ ). Furthermore, although there was an increase in LDH enzyme activity in OT, it was not statistically significant. However, LDH enzyme activity was significantly higher in both EDL and SOL in YT ( $P > 0.05$ ).

**Conclusion:** The results suggested that the training method described in the present study can be quite beneficial to the young and old, when a simultaneous increase in oxidative and glycolytic capacity is aimed.

**Keywords:** Citrate Synthase (CS); Glycolytic; Intermittent Training; Lactate Dehydrogenase (LDH); Oxidative

**This paper should be cited as:**

Arabmomeni A, Mohebbi H, Rahmani-Nia F, Riasi A, Marandi M. **Effect of intermittent training on oxidative and glycolytic capacity in rat skeletal muscles.** J Shahid Sadoughi Univ Med Sci 2014; 22(5): 1554-66.

\*Corresponding author: Tel: +98 09133688572, Email: arabmomeni@iaukhsh.ac.ir