

تعیین شدت حداکثر لاکتات حالت پایدار برای موش‌های صحرایی و بیستار

در چرخ گردان اجباری

سجاد رضایی^۱، حمید آقا علی‌نژاد^۲، مهدیه ملانوری شمسی^۳

چکیده

سابقه و هدف: چرخ گردان اجباری یکی از کارسنج‌های رایج در مطالعات حیوانی است. با توجه به اهمیت شدت فعالیت در تمرینات ورزشی، هدف پژوهش حاضر تعیین شدت حداکثر لاکتات حالت پایدار (MLSS) در موش‌های صحرایی و بیستار در چرخ گردان اجباری به منظور کمک به تجویز مناسب فعالیت ورزشی است.

مواد و روش‌ها: ۲۱ سر موش صحرایی و بیستار نر (20 ± 20 گرم) پس از آشنا سازی با چرخ گردان اجباری به صورت تصادفی به ۴ گروه آزمون توان فزاینده (تعداد=۶)، آزمون توان ثابت با سرعت ۱۴/۵ متربر دقیقه (تعداد=۵)، آزمون توان ثابت با سرعت ۱۶ متربر دقیقه (تعداد=۵) و آزمون توان ثابت با سرعت ۱۷ متربر دقیقه (تعداد=۵) تقسیم شدند. بالاترین شدت تلاش حیوان که غلظت لاکتات خون طی ۱۰ الی ۲۵ آزمون توان ثابت بیش از ۱ میلی‌مول در لیتر افزایش نداشت به عنوان شدت حداکثر لاکتات حالت پایدار در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: غلظت لاکتات خون آزمون‌های توان ثابت در سرعت‌های ۱۴/۵ متر بر دقیقه و ۱۶ متر بر دقیقه بین ۱۰ الی ۲۵ به حالت پایداری رسید. در حالی که افزایش ناگهانی غلظت لاکتات خون در سرعت ۱۷/۵ متر بر دقیقه مشاهده شد. بنابراین حداکثر لاکتات حالت پایدار، سرعت ۱۶ متر بر دقیقه با میانگین غلظت لاکتات $3/85 \pm 0/91$ مول بر لیتر در موش صحرایی و بیستار در چرخ گردان اجباری تعیین گردید.

نتیجه‌گیری: یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد موش‌های صحرایی و بیستار در سرعت ۱۶ متر بر دقیقه در چرخ گردان اجباری به MLSS می‌رسند. یافته‌های این پژوهش کمک بسزایی در طراحی پروتکل‌های تمرین ورزشی موش‌های صحرایی و بیستار در چرخ گردان اجباری در پژوهش‌های بعدی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حداکثر لاکتات حالت پایدار، لاکتات خون، چرخ گردان اجباری، موش صحرایی

۱. کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسئول) halinejad@modares.ac.ir

۳. استادیار فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه فیزیولوژی ورزشی با استفاده از مدل‌های حیوانی به ویژه موش صحرایی صورت گرفته است. چنین پژوهش‌هایی با محدودیت‌هایی از جمله تعیین میزان شدت تلاش حیوان به هنگام ورزش مواجه‌اند (۱). در این راستا محققین همواره سعی در یافتن پروتکل‌های تعیین‌کننده شدت فعالیت ورزشی برای موش‌های صحرایی با بکارگیری اصول آزمون‌های انسانی هستند (۲). یکی از ابزارهای با ارزش در تشخیص شدت فعالیت ورزشی در آزمون‌های انسانی، ارزیابی غلظت لاکتات خون می‌باشد که به عنوان یک شاخص عملکردی مورد پذیرش است (۳). با توجه به حساسیت بالای غلظت لاکتات خون به شدت و مدت فعالیت ورزشی، پژوهش‌های گسترده‌ای برای تشخیص ناحیه انتقال متابولیسم هوازی به بی‌هوازی در موش‌های صحرایی با استفاده از اندازه‌گیری غلظت لاکتات خون انجام شده است (۴-۶). به نظر می‌رسد استفاده از غلظت لاکتات خون و آستانه‌های مربوط به لاکتات می‌تواند پروتکل‌های ورزشی مورد استفاده در نمونه‌های حیوانی را به مطالعات انسانی نزدیک‌تر کند.

حداکثر لاکتات حالت پایدار (MLSS)^۱، یک شاخص استاندارد طلایی برای ارزیابی ظرفیت هوازی است که استفاده از آن برای تشخیص شدت فعالیت ورزشی در موش‌های صحرایی رواج بسیاری یافته است (۵). در واقع، MLSS بالاترین شدت فعالیت ورزشی است که در آن غلظت لاکتات خون افزایش چشمگیر نسبت به تغییرات اولیه شروع فعالیت ورزشی ندارد. بنابراین، این شاخص، نشان‌دهنده نرخ بیشتر گلیکولیز نسبت به مصرف میتوکندریایی پیرووات و در نتیجه تشکیل لاکتات می‌باشد. همچنین از آن می‌توان به عنوان یک روش کیفی در تشخیص شدت فعالیت ورزشی القاء کننده محدودیت ذخایر انرژی و اختلال شدید در هومئوستاز سلولی استفاده کرد (۷، ۸). در نتیجه، MLSS را می‌توان به عنوان یک استاندارد طلایی برای تشخیص ظرفیت هوازی و روشی کمی در ارزیابی وضعیت غلظت لاکتات خون حین فعالیت ورزشی بکار برد (۷). مطالعات انسانی نشان داده‌اند می‌توان از شدت MLSS در تجویز تمرینات ورزشی و همچنین ارزیابی ظرفیت هوازی با استفاده از کارسنج‌های مختلف استفاده کرد (۳).

روش‌های مختلفی برای تعیین شدت فعالیت ورزشی در مطالعات حیوانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در راستای تعیین شدت ورزش با استفاده از تغییرات غلظت لاکتات در مدل‌های حیوانی ابتدا گاباتو و همکاران (۲۰۰۱) به توصیف پروتکل MLSS در موش‌های صحرایی نژاد ویستار با استفاده از ورزش شنا با آزمون‌های توان ثابت پرداختند (۵). در مطالعه دیگری والتاری و همکاران (۲۰۰۲) با بکارگیری آزمون حداقل لاکتات در موش‌های صحرایی شناگر آستانه بی‌هوازی را مشخص کردند (۲). نتایج پژوهش آنان نشان داد تغییرات لاکتات خون موش صحرایی در طول آزمایشات دارای الگویی مشابه با انسان است (۲). از آن پس پژوهشگران اقدام به تشخیص MLSS به منظور تعیین شدت فعالیت ورزشی در مدل‌های حیوانی مختلف (۹، ۱۰) و در مدل‌های موش صحرایی سالمند، بی‌تحرك، دچار پر فشار خونی^۲ و چاق زاکر^۳ با استفاده از کارسنج‌های نوارگردان و شنا کرده‌اند (۶، ۱۱-۱۴). از سویی، به تازگی مزایای استفاده از شدت MLSS در تجویز تمرینات ورزشی در کاهش وزن موش‌های چاق زاکر (۱۲) و کاهش فشار خون موش‌های صحرایی دچار پر فشار خونی (۱۵) مشخص

1. Maximal Lactate Steady State

2. Spontaneously Hypertensive Rats

3. Zucker

گردیده است. بنابراین پروتکل MLSS ابزاری پرکاربرد در تجویز تمرینات ورزشی موش‌های صحرایی ویستار می‌باشد.

غلظت و شدت MLSS به کارسنج مورد استفاده و شرایط آزمون بسیار حساس‌اند (۷). حتی در یک ورزشکار در آزمون‌های مجزا با کارسنج‌های مختلف دارای مقادیر مختلف هستند (۱۶). لذا به نظر می‌رسد این شاخص در ورزش‌ها و آزمودنی‌های مختلف دارای مقادیر متفاوتی است. در موش‌های صحرایی نیز وابستگی MLSS نوع ورزش (۱۷) و همچنین شرایط آزمودنی به اثبات رسیده است (۱۲ و ۱۳). از این رو، به نظر می‌رسد در کارسنج و مدل‌های موش صحرایی جدید تعیین MLSS به منظور تشخیص عملکرد هوازی ضروری باشد.

چرخ گردان یکی از کارسنج‌های مورد استفاده در موش‌های صحرایی می‌باشد که بدلیل الگوی ورزشی متفاوت، در دهه‌های اخیر مورد توجه خاصی قرار گرفته است. تاکنون مزایای بسیاری از دویدن بر روی چرخ گردان گزارش شده است. جبران کاهش ادراک ناشی از افزایش سن و نقص حرکتی در مدل‌های بیماری پارکینسون (۱۸)، آلزایمر (۱۹)، هانتینگتون (۲۰) و افزایش تراکم میتوکندریایی (۲۱) از جمله مزایای قابل توجه فعالیت بر روی این کارسنج می‌باشد. حتی با توجه به علاقه موش‌های صحرایی به انجام فعالیت با الگوی حرکتی پیچیده، می‌توان به سادگی دریافت که تمایل آنان به فعالیت ورزشی با چرخ گردان با توجه به ایجاد شرایط آکروباتیک بیش از فعالیت در نوار گردان است (۲۲). مرسوم‌ترین چرخ گردان مورد استفاده در پژوهش‌ها، چرخ گردان داوطلبانه (VW)^۱ است. در VW، حیوان فعالیت خود را به طور داوطلبانه با شدتی نزدیک به حداکثر توان به صورت تناوبی انجام می‌دهد (۲۳). به همین دلیل کنترل دقیق شدت فعالیت از دسترس پژوهشگر خارج بوده و معیار اصلی فعالیت ورزشی در این کارسنج مسافت پیموده است (۲۴). با توجه به عدم وابستگی برخی از سازگاری‌های ناشی از ورزش به مسافت طی شده (۲۳، ۲۵، ۲۶) و وجود تفاوت ذاتی بین شدت‌های مختلف فعالیت ورزشی (۲۷)، اخیراً پژوهشگران در راستای کنترل شدت فعالیت ورزشی در چرخ گردان، از نوع اجباری (FW)^۲ استفاده نموده‌اند. چرخ گردان اجباری با دارا بودن موتور برقی به پژوهشگر قابلیت انتخاب شدت‌های مختلف فعالیت ورزشی بر روی چرخ گردان را می‌دهد. با اینکه به ظاهر این دو نوع از کارسنج چرخ گردان دارای الگوی حرکتی حرکتی یکسان می‌باشند، تاکنون تفاوت‌هایی بین این دو در برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی مشاهده شده است (۲۳، ۲۵، ۲۸).

با توجه به مزیت‌های استفاده از چرخ گردان اجباری و وجود اختلاف در سازگاری‌های ناشی از فعالیت ورزشی بین دو نوع کارسنج چرخ گردان از یک سو و مشاهده فقدان شواهد مبنی بر میزان شدت‌های ورزش در چرخ گردان اجباری، به نظر می‌رسد بررسی تغییرات غلظت لاکتات خون حین ورزش با FW کمک بسزایی در تشخیص میزان تلاش حیوان حین دویدن در شدت‌های ورزشی مختلف در این نوع کارسنج داشته باشد. از این رو پژوهش حاضر به دنبال بررسی روند تغییرات غلظت لاکتات خون در شدت‌های مختلف فعالیت ورزشی طی آزمون‌های شدت یکنواخت به تشخیص شدت و غلظت MLSS در چرخ گردان اجباری پرداخته است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع تحقیقات تجربی و از نوع کاربردی است که در سال ۱۳۹۳ در دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت. ۲۱ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار (۸ هفته‌ای) با میانگین وزنی 20 ± 20 گرم از انستیتوپاستور ایران

1 . Voluntary Wheel

2 . Forced Wheel

خریداری و در شرایط دمایی 22 ± 4 درجه سلسیوس و تحت چرخه ۱۲:۱۲ ساعت تاریکی-روشنایی نگهداری و آب و غذای مخصوص موش صحرایی تغذیه شدند تا به وزن 20 ± 240 گرم رسیدند.

انتخاب گروه‌های پژوهشی

حیوانات پس از آشناسازی با محیط آزمایشگاهی و چرخ گردان اجباری بطور تصادفی بر اساس نوع و شدت آزمون در پنج گروه ذیل قرار گرفتند:

- **گروه آزمون توان فزاینده (INCP)^۱**: با توجه همبستگی بالا بین شدت MLSS و شدت معادل ۶۰ درصد اوج سرعت بدست آمده از آزمون INCP (۵، ۱۰)، ۶ سر موش صحرایی به منظور دستیابی به اوج سرعت در این گروه قرار گرفتند.
- **گروه آزمون توان ثابت ۶۰ درصد (CP1)**: موش‌های صحرایی در این گروه (۵ سر)، به منظور دستیابی به MLSS در یک آزمون توان ثابت (CP)^۲ ۲۵ دقیقه‌ای با شدتی معادل ۶۰ درصد اوج سرعت بدست آمده از گروه INCP شرکت داده شدند.
- **گروه آزمون توان ثابت ۶۵ درصد (CP2)**: موش‌های صحرایی در این گروه (۵ سر)، به منظور دستیابی به MLSS در یک آزمون توان ثابت ۲۵ دقیقه‌ای با شدتی معادل ۶۵ درصد اوج سرعت بدست آمده از گروه INCP شرکت داده شدند.
- **گروه آزمون توان ثابت ۷۰ درصد (CP3)**: موش‌های صحرایی در این گروه (۵ سر)، به منظور دستیابی به MLSS در یک آزمون توان ثابت ۲۵ دقیقه‌ای با شدتی معادل ۷۰ درصد اوج سرعت بدست آمده از گروه INCP شرکت داده شدند.

انتخاب موش‌های دونده و آشناسازی با FW

روند انتخاب موش‌های دونده به صورت ۱۰ روز متوالی دویدن با سرعت ۱۰ متر بر دقیقه به مدت ۵ دقیقه انجام شد. حیواناتی که ۹ روز را با موفقیت به فعالیت ورزشی پرداختند به عنوان موش‌های دونده انتخاب شدند (۱۴). سپس موش‌های دونده مرحله آشناسازی را به منظور کاهش استرس ناشی از کارسنج بدون بهبود متغیرهای فیزیولوژیک وابسته به تمرین جسمانی انجام دادند. روند آشناسازی ۵ روز در هفته به مدت ۳ هفته با مدت و شدت فزاینده در چرخ گردان اجباری انجام شد (۶).

روش جمع آوری اطلاعات

آزمون INCP

آزمون با سرعت ۲/۵ متر بر دقیقه شروع و هر ۳ دقیقه سرعت به میزان ۲/۵ متر بر دقیقه (۲/۵-۲۵ متر بر دقیقه) افزایش یافت. آزمودنی‌ها فعالیت ورزشی را تا واماندگی ادامه دادند. سرعتی که موش‌ها با تکرار گرفتن میله‌های چرخ گردان، الگوی حرکتی خود تغییر داده (۵ مرتبه در ۳ دقیقه) و دویدن را متوقف کردند به عنوان سرعت وامانده‌ساز در این آزمون در نظر گرفته شد (۲۸، ۲۹).

آزمون CP

1 . Incremental Power Test (Incp)

2 . Constant Power Test

پس از آشناسازی موش‌های صحرایی با FW و دستیابی به اوج سرعت طی آزمون INCP، موش‌ها در آزمون-های CP ۲۵ دقیقه‌ای با شدت‌های مختلف شرکت داده شدند. حیوانات گروه‌های انجام دهنده این آزمون، ۱۰ دقیقه دویدن با سرعت ۲/۵ متر بر دقیقه پیش از شروع آزمون به عنوان گرم کردن انجام دادند. گروه CP1 اولین آزمون را با شدتی معادل ۶۰ درصد اوج توان بدست آمده از آزمون INCP انجام داد (۱۴/۵ متر بر دقیقه). از آنجا که طی این آزمون یک شرایط پایدار در تغییرات غلظت لاکتات خون در دقایق ۱۰ الی ۲۵ مشاهده شد، گروه بعدی آزمون CP را با شدت بالاتر (افزایش ۲/۵ متر بر دقیقه) انجام داد. گروه CP2 نیز شرایطی همانند گروه قبلی را نشان داده لذا گروه بعدی (CP3) آزمون CP را با شدت بالاتر (۱۷/۵ متر بر دقیقه) انجام داد. با توجه به عدم مشاهده شرایط پایدار مذکور توسط گروه CP3، گروه آزمودنی بعدی در نظر گرفته نشد.

بالاترین شدت از آزمون‌های CP که با عدم افزایش مداوم لاکتات (تغییرات کمتر از ۱ میلی‌مول بر لیتر بین دقایق ۱۰ الی ۲۵) همراه بود شدت MLSS در نظر گرفته شد (۱۰). غلظت MLSS نیز میانگین غلظت لاکتات اندازه‌گیری شده در دقایق ۲۰، ۱۵، ۱۰ و ۲۵ گروه شدت MLSS تعیین گردید.

برداشت نمونه خونی و اندازه‌گیری غلظت لاکتات خون

نمونه خونی (تقریباً ۱ قطره) از انتهای دم در شروع، هر ۵ دقیقه و انتهای آزمون‌های CP برداشته شد. برای بدست آوردن نمونه‌های خونی از روش خراش‌دهی نوک دم موش استفاده شد (۳۰). برای اندازه‌گیری غلظت لاکتات از روش فتومتریک (۳۱) و از دستگاه لاکتات آنالایزر اسکات^۱ (ساخت شرکت SensLab GmbH کشور آلمان) استفاده شد.

روش‌های آماری

تمام یافته‌ها بر اساس میانگین \pm انحراف استاندارد گزارش شده است. آزمون کولموگروف اسمیرنوف نیز برای تعیین نحوه توزیع داده‌ها استفاده شد و با توجه به اینکه نتایج این آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها را نشان داد؛ لذا از آزمون‌های پارامتریک استفاده شد. از روش تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر به همراه آزمون تعقیبی توکی به منظور بررسی تاثیر شدت‌های مختلف ورزش در نقاط مختلف زمانی آزمون‌های CP بر روی غلظت لاکتات موش‌های صحرایی و همچنین وجود تفاوت معنادار بین میانگین غلظت لاکتات گروه‌های مختلف در نقاط زمانی آزمون‌های CP استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS-19 و سطح معنی‌دار $P \leq 0/05$ در نظر گرفته شد.

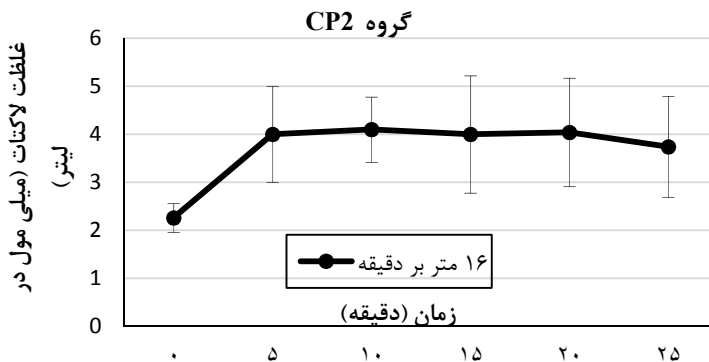
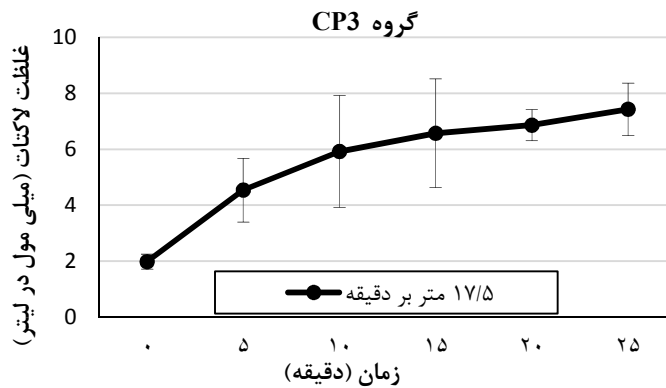
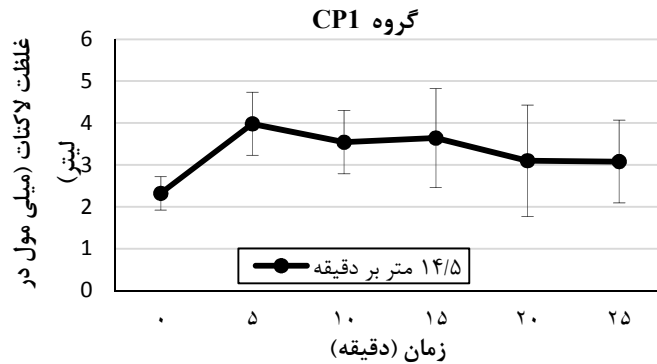
یافته‌ها

با آزمون توان فزاینده، اوج توان ۲۵ متر بر دقیقه بدست آمد (جدول ۱). لذا سرعت ۱۴/۵ به عنوان اولین آزمون CP چرخ گردان اجباری انتخاب شد. با مشاهده ثبات غلظت لاکتات خون از دقیقه ۱۰ الی ۲۵ با مقدار میانگین $3/34 \pm 1/01$ میلی‌مول بر لیتر، سرعت ۱۶ متر بر دقیقه برای آزمون CP بعدی انتخاب گردید. در این سرعت نیز شرایط ثبات با مقدار میانگین $3/85 \pm 0/91$ مشاهده شد. سپس با انتخاب آزمون بعدی در سرعت ۱۷/۵ متر بر دقیقه، یک افزایش فزاینده در غلظت لاکتات خون مشاهده گردید. همچنین در این سرعت، برخی از حیوانات به دلیل خستگی، آزمون ۲۵ دقیقه‌ای را به انتها نرساندند. بنابراین، سرعت MLSS در چرخ گردان اجباری، ۱۶ متر

بر دقیقه و غلظت آن نیز $3/85 \pm 0/91$ میلی‌مول بر دقیقه تعیین گردید (شکل ۱). علاوه‌براین، حداکثر لاکتات حالت پایدار در این مطالعه تقریباً در ۶۵ درصد اوج سرعت از آزمون توان فزاینده بدست آمد.

جدول ۱. نتایج حاصل از آزمون توان فزاینده

گروه	حداکثر سرعت (متر بر دقیقه)	حداقل سرعت (متر بر دقیقه)	میانگین (متر بر دقیقه)
INCP	۲۷/۵	۲۲/۵	۲۵



شکل ۱. غلظت لاکتات خون (میانگین \pm انحراف استاندارد) موش‌های صحرایی نژاد ویستار طی دویدن در چرخ گردان اجباری در سرعت‌های ۱۴/۵ متر بر دقیقه (CP1)، ۱۶ متر بر دقیقه (CP2) و ۱۷/۵ متر بر دقیقه (CP3) به منظور تشخیص حداکثر لاکتات حالت پایدار. هر نقطه نشان‌دهنده غلظت لاکتات خون پس از ۵ دقیقه دویدن در شدت‌های ثابت و از پیش تعیین شده می‌باشد.

جدول ۲ نشان‌دهنده نتایج حاصل از انجام آزمون‌های مطابق با حداکثر لاکتات حالت پایدار (MLSS) حین ورزش در چرخ گردان اجباری است. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر نشان دهنده اثر معنادار شدت بر غلظت لاکتات خون طی نقاط زمانی مختلف در آزمون‌های CP است (بدون در نظر گرفتن غلظت لاکتات خون استراحتی) ($P \leq 0/05$). همچنین نتایج حاصل از آزمون تعقیبی توکی نشان داد غلظت لاکتات خون در شدت ۱۷/۵ متر بر دقیقه (گروه CP3) بطور معنادار بالاتر از بقیه شدت‌ها است ($P \leq 0/05$) (جدول ۲). علاوه بر این، اختلاف معناداری بین شدت‌های ۱۴/۵ (گروه CP1) و ۱۶ متر بر دقیقه (گروه CP2) در هیچ کدام از نقاط زمانی آزمون CP مشاهده نشد ($P \leq 0/05$).

جدول ۲. غلظت لاکتات خون پس از دویدن موش‌های صحرایی در چرخ گردان اجباری مطابق با پروتکل

MLSS (میانگین \pm انحراف استاندارد).

غلظت لاکتات خون (میلی مول بر لیتر)

شدت (متر بر دقیقه)	زمان (دقیقه)					
	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
گروه ۱۴/۵	$\pm 0/4$	$\pm 0/75$	$\pm 0/75$	$\pm 1/18$	$\pm 1/33$	$\pm 0/99$
CP1	۲/۳۲	۳/۹۸	*۳/۵۴	*۳/۶۴	*۳/۱	*۳/۰۸
گروه ۱۶	$\pm 0/3$	4 ± 1	$\pm 0/68$	$\pm 1/22$	$\pm 1/13$	$\pm 1/05$
CP2	۲/۶۲	۴/۱	*۴	*۴/۰۴	*۳/۷۴	
گروه ۱۷/۵	$\pm 0/26$	$\pm 1/14$	$\pm 2/08$	$\pm 1/94$	$\pm 0/55$	$\pm 0/94$
CP3	۱/۹۸	۴/۵۴	۵/۹	۶/۵۷	۶/۸۶	۷/۴۳

*تفاوت معنادار با گروه CP3 ($P \leq 0/05$).

بحث

یافته اصلی این پژوهش تشخیص MLSS در موش‌های صحرایی ویستار حین دویدن در چرخ گردان اجباری بوده است. تشخیص شدت تمرین برای تجویز فعالیت ورزشی مناسب بسیار حائز اهمیت است (۱). پروتکل حداکثر لاکتات حالت پایدار ابزاری ویژه‌ای است که به پژوهشگران اجازه تشخیص شدت تمرینات ورزشی را می‌دهد. علاوه بر این، در کنار استاندارد طلایی بودن برای ارزیابی ظرفیت هوازی، همبستگی بالایی با حداکثر توان هوازی دارد (۳). در این پژوهش، به منظور تشخیص MLSS، ما با استفاده از پروتکل مشابه کانترتز و همکاران (۲۰۰۸)، MLSS را در سرعت ۱۶ متربردقیقه در چرخ گردان اجباری یافتیم (۶) (شکل ۱). سرعت MLSS بدست آمده در این پژوهش در غلظت ($3/85 \pm 0/91$ میلی مول بر لیتر) رخ داده است که این مقدار تقریباً مشابه غلظت یافت شده در نتایج پژوهش مانچادو و همکاران (۲۰۰۵) در حیوانات مشابه در تردمیل (مقدار $3/9 \pm 0/3$ میلی مول

برلیتر در سرعت ۲۰ متر بر دقیقه) می‌باشد (۱۴) که با توجه به حساسیت تولید لاکتات به عضلات بکارگرفته شده حین ورزش و الگوی حرکتی دلیل اختلاف در شدت MLSS را می‌توان به وابستگی آن به کارسنج مورد استفاده در آزمون دانست (۱۷). چراکه شواهد عینی نشان می‌دهد در تردمیل حیوان یک مسیر صاف و خطی را رو به جلو می‌دود در حالیکه در چرخ گردان اجباری حیوان برای دیدن در مسیر دایره‌وار مجبور به گفتن میله‌ها می‌باشد. بنابراین، می‌توان گفت پیچیدگی چرخ گردان اجباری باعث تلاش بیشتر حیوان به منظور حفظ سرعت دویدن خواهد شد.

دیگر یافته پژوهش حاضر این بود که MLSS در سرعتی معادل ۶۵ درصد حداکثر سرعت بدست آمده از آزمون INCP رخ می‌دهد. به نظر می‌رسد تشخیص آستانه لاکتات طی آزمون INCP با MLSS در موش‌های صحرائی تفاوت آنچنانی ندارد (۱۱). لذا با توجه به استفاده آسان و صرف زمان کمتر آزمون INCP نسبت به MLSS، می‌توان برای تشخیص آستانه لاکتات در چرخ گردان اجباری از هر دو آزمون استفاده کرد. با این حال، برای تعیین شدت MLSS به منظور ارزیابی ظرفیت هوازی توصیه می‌شود به جای پیشبینی از طریق آزمون INCP، آزمون‌های CP مجزا انجام شود (۳). به طور مثال، آلمیدا و همکاران (۲۰۱۲) MLSS را با استفاده از پروتکل مشابه پژوهش حاضر در موش‌های صحرائی دچار پر فشار خونی، در شدتی معادل ۷۵ درصد اوج توان بدست آمده طی آزمون INCP یافتند (۱۲). محققین با توجه به بالاتر بودن ظرفیت هوازی این مدل موش صحرائی نسبت به نژاد ویستار، لازمه انجام آزمون‌های جداگانه MLSS را در این مدل موش صحرائی ضروری دانستند (۱۲). در پژوهش حاضر نیز گرچه عدم ارزیابی تغییرات غلظت لاکتات طی آزمون INCP از جمله محدودیت‌ها بوده ولیکن می‌توان بیان داشت که از شدت معادل ۶۵ درصد آزمون INCP به عنوان شدت پیشگویی کننده MLSS، تنها در مدل موش‌های صحرائی سالم در چرخ گردان اجباری می‌توان استفاده کرد. بنابراین توصیه می‌گردد در پژوهش‌های آینده علاوه بر تشخیص آستانه لاکتات بصری از طریق پروتکل INCP، MLSS نیز در در مدل‌های مختلف موش صحرائی از قبیل بیماری‌های متابولیکی، پیری و غیره در چرخ گردان اجباری مورد بررسی قرار گیرد.

بکارگیری استانداردهای ضروری در روش‌شناسی مطالعات ورزشی همواره پژوهشگران این حیطه را بدنال طراحی و استفاده از پروتکل‌های ورزشی مناسب کشانده است (۱). ما نیز در همین راستا در پژوهش حاضر به مطالعه مستقیم میزان تلاش موش‌های صحرائی حین ورزش با چرخ گردان اجباری پرداختیم تا نگرانی پژوهشگران در این موضوع را برطرف سازیم. عدم اطلاعات کافی پیرامون میزان تلاش موش‌های صحرائی طی ورزش در چرخ گردان اجباری در مطالعات پیشین، پژوهشگران را به استفاده از شدت‌های کم تا متوسط و یا استفاده از ورزش اینتروال با شدت بالا در این کارسنج مجبور ساخته است (۲۳،۳۲،۳۳). در واقع شواهد نشان می‌دهند موش‌های صحرائی به دویدن متداوم در سرعت‌های ≤ 20 متر بر دقیقه بی‌تمایل هستند (۲۳) و این درحالیست که این سرعت معادل آستانه بی‌هوازی موش‌های صحرائی دوندۀ در کارسنج تردمیل گزارش شده است (۱۴). از سوی دیگر، اخیراً برخی پژوهشگران برای غلبه بر این مشکل، با ایجاد تغییرات در سطح چرخ این کارسنج امکان دویدن در سرعت ≤ 20 متر بر دقیقه را به مدت ۱ ساعت برای موش‌های صحرائی فراهم کرده‌اند (۳۵،۳۴). ولی بایستی در نظر داشت که تغییر در الگوی حرکتی ورزش می‌تواند بر روی میزان دریافت سختی کار و همچنین شدت ورزش تاثیر گذار باشد (۱۷). از سوی دیگر، شواهد ما عدم توانایی ادامه ورزش برخی از موش-

های صحرایی در شدت بالاتر از شدت MLSS را نشان می‌دهد (سرعت ۱۷/۵ متر بر دقیقه) (شکل ۱). بنابراین می‌توانیم با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر بگوییم دویدن در سرعت ≤ 20 متر بر دقیقه بسیار بالاتر از ناحیه انتقال هوازی-بی‌هوازی موش‌های صحرایی ویستار تمرین نکرده بوده و دلیل گزارش بی‌تمایلی حیوان به دویدن در چنین سرعت‌هایی در پژوهش‌های پیشین نه بدلیل ناکارایی کارسنج بلکه بدلیل مکانیسم‌های خستگی ناشی از ورزش با شدت بالا می‌توان فرض کرد. با در نظر داشتن چنین فرضیه‌ای، به نظر می‌رسد بررسی سایر نشانگرهای استرس طی ورزش در شدت‌های مختلف بر اساس ناحیه انتقال هوازی-بی‌هوازی در چرخ گردان اجباری به تشخیص میزان تلاش موش‌های صحرایی در راستای ارتقاء روش‌شناسی مطالعات این حیطة کمک بسزایی نماید.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد موش‌های صحرایی ویستار با فعالیت در سرعت ۱۶ متر بر دقیقه در چرخ گردان اجباری به MLSS می‌رسند. یافته‌های این پژوهش، اطلاعات معتبری به منظور تعیین شدت در طراحی تمرینات ورزشی مناسب موش صحرایی در چرخ گردان اجباری در اختیار پژوهشگران قرار داده است.

References:

1. Booth FW, Laye MJ, Spangenburg EE. Gold standards for scientists who are conducting animal-based exercise studies. *Journal of Applied Physiology*. 2010;108(1):219-21.
2. Voltarelli F, Gobatto C, de Mello M. Determination of anaerobic threshold in rats using the lactate minimum test. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2002;35(11):1389-94.
3. Beneke R, Leithäuser RM, Ochentel O. Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2011;6(1):8-24.
4. Manchado FdB, Gobatto CA, Voltarelli FA, Rostom de Mello MA. Non-exhaustive test for aerobic capacity determination in swimming rats. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2006;31(6):731-6.
5. Gobatto CA, De Mello MAR, Sibuya CY, De Azevedo JRM, Dos Santos LA, Kokubun E. Maximal lactate steady state in rats submitted to swimming exercise. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2001;130(1):21-7.
6. Contarteze RVL, Manchado FDB, Gobatto CA, De Mello MAR. Stress biomarkers in rats submitted to swimming and treadmill running exercises. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2008;151(3):415-22.
7. Beneke R, Leithäuser R, Hütler M. Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British Journal of Sports Medicine*. 2001;35(3):192-6.
8. Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International journal of sports medicine*. 19۳۰-۱۱۷:(۶)۸۵

9. Lindner A. Maximal lactate steady state during exercise in blood of horses. *Journal of animal science*. 2010;88(6):2038-44.
10. Ferreira JC, Rolim NP, Bartholomeu JB, Gobatto CA, Kokubun E, Brum PC. Maximal lactate steady state in running mice: effect of exercise training. *Clinical and experimental pharmacology and physiology*. 2007;34(8):760-5.
11. Cunha RR, de Carvalho Cunha VN, Segundo PR, Moreira SR, Kokubun E, Campbell CSG, et al. Determination of the lactate threshold and maximal blood lactate steady state intensity in aged rats. *Cell biochemistry and function*. 2009;27(6):351-7.
12. Almeida JA, Petriz BA, da Costa Gomes CP, Pereira RW, Franco OL. Assessment of maximal lactate steady state during treadmill exercise in SHR. *BMC research notes*. 2012;5(1):661.
13. Almeida J, Petriz B, Gomes C, Rocha L, Pereira R, Franco O. Determination of the maximal lactate steady state in obese Zucker rats. *Int J Sports Med*. 2013;34(3):214-7.
14. Machado F, Gobatto R, Contarteze M, Papoti M, Mello. Maximal Lactate Steady State in running rats. *The American Society of Exercise Physiologists (ASEP)*. 2005;8.(۴)
15. Petriz BA, Almeida JA, Gomes CP, Ernesto C, Pereira RW, Franco OL. Exercise performed around MLSS decreases systolic blood pressure and increases aerobic fitness in hypertensive rats. *BMC physiology*. 2015;15(1):1.
16. Beneke R, von DUVILLARD SP. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1996;28(2):241-6.
17. Machado FdB, Gobatto CA, Contarteze RVL, Papoti M, Mello MARd. The maximal lactate steady state is ergometer-dependent in experimental model using rats. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2006;12(5):259-62.
18. Van Praag H, Kempermann G, Gage FH. Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Nature neuroscience*. 1999;2(3):266-70.
19. Adlard PA, Perreau VM, Cotman CW. The exercise-induced expression of BDNF within the hippocampus varies across life-span. *Neurobiology of aging*. 2005;26(4):511-20.
20. Pang T, Stam N, Nithianantharajah J, Howard M, Hannan A. Differential effects of voluntary physical exercise on behavioral and brain-derived neurotrophic factor expression deficits in Huntington's disease transgenic mice. *Neuroscience*. 2006;141(2):569-84.
21. Gollnick PD, King DW. Effect of exercise and training on mitochondria of rat skeletal muscle. *American Journal of Physiology--Legacy Content*. 1969;216(6):1502-9.
22. Kavanau JL. Behavior of captive white-footed mice. *Science*. 1967;155(3770):1623-39.
23. Leisure J, Jones M. Forced and voluntary exercise differentially affect brain and behavior. *Neuroscience*. 2008;156(3):456-65.

24. Legerlotz K, Elliott B, Guillemin B, Smith HK. Voluntary resistance running wheel activity pattern and skeletal muscle growth in rats. *Experimental physiology*. 2008;93(6):754-62.
25. Greenwood BN, Spence KG, Crevling DM, Clark PJ, Craig WC, Fleshner M. Exercise-induced stress resistance is independent of exercise controllability and the medial prefrontal cortex. *European Journal of Neuroscience*. 2013;37(3):469-78.
26. Ploughman M, Granter-Button S, Chernenko G, Tucker B, Mearow K, Corbett D. Endurance exercise regimens induce differential effects on brain-derived neurotrophic factor, synapsin-I and insulin-like growth factor I after focal ischemia. *Neuroscience*. 2005;136(4):991-1001.
27. Winter B, Breitenstein C, Mooren FC, Voelker K, Fobker M, Lechtermann A, et al. High impact running improves learning. *Neurobiology of learning and memory*. 2007;87(4):597-609.
28. Forristall J, Hookey B, Grant V. Conditioned taste avoidance induced by forced and voluntary wheel running in rats. *Behavioural processes*. 2007;74(3):326-33.
29. Caton SJ, Bielohuby M, Bai Y, Spangler LJ, Burget L, Pfluger P, et al. Low-carbohydrate high-fat diets in combination with daily exercise in rats: effects on body weight regulation, body composition and exercise capacity. *Physiology & behavior*. 2012;106(2):185-92.
30. Christensen SD, Mikkelsen L, Fels J, Bodvarsdottir T, Hansen A. Quality of plasma sampled by different methods for multiple blood sampling in mice. *Laboratory animals*. 2009;43(1):65-71.
31. Tanner RK, Fuller KL, Ross ML. Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *European journal of applied physiology*. 2010;109(3):551-9.
32. Kennard JA, Woodruff-Pak DS. A comparison of low- and high-impact forced exercise: Effects of training paradigm on learning and memory. *Physiology & Behavior*. 2012;106(4):423-7.
33. Caton SJ, Bielohuby M, Bai Y, Spangler LJ, Burget L, Pfluger P, et al. Low-carbohydrate high-fat diets in combination with daily exercise in rats: Effects on body weight regulation, body composition and exercise capacity. *Physiology & Behavior*. 2012;106(2):185-92.
34. Chen, C.C., Chang, M.W., Chang, C.P., Chan, S.C., Chang, W.Y., Yang, C.L., & Lin, M.T.. (2014). A forced running wheel system with a microcontroller that provides high-intensity exercise training in an animal ischemic stroke model. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 47(10), 858-868. Epub August 15, 2014.
35. Chen CC, Chang MW, Chang CP, Chang WY, Chang SC, et al. (2015) Improved Infrared-Sensing Running Wheel Systems with an Effective Exercise Activity Indicator. *PLoS ONE* 10(4): e0122394.