

## امکان سنجی پایش تمرین مقاومتی موش روی نردبان با زوایای متغیر به کمک ثبت لحظه‌ای حرکات

آرزو فرزانه<sup>۱</sup>، محمدرضا اسد<sup>۲</sup>، سید محمد مرندي<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه پیام‌نور کرج\*

۲. دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه پیام‌نور کرج

۳. استاد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه اصفهان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲

### چکیده

هدف از این پژوهش تجربی، پایش تمرین مقاومتی به کمک ثبت لحظه‌ای حرکات موش مایس بود. جامعه آماری پژوهش را موش‌های نر C57BL/6 ۱۰ هفته‌ای با وزن تقریبی ۱۸ تا ۲۵ گرم تشکیل دادند که به صورت تصادفی انتخاب شدند. نمونه‌ها در دو گروه A (بدون محرک نوری؛ ۱۲ موش) و B (دارای محرک نوری؛ ۱۵ موش) به کمک نردبان زاویه متغیر با حرکت در شیب در سه زاویه ۳۰، ۶۰، و ۸۵ درجه تمرین کردند. دستگاه مورد استفاده از چهار کانال مجزا با نردبان زاویه متغیر در کف تشکیل شده بود که دیواره‌های هر کانال دارای سنسورهای حرکت‌سنج بود و حرکت هر موش در تمرین به شکل جداگانه و به کمک سخت‌افزار و نرم‌افزار خاصی که مدل ریاضی حرکت هر موش را به‌طور جداگانه استخراج کرده و نمودار آن را ترسیم می‌کرد، ثبت می‌شد. مقایسه نمودار نتایج نشان می‌دهد که در پروتکل تمرینی فرضی، اعضای یک گروه در شرایط کاملاً مشابه نیز شبیه یکدیگر تمرین نکرده و مدل حرکت آن‌ها با توجه به نمودار سرعت، مدت و شدت، اختلاف قابل توجهی با یکدیگر دارد که این اختلاف حتی در تمرین روزهای مختلف یک موش در مقایسه با خودش نیز مشاهده می‌شود؛ از این رو، نمی‌توان فعالیت ورزشی گروهی از موش‌ها در یک تمرین مقاومتی را حتی در شرایط یکسان، مشابه فرض کرد و دقیق‌ترین راه تفکیک و گروه‌بندی موش‌های تمرین‌کرده، پایش لحظه‌ای تمرین در زمان انجام می‌باشد که با استفاده از این روش، تأثیر تمرین انجام‌شده برای هر موش به صورت مستقل از دیگران ثبت و تحلیل می‌شود.

**واژگان کلیدی:** تمرین مقاومتی، ثبت لحظه‌ای حرکات، موش مدل مایس، نردبان زاویه متغیر

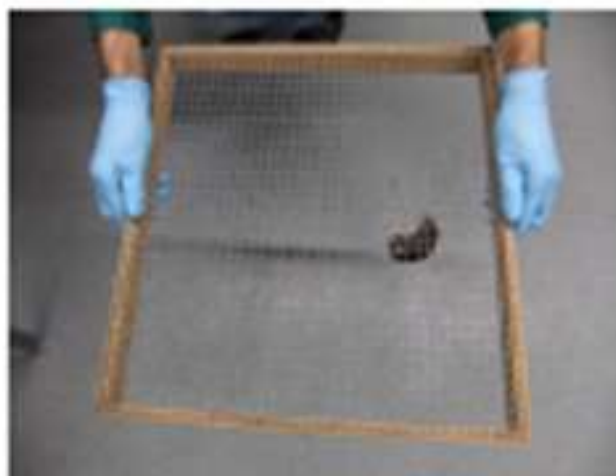
## مقدمه

در بسیاری از مطالعات ورزشی، انجام آزمایش روی نمونه‌های انسانی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ زیرا، این مطالعات یا حاوی پروتکل‌های سخت و وقت‌گیر هستند و یا مطالعه در سطح سلولی و یا حتی مولکولی بوده که نیاز به بیوپسی<sup>۱</sup> دارد و در جامعه انسانی انجام چنین آزمایشاتی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ به‌همین دلیل، استفاده از نمونه‌های حیوانی برای انجام چنین آزمایشاتی باعث گسترش اطلاعات و یافته‌های پژوهشگران در مورد تأثیرات ورزش در فرایندهای سلولی - ملکولی شده و انجام آزمایشات و مطالعات بین‌رشته‌ای را فراهم می‌سازد (۱).

در جوامع متنوع آزمودنی‌های مورد استفاده در طرح‌های پژوهشی، بیشترین گروه را موش‌ها در دو دسته صحرایی<sup>۲</sup> و مایس<sup>۳</sup> تشکیل داده‌اند. از آنجایی که خانواده موش‌های صحرایی سازگارپذیری بیشتری با انواع تمرینات ورزشی دارند، کار با آن‌ها ساده‌تر بوده و اغلب وسایل تمرینی طراحی و ساخته شده برای مطالعات ورزشی، متناسب با این گروه از خانواده موش‌ها ساخته شده است؛ اما براساس بسیاری از دلایل فنی نظیر پایداری نژادی، باروری آسان و تولیدمثل قوی گونه مایس درمقایسه با تعداد بسیاری از نژادهای دیگر (نظیر رت)، از دهه ۸۰ میلادی و با ظهور تکنیک‌های نو ترکیبی<sup>۴</sup> دی ان ا، استفاده از این گونه موش در پژوهش‌های خاص ژنتیکی بر سایر گونه‌ها ارجحیت یافته است (مانند تولید موش‌های ترانس ژن در مطالعات ژنتیکی). اندازه کوچک این نژاد اجازه می‌دهد که یک کلونی از آن‌ها در فضای کوچکی جا داده شود که این موضوع به جهت تسهیل در نگهداری آزمودنی‌ها حائز اهمیت می‌باشد (۲)؛ از این رو، در برخی از پروژه‌های مطالعاتی مجبور به استفاده از نژاد مایس هستیم که متأسفانه تعداد وسایل ورزشی ساخته شده برای این گروه از موش‌ها بسیار کمتر از گروه اول بوده و در بیشتر مقالاتی که از این موش‌ها استفاده شده است، شاهد این هستیم که پژوهشگر شرایط فیزیکی وسایل کمک ورزشی مورد استفاده در پژوهش خود را به صورت ابتکاری و با بهره‌گیری از وسایل کمک ورزشی ساخته شده برای گروه موش صحرایی ایجاد کرده است که این موضوع علاوه بر سختی‌هایی که در مراحل اجرایی برای وی داشته است، در برخی موارد به صورت ناخواسته منجر به بروز انحرافات در نتایج اصلی شده است (نمونه‌هایی از این اقدامات در پیشینه مطالعات انجام شده در ادامه بیان شده است).

- 
1. Biopsy
  2. Rat
  3. Mice
  4. DNA, Deoxyribonucleic Acid

در این ارتباط، کانزیلا<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۶۴) در پژوهشی به بررسی اثر تمرین مقاومتی و استقامتی بر التهاب ایجادشده از رژیم پرچرب روی موش‌های C57BL/6 پرداختند. پروتکل تمرین مقاومتی مورد استفاده در این پژوهش، انقباضات ایزومتریک بود (۳). وسیله تمرین نیز شامل یک صفحه توری با سیم‌های فلزی بود که دورتادور این صفحه توری با چوب احاطه شده بود. جهت انجام پژوهش، ابتدا موش را به صورت افقی روی این صفحه می گذاشتند و سپس، صفحه را به صورت عمودی طوری نگه می‌داشتند که جهت سر موش به سمت بالا باشد. لازم به ذکر است که تمرین در قالب سه ست سه دقیقه‌ای و به مدت پنج بار در هفته انجام شد (شکل شماره یک).



شکل ۱- انقباضات ایزومتریک به وسیله صفحه توری با سیم‌های فلزی

سادیکا<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۱) نیز در پژوهش خود به بررسی این موضوع پرداختند که آیا تمرین مقاومتی می‌تواند کاهش توده ماهیچه‌ای القاشده توسط سرطان را خنثی کند؟ نمونه موردی در این پژوهش موش مایس بود. همچنین، پروتکل تمرین مقاومتی شامل: هشت جلسه ۱۰ ستی با هشت تکرار تحریک الکتریکی در هر ست بود. عضلات مورد آزمایش عبارت بودند از: عضله سولئوس<sup>۴</sup> و عضله کف پا و دوقلو که به وسیله تحریک الکتریکی تحت تأثیر انقباضات اکسنتریک<sup>۵</sup> و کانسنتریک<sup>۶</sup> قرار گرفتند (۴).

- 
1. Kondziella
  2. Isometric
  3. Sadeka
  4. Soleus
  5. Eccentric
  6. Concentric

علاوه بر این، لی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۲) به منظور پژوهش در مورد افزایش بیان فاکتور رشد شبه انسولینی<sup>۲</sup> و تمرین مقاومتی و تأثیر این دو بر توده و عملکرد ماهیچه، آزمایشی را روی موش‌های C57BL/6 انجام دادند. وسیله تمرین مقاومتی موش‌ها در این پژوهش، نردبان بالارونده بود. لازم به ذکر است که طول این نردبان ۴۰ سانتی‌متر، فاصله پله‌ها از یکدیگر یک سانتی‌متر و شیب آن‌ها ۸۵ درجه بود. تمرین به وسیله وزنه‌هایی که به دم حیوان بسته می‌شد، انجام گرفت. وزنه‌ای که در ابتدا به دم حیوان متصل شد، ۵۰ درصد از وزن بدن او بود و به تدریج در طول هشت هفته تمرین افزایش یافت (شکل شماره دو) (۵).



شکل ۲- نردبان بالارونده برای تمرین موش C57BL/6

گرین<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۲) نیز در پژوهشی به بررسی پاسخ‌های مورفولوژی شانه به فعالیت حرکتی و تفاوت‌های جنبش‌شناسی دویدن و بالارفتن پرداختند. آزمودنی این پژوهش موش مایس وحشی بود و پژوهشگر برای انجام پژوهش وسیله خاصی به نام "قفس‌های بالارفتن" را برای تمرین مقاومتی بالارفتن آزمودنی‌ها طراحی کرده بود؛ درحقیقت، قفس‌های بالارفتن عبارت بود از: وسیله‌ای به طول یک متر شبیه یک برج با تورهای سیمی که به صورت استوانه‌ای در روی قفس قرار داده شده بود و بطریقی آب بر روی سطوح صافی در ارتفاعات مختلف این وسیله قرار می‌گرفت (متناسب با افزایش شدت تمرین، ارتفاع قرارگیری آب افزایش می‌یافت). در ورودی این وسیله از داخل قفس در دسترس بود و موش‌ها برای نوشیدن آب مجبور بودند از ارتفاع تنظیم‌شده بالا بروند (۶).

- 
1. Lee
  2. IGF-1
  3. Green

شایان‌ذکر است که به‌منظور قابل‌رصد بودن حرکت موش‌ها به‌آن‌ها سنسور زیرپوستی تزریق شده بود. در پایان، میانگین مسافت پیموده‌شده برای هر موش همانند نمونه زیر محاسبه گردید؛ به‌عنوان‌مثال، در یک الگوی ۱۰ دقیقه‌ای کل مسافت پیموده‌شده به‌وسیله تمامی موش‌ها با یکدیگر جمع‌گشته و سپس، دوبرابر شده (برای شمارش مسافت‌های بالا و پایین‌رفتن) و بر تعداد کل موش‌ها در قفس تقسیم گردید که حاصل آن بین هشت و نه متفاوت بود؛ بدین ترتیب، میانگین مسافت بالارفته برای هر موش در ۱۰ دقیقه به‌دست‌آمد (شکل شماره ۳ه).



شکل ۳- قفس‌های بالارفتن برای تمرین مقاومتی موش

در این راستا، کروگر<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳) پژوهشی را به‌منظور بررسی سازگاری‌های ماهیچه‌ای و عملکردی در تمرینات قدرتی انجام دادند. در این پژوهش از نمونه موردی موش مایس استفاده شد و دستگاه تمرینی وسیله‌ای بود به ابعاد ۸×۵ سانتی‌متر متشکل از توری فلزی با قطر سیم‌های یک میلی‌متر. ابتدا، موش به‌روی شکم و به‌صورت افقی روی این وسیله قرار می‌گرفت و سپس، ظرف مدت دو ثانیه در شرایطی که موش به‌روی شکم بر روی صفحه قرار داشت و سر آن به‌سمت بالا بود، صفحه به حالت عمودی درمی‌آمد و زمان اندازه‌گیری می‌شد؛ تاجایی که دو پای پشتی موش از سیم‌ها جدا می‌شد که این زمان برابر با زمان ماکزیمم نگهداری یا تحمل موش می‌باشد (۷) (شکل شماره چهار).



شکل ۴- توری مشبک برای تمرین مقاومتی موش

ملاک، مدت زمان تحمل موش تا موقع جدا شدن پاهای عقبی از صفحه در حالت عمودی می باشد.

همان گونه که عنوان شد، استفاده از وسایل کمکی برای انجام تمرینات ورزشی مختلف استقامتی و مقاومتی در حیوانات آزمایشگاهی به دلایل متعدد پژوهشی مرسوم می باشد (نظیر تردمیل های ورزشی حیوانی)؛ اما یکی از مشکلاتی که پژوهشگران علوم بین رشته ای با آن مواجه هستند، عدم وجود این وسایل به صورت پیش ساخته در انجام برخی از مطالعات، به دلیل نوبادون انجام مطالعات بین رشته ای نسبت به سایر مطالعات متمرکز در رشته های تخصصی می باشد. در پژوهش حاضر نیز پژوهشگر ناگزیر به تهیه وسیله ای برای انجام تمرین مورد نظر آزمودنی ها بود که این امر منجر به ثبت اختراعی با نام "نردبان زاویه متغیر تمرین مقاومتی" گردید. هدف از این اختراع، تهیه وسیله ای بود که بتوان با استفاده از آن تمرینات ورزشی مقاومتی را برای موش های با جثه کوچک مایس (که گونه ای پرتنوع و بسیار پر کاربرد در مطالعات آزمایشگاهی به شمار می رود) انجام داد و در عین حال، بتوان روند دوره تمرین انجام شده را به صورت لحظه ای ثبت نمود؛ زیرا، در این صورت قادر خواهیم بود فعالیت ورزشی هر موش را به صورت جداگانه اندازه گیری، پایش و تحلیل کنیم.

جثه ریز، تحرک بسیار زیاد، آزمایش گریزی، عدم تمرکز، عدم قاعده پذیری، سازگاری دیر هنگام، تأثیر پذیری نامناسب از محرک های محیطی (نظیر ترس) که منجر به انحراف نتایج می شوند و غیره، بخشی از مشکلاتی است که یک پژوهشگر در صورت نیاز به استفاده از این خانواده از موش ها برای انجام تمرینات ورزشی مقاومتی در خلال پژوهش خود با آن ها مواجه خواهد بود.

براساس آنچه گفته شد، بررسی‌ها حاکی از آن است که اساساً نگاه پژوهشگران در رصدکردن میزان، نوع، نحوه، شدت و مدت تمرینات ورزشی که در حین مطالعات کاربردی انجام می‌شود، نگاهی عمومی بوده و این نگاه هرچه جوامع آزمودنی بزرگ‌تر شوند، بیشتر به‌چشم می‌آید. منظور از عمومی‌بودن این نگاه آن است که پژوهشگران به‌طور عمده با تمرین‌دادن گروه آزمودنی در شرایط خاص، نتیجه‌ی تمرینات انجام‌شده برای تمامی آزمودنی‌ها به‌صورت عمومی را یکسان در نظر گرفته و تفاوت‌های سطوح متفاوت تمرینات برای هر یک از آزمودنی‌ها را در نتایج نهایی لحاظ نمی‌کنند؛ به‌عبارت‌دیگر، هنگامی که یک گروه آزمودنی تحت پروتکل خاصی در مدت و شرایط معین تمرین می‌کند، تفاوت سطوح تمرین انجام‌شده برای هر یک از آزمودنی‌ها را به‌صورت جداگانه در نظر نگرفته و فرض بر آن گذاشته می‌شود که تمامی آزمودنی‌ها پروتکل<sup>۲</sup> تمرینی دیکته‌شده را به‌صورت یکسان انجام می‌دهند. اگرچه، این موضوع خدشه‌ای را به اصل تمرین انجام‌شده وارد نمی‌کند؛ اما حقیقت آن است که در پژوهش‌هایی که در آن‌ها نیاز به تعیین دقیق سطح فعالیت ورزشی برای هر یک از آزمودنی‌ها به‌صورت جداگانه وجود دارد، استفاده از این روش بر صحت و دقت نتایج مؤثر بوده و قابل‌استفاده نمی‌باشد. در این راستا، این مقاله می‌کوشد با تحلیل نتایج حاصل از انجام تمرینات مقاومتی تعدادی از موش‌های مایس روی سطح شیب‌داری که برای همین منظور ویژه‌سازی شده است و نیز استخراج منطق و مدل ریاضی حرکت آن‌ها در زوایای مختلف با نگاهی نو، این منطق ریاضی را به‌صورتی کاربردی برای استفاده علمی در فیزیولوژی ورزشی تبدیل نماید.

## روش پژوهش

جامعه آماری مورد مطالعه در این پژوهش، موش‌های نر نژاد C57BL6 پژوهشکده رویان تهران بودند. این نژاد از خانواده مایس بوده که سیکل زندگی کوتاهی داشته و در مطالعات ژنتیکی از آن‌ها بسیار استفاده می‌شود. زمان طلایی برای انجام طرح‌های پژوهشی روی این موش‌ها در سن شش تا هشت هفتهگی است (۸). از جامعه آماری اشاره‌شده، تعداد ۴۸ عدد موش به‌صورت تصادفی انتخاب گشته و به پژوهشکده رویان اصفهان انتقال یافتند و در بخش لانه حیوانات نگهداری شدند. موش‌ها پس از انتقال به لانه جدید با رعایت سیکل تاریکی - روشنایی (۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت روشنایی) در دمای بین ۱۹ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبتی بین ۲۵ تا ۴۰ درصد نگهداری شدند. پس از ۴۸ ساعت از انتقال آزمودنی‌ها به محل انجام طرح، تفکیک موش‌ها در قفس‌های انفرادی انجام گرفت و به‌دلیل ماهیت پروژه که قرار بود در آن تمرینات ورزشی هر آزمودنی به‌صورت مستقل و منفرد تحت بررسی قرار گیرد، لازم بود هر آزمودنی با کد مشخصه جداگانه‌ای علامت‌گذاری شود. با توجه به مردن ۱۰ عدد از ۴۸ موش انتخاب‌شده و زخمی شدن پنج نمونه دیگر، تعداد موش‌های باقی‌مانده به

۳۳ عدد کاهش یافت. به‌طور کلی، این طرح پژوهشی بر روی دو گروه انجام گرفت؛ گروه اول که تمرینات را در حضور محرک انجام می‌داد (گروه اجباری) و گروه دوم که تمرینات را بدون حضور محرک و به‌صورت اختیاری اجرا می‌نمود. فلسفه دو گروه نمودن آزمودنی‌ها، بررسی نتایج آزمون در دو شرایط اختیاری و اجباری بود؛ به‌صورتی که در پایان پژوهش بتوان استنباط کرد که پروتکل‌های تمرینی مورد استفاده در این وسیله در پژوهش‌های مشابه بعدی آیا بهتر است به‌صورت اجباری (با حضور محرک) طراحی شود و یا اختیاری (بدون حضور محرک)؟

علاوه‌براین، محرک مورد استفاده در این پژوهش، محرک نوری بود. به‌منظور بررسی تأثیرگذاری محرک نوری نیاز به وسیله‌ای بود که بتوان به‌کمک آن پرتوهای نوری با رنگ‌های مختلف را تولید نمود. از آنجایی که لازم بود الگوهای مختلفی از روشن و خاموش شدن انواع چراغ‌های رنگی در فواصل زمانی مختلف به‌وسیله این دستگاه تحت کنترل باشد، ناچار به ساخت این وسیله شدیم. این دستگاه با دو ردیف چراغ (دیود نورانی) به رنگ‌های قرمز، آبی، زرد و سبز ساخته شده و برای هر چراغ، کلیدی تعبیه شده است. همچنین، این امکان وجود دارد که هر چراغ در ردیف فوقانی با رنگ مشخص و روشنایی ثابت به‌وسیله کلید مربوطه به‌تنهایی روشن شود و یا این‌که همان چراغ در ردیف تحتانی با رنگ مشخص؛ اما با روشنایی متغیر به‌صورت چشمک‌زن به‌تنهایی روشن گردد. علاوه‌براین، این امکان وجود دارد که بتوان ترکیبی از رنگ‌ها را به‌شکل هم‌زمان با یکدیگر روشن و خاموش کرد. در ادامه، حالات مختلف منفرد و ترکیبی از روشن و خاموش شدن چراغ‌های رنگی برای این طرح بررسی گشت و در نهایت، ترکیب چهار رنگ قرمز، زرد، سبز و آبی به‌صورت ثابت - روشن (و نه چشمک‌زن) انتخاب گردید (شکل شماره پنج).



شکل ۵- نصب محرک نوری در طرفین کانال هر نردبان



گروه تمرین بدون محرک (گروه A): این گروه شامل ۱۲ آزمودنی (از خانواده شرح‌داده شده) بود که به سه گروه چهارتایی تقسیم شدند و تمرینات ورزشی را به صورت اختیاری در زوایای مختلف ۳۰، ۶۰ و ۸۵ درجه انجام دادند. شایان ذکر است که نور محیطی برای این گروه، نور عادی روز اتاق تمرین بود و محرکی با عنوان محرک نوری وجود نداشت.

گروه تمرین با محرک (گروه B): این گروه شامل ۱۵ آزمودنی (از خانواده شرح‌داده شده) بود که به سه گروه چهارتایی و یک گروه سه‌تایی تقسیم شدند (این گروه در شروع دارای ۱۶ موش بود که به دلیل مرگ یکی از آن‌ها در اولین روز تمرین، تمرینات با ۱۵ موش ادامه یافت). لازم به ذکر است که برای این گروه، نور محیطی با ایجاد پوشش روی نردبان‌ها حذف گردید تا آزمودنی‌ها تمرینات خود را در تاریکی و تحت تأثیر محرک نوری انجام دهند.

سطح شیب‌دار: در بین ابزار و تجهیزات مورد نیاز برای انجام این نوع تمرین مقاومتی، مهم‌ترین آن‌ها سطح شیب‌دار است. از آنجایی که می‌بایست شدت تمرین ورزشی را تحت کنترل گرفت، این سطح شیب‌دار باید دارای امکان تغییر زاویه باشد؛ بدین منظور، از نردبانی با زاویه قابل تغییر استفاده شد که پژوهشگر قبلاً آن را طراحی نموده و دستگاه به شماره ۸۸۵۷۱ ثبت اختراع دارد. وسیله اختراع شده نردبانی است با زاویه متغیر (زاویه سطح شیب‌دار از صفر تا قائم به سهولت قابل تغییر می‌باشد) که به صورت خاص برای انجام تمرینات ورزشی (از نوع ورزش‌های مقاومتی) برای تغییر توانایی‌های فیزیولوژیکی یک گروه پرتنوع از موش‌های آزمایشگاهی با جثه کوچک (مایس) و حتی نمونه‌های بزرگ‌تر نظیر موش صحرائی قابل استفاده می‌باشد. براساس مطالعات پژوهشگر، این اختراع (در نوع خود) نه تنها در کشور، بلکه در دنیا منحصر به فرد می‌باشد. مزایای این دستگاه شامل موارد زیر است:

۱. قابلیت تغییر شدت تمرین با تغییر زاویه سطح شیب‌دار از صفر تا حدود ۹۰ درجه: زاویه کانال‌های دستگاه به صورت دستی و با چرخاندن اهرم تغییر زاویه که در پشت دستگاه نصب شده است، انجام می‌شود. به منظور دستیابی به زاویه مورد نظر، یک نقاله ثقلی روی بدنه جانبی (بیرونی) یکی از کانال‌ها نصب شده است که با تغییر زاویه، عدد دقیق آن را به اپراتور نشان می‌دهد. با این قابلیت، امکان افزایش تدریجی شدت تمرین در طول مدت پژوهش فراهم شده و این روش به عنوان جایگزین استفاده از وزنه‌های متصل شونده به بدن موش در نظر گرفته شده است.

۲. کانالیزه کردن مسیر حرکت موش با توجه به کوچکی جثه وی: خانواده مایس به دلیل کوچکی جثه و چالاک‌ی ذاتی، در تمریناتی از این دست همکاری خوبی نخواهند داشت و انحراف دائمی موش‌ها از مسیر اصلی تمرین و گریزان بودن آن‌ها یکی از مشکلات اصلی پژوهشگران می‌باشد. با اختراع این وسیله، از آنجایی که موش در مسیری قرار می‌گیرد که از چهار وجه جانبی کاملاً بسته است و تنها مسیرهای حرکتی وی به سمت جلو یا عقب می‌باشد، مسیر حرکت موش در طول تمرین کانالیزه شده

و علاوه بر آن که امکان فرار و گریز از تمرین و ایجاد خطا در نتایج آماری از وی سلب می‌شود، به دلیل ایزوله کردن فضای تمرین، امکان حواس‌پرتی آزمودنی (ناشی از اتفاقات محیط پیرامون) نیز به حداقل رسیده و طول مدت تمرین به شکل چشم‌گیری کاهش می‌یابد. به منظور شفاف‌تر شدن موضوع باید اضافه کرد که مسیر حرکت موش، یک مکعب - مستطیل به طول یک متر و عرض و ارتفاع کمتر از ۱۰ سانتی‌متر است که عرض و ارتفاع آن متناسب با جثه موش بوده و پس از قرار گرفتن آزمودنی در مسیر حرکت و بسته شدن طرفین این مکعب - مستطیل، ارتباط موش با فضای بیرون کانال به شکل کامل قطع می‌شود.

۳. ایجاد نردبان متناسب با جثه موش: یکی از مشکلات این خانواده (مایس) در انجام تمرینات ورزشی با دستگاه‌های متعارف، گیر کردن دست‌وپای کوچک آن‌ها در داخل خلل و فرج کف و بدنه دستگاه‌ها می‌باشد که با مناسب‌سازی مسیر صعود موش به واسطه استفاده از یک نردبان پیش‌ساخته در این دستگاه، این مشکل برطرف شده است.

۴. پیش‌بینی محرک‌های قابل‌اعمال برای تحریک موش به استفاده از این وسیله و ایجاد شرایط استمرار تمرینی

۵. امکان رصد کردن تمرین انجام‌شده به دلیل وجود سنسورهای تشخیص حرکت و صعودی یا نزولی بودن تمرین

توضیحات کلی در مورد دستگاه: این دستگاه از چهار کانال تشکیل شده است که هر کانال شامل یک نردبان زاویه متغیر می‌باشد (البته تعداد کانال‌ها می‌تواند کمتر یا بیشتر باشد که نیاز هر پروژه این تعداد را تعریف می‌کند) که هر کانال مخصوص یک موش کدگذاری می‌شود و از روز اول تمرین تا روز آخر، هر موش در کانال تعریف‌شده برای خود تمرین می‌کند. حدود پنج روز قبل از شروع پروتکل تمرینی اصلی، موش باید دوره سازگاری با وسیله را بگذراند. در دو روز اول، هر روز صرفاً تا ۱۵ دقیقه حیوان در دستگاه با شیب صفر قرار گرفته و سپس، در زوایای تند از ۳۰ تا ۶۰ درجه، بالا و پایین رفتن از نردبان را تجربه می‌کند. لازم به ذکر است که در این پنج روز نباید از هیچ محرک خارجی برای هدفمند کردن حرکت موش روی نردبان استفاده شود؛ اما از روز ششم که تمرینات پروتکل تمرینی اصلی آغاز می‌گردد، موش‌ها در قالب گروه‌های چهارتایی تمرین را آغاز می‌کنند؛ بدین صورت که ابتدا زاویه دستگاه روی صفر تنظیم شده و هر موش کدگذاری شده در کانال مخصوص خود قرار گرفته و حدود پنج دقیقه با زاویه صفر در داخل کانال، شرایط انطباق قبل از تمرین را سپری نموده و سپس، دستگاه در زاویه مورد نظر قرار می‌گیرد (به طور مثال ۳۰ درجه) (شکل شماره شش) و مدت مشخصی برای تمرین براساس پروتکل در نظر گرفته می‌شود. از این زمان، نرم‌افزار نصب‌شده بر روی کامپیوتری که به وسیله ماژول‌های خاص انتقال دیتا به سنسورهای موجود در مسیر کانال‌ها متصل است، شروع

به کار می‌کند و با حرکت هر موش در مسیر کانال و عبور از مقابل سنسورهایی که در فواصل مشخصی از هم در دیواره کانال‌ها قرار گرفته‌اند، تاریخ و زمان دقیق عبور موش از مقابل هر سنسور به صورت جداگانه در نرم‌افزار ویژه‌ای ثبت می‌شود. لازم به ذکر است که تعداد سنسورها بستگی به طول جثه موش و طول نردبان دارد و بدیهی است که هرچه تعداد آن‌ها بیشتر باشد، تفکیک دقیق‌تر و بهتری از حرکت موش استخراج خواهد شد. در این پژوهش با توجه به این‌که پژوهشگر از اختراع اولیه ثبت‌شده خود استفاده کرده است، سنسورهای به کاررفته در طول مسیر هر نردبان، سه عدد (در فواصل تقریبی پنجاه سانتی‌متری از یکدیگر) بود. نکته مهمی که از ثبت حرکت موش در این کانال به دست آمد، این است که با توجه به وجود امکان تشخیص و تفکیک حرکت موش به سمت بالا یا پایین، به سهولت امکان جداکردن میزان فعالیت ورزشی اکسنتریک (پایین آمدن موش از سطح شیب‌دار) (۹) از کانسنتریک (بالارفتن موش از سطح شیب‌دار) (۱۰) وجود دارد. شایان ذکر است که تنها تفاوت بین تمرین دو گروه (با محرک و بدون محرک)، استفاده از چهار چراغ رنگی به رنگ‌های آبی، سبز، زرد و قرمز در دو انتهای مسیر هر کانال در تمرین گروه با محرک نسبت به گروه بی‌محرک می‌باشد.

تمرینات به مدت ۲۱ روز (از تاریخ ۹۴/۱۱/۸ لغایت ۹۴/۱۱/۳۰) انجام شد؛ هفت روز در زاویه ۳۰ درجه، هفت روز در زاویه ۶۰ درجه (شکل شماره هفت) و هفت روز در زاویه ۸۵ درجه (شکل شماره هشت). ذکر این نکته ضرورت دارد که تمرینات هر روز از ساعت هشت صبح شروع می‌شد و تا ساعت ۱۲:۳۰ ادامه می‌یافت. برنامه‌ریزی ساعات تمرین نیز به صورتی بود که برای حفظ تغییرات سیکل شبانه‌روزی، هر آزمودنی در طول ۲۱ روز تمرین در ساعت مشخصی از روز تمرین می‌نمود. در اولین روز تمرین، طول بدن و طول دم آزمودنی‌ها به وسیله خط‌کش و وزن آن‌ها به وسیله ترازوی آزمایشگاهی (استارتریوس<sup>۱</sup> مدل GE4101) با دقت یک‌دهم اندازه‌گیری گردید؛ البته، فاکتور وزن هر سه روز یک‌بار اندازه‌گیری شد و شدت تمرین با پیشرفت پروژه افزایش یافت تا زمانی که سنسورهای ثبت حرکت، افزایش تعداد رفت‌وآمدهای موش در روی نردبان را ثبت نکند (دفعات بالا و پایین رفتن دیگر اضافه نشود و یا فعالیت کند گردد).

با توجه به این‌که از یک نرم‌افزار برای ثبت پالس‌های دریافتی از سنسورهای حرکتی استفاده شد، در پایان تمرینات، یک بانک اطلاعاتی بسیار غنی و کامل از فعالیت ورزشی هر یک از ۲۷ موش تمرین کرده به دست آمد و اطلاعات جمع‌آوری شده به سهولت آنالیز گردید و نمودارهای حرکتی و فعالیتی هر موش با چندین مدل الگوشده استخراج گشت.



شکل ۶- نردبان زاویه متغیر با زاویه ۳۰ درجه



شکل ۷- نردبان زاویه متغیر با زاویه ۶۰ درجه



شکل ۸- نردبان زاویه متغیر با زاویه ۸۵ درجه

## نتایج

همان‌گونه که بیان گردید، پس از پایان هفته سوم، یک بانک اطلاعاتی غنی از مدل حرکتی هر یک از موش‌های موردآزمون در زاویه‌های مختلف به‌دست آمد. در جدول شماره یک، میانگین و انحراف معیار وزن موش‌ها و مؤلفه‌های حرکت آن‌ها به تفکیک گروه‌های آزمایشی ارائه شده است. براین اساس، طول مسیر و تعداد مسیر بالا و پایین رفتن در گروهی که به صورت اختیاری تمرین مقاومتی را انجام می‌داد؛ بیش‌تر از گروهی است که تمرین مقاومتی را با محرک انجام داده است.

طی انجام پژوهش، ابتدا با استفاده از آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف<sup>۱</sup> وضعیت طبیعی بودن داده‌های پژوهش بررسی گردید و با توجه به این که سطح معناداری این آزمون برای مؤلفه‌های حرکت در هر گروه آزمایشی بیش‌تر از (0.05) بود، نتیجه‌گیری شد که این مؤلفه‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند و برای مقایسه مؤلفه‌های حرکت بین دو گروه آزمایشی (اختیاری) و (دارای محرک) می‌توان از آزمون پارامتریک تی مستقل<sup>۲</sup> استفاده نمود (جدول شماره دو). همچنین، از آنجایی که سطح معناداری این آزمون برای هر چهار مؤلفه حرکت کمتر از (0.05) بوده است؛ بنابراین، بین مؤلفه‌های حرکت در دو گروه (اختیاری) و (دارای محرک) تفاوت معناداری وجود دارد و با توجه به میانگین‌های جدول شماره یک، میانگین مؤلفه‌های حرکت در گروه اختیاری بیشتر از گروه دارای محرک می‌باشد.

1. Kolmogorov-Smirnov

2. Independent T Test

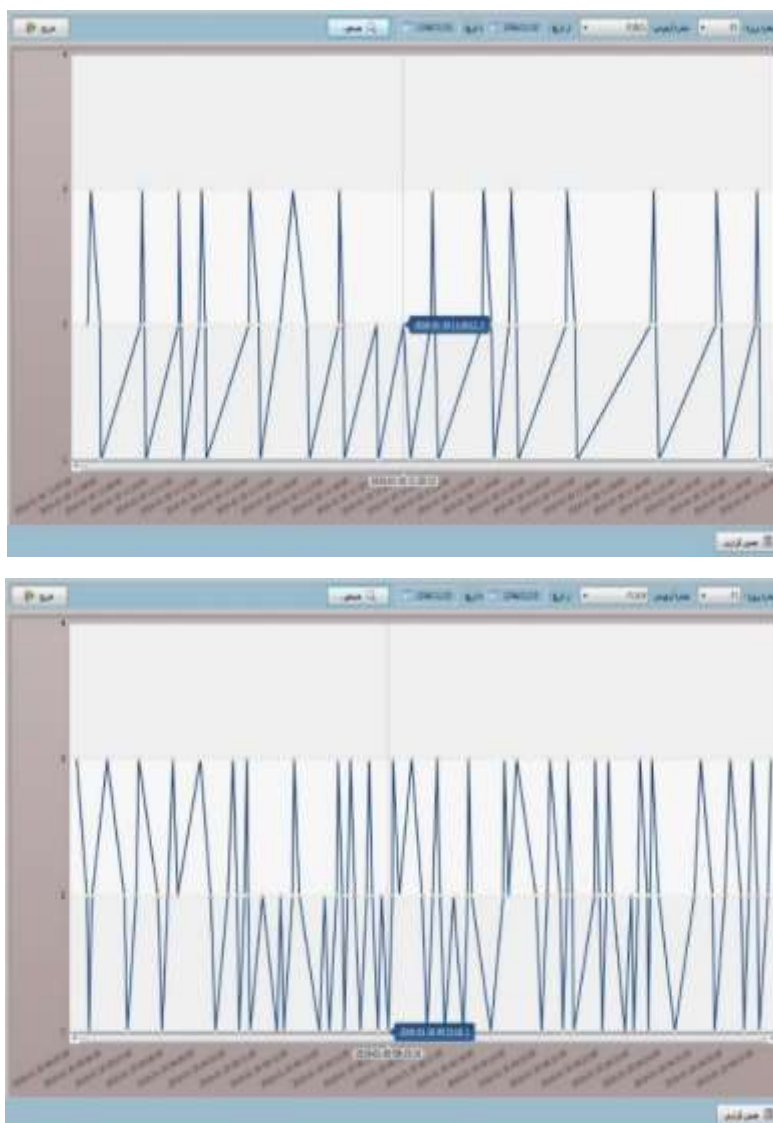
جدول ۱- شاخص‌های توصیفی مؤلفه‌های حرکت

گروه	وزن اولیه (گرم)	طول مسیر بالا (سانتی‌متر)	طول مسیر پایین (سانتی‌متر)	تعداد مسیر بالا	تعداد مسیر پایین
میانگین اختیاری	۲۶/۸۳	۱۷۸۱/۳۴	۱۸۱۷/۰۶	۱۷/۸۱	۱۸/۱۷
انحراف استاندارد	۱/۷۵	۷۸۲/۳۶	۷۸۱/۶۴	۷/۸۲	۷/۸۱
میانگین دارای محرک	۲۵/۶۴	۱۴۲۸/۰۹	۱۴۷۶/۸۲	۱۴/۲۸	۱۴/۷۶
انحراف استاندارد	۱/۸۰	۵۱۶/۱۸	۵۱۷/۶۶	۵/۱۶	۵/۱۷
میانگین کل	۲۶/۱۷	۱۵۸۵/۰۹	۱۶۲۸/۴۲	۱۵/۸۵	۱۶/۲۸
انحراف استاندارد	۱/۸۷	۶۷۰/۹۱	۶۶۹/۵۰	۶/۷۰	۶/۶۹

جدول ۲- آزمون تی مستقل جهت مقایسه میانگین مؤلفه‌های حرکت بین دو گروه تمرین مقاومتی اختیاری و دارای محرک

مؤلفه حرکت	آماره تی	درجه آزادی	سطح معناداری	اختلاف میانگین
طول مسیر بالا	۶/۴۴	۵۶۵	۰/۰۰	۳۵۳/۲۵
طول مسیر پایین	۶/۲۰	۵۶۵	۰/۰۰	۳۴۰/۲۳
تعداد مسیر بالا	۶/۴۴	۵۶۵	۰/۰۰	۳/۵۳
تعداد مسیر پایین	۶/۲۰	۵۶۵	۰/۰۰	۳/۴۰

از سوی دیگر، براساس نتایج به دست آمده از نرم افزار ویژه دستگاه، تفاوت‌های گاهاً معناداری در میزان تبعیت آزمودنی‌های مختلف از پروتکل تمرینی تعریف شده مشاهده می‌شود که این موضوع، ماهیت نگاه یکسان پژوهشگران به جامعه آزمودنی‌های مطالعات آن‌ها را مورد سؤال قرار می‌دهد. شکل زیر نمونه‌ای از منحنی حرکتی دو نمونه از موش‌های یک گروه (گروه A یا گروه بدون محرک) در یک زاویه مشابه را که براساس بانک اطلاعاتی گردآوری شده تهیه شده است، نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل شماره نه مشاهده می‌شود، الگوپذیری هریک از این دو موش در تمرین انجام شده، با وجود مشابهت کامل شرایط تمرین، تفاوت معناداری با یکدیگر دارد. شایان ذکر است که نتایج کامل تمرینات تمامی آزمودنی‌ها شامل: نمودارهای حرکتی و جداول اطلاعات ثبت شده آن‌ها در پایان نامه پژوهشگر با عنوان "استخراج مدل ریاضی پروتکل تمرین مقاومتی موش‌های آزمایشگاهی مدل مایس بر روی سطح شیب‌دار" قابل دسترسی می‌باشد.



شکل ۹- نمودار حرکتی دو آزمودنی از گروه A (محور افقی زمان و محور عمودی شماره سنسور)

به جهت شفاف‌تر شدن موضوع، نتایج تمرین ۲۱ روزه یکی از آزمودنی‌ها در هر سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۸۵ درجه در جدول شماره سه نشان داده شده است.

جدول ۳- نمونه نتایج یک آزمودنی که نشان دهنده عدم مشابهت تمرین در روزهای مختلف می باشد.

نسبت متوسط درصد واریانس	درصد واریانس	دقیقه	متوسط مسافت در	مسافت در دقیقه (متر)	عدد تمرین	مسافت طی شده	مسر	حرکت به پایین	مسر	حرکت به بالا	مسر	حرکت به بالا	مسر	مدت دقیق	تاریخ آزمون	زاویه بردبان (درجه)
-۸۳۲	۱/۶۵	۱/۵	۱۸/۵	۲۸	۱۴/۵	۱۳/۵	۰/۱۸۳۱	۹۴/۱۱۰۸	۳۰	۱۳/۵	۱۴/۵	۰/۱۸۳۱	۹۴/۱۱۰۸	۳۰	۹۴/۱۱۰۸	۳۰
-۲۱/۶۷	۱/۶۵	۱/۳	۳۲/۸	۳۹/۵	۱۵	۱۴/۵	۰/۳۳۵۰	۹۴/۱۱۰۹	۱۵	۱۴/۵	۰/۳۳۵۰	۹۴/۱۱۰۹	۱۵	۹۴/۱۱۰۹	۱۵	۹۴/۱۱۰۹
-۱/۵	۱/۶۵	۱/۶	۳۰/۵	۵۰	۲۵	۲۵	۰/۳۰۳۸	۹۴/۱۱۱۰	۲۵	۲۵	۰/۳۰۳۸	۹۴/۱۱۱۰	۲۵	۹۴/۱۱۱۰	۲۵	۹۴/۱۱۱۰
۶/۸۳	۱/۶۵	۱/۸	۳۱/۳	۵۵	۳۷/۵	۳۷/۵	۰/۳۱۱۱	۹۴/۱۱۱۱	۳۷/۵	۳۷/۵	۰/۳۱۱۱	۹۴/۱۱۱۱	۳۷/۵	۹۴/۱۱۱۱	۳۰	۹۴/۱۱۱۱
۲۶/۷	۱/۶۵	۳/۱	۲۹	۶۰/۵	۳۰/۵	۳۰/۵	۰/۲۸۵۷	۹۴/۱۱۱۲	۳۰/۵	۳۰/۵	۰/۲۸۵۷	۹۴/۱۱۱۲	۳۰/۵	۹۴/۱۱۱۲	۳۰	۹۴/۱۱۱۲
-۲۰/۵۷	۱/۶۵	۱/۳	۲۶	۳۴	۱۷	۱۷	۰/۲۵۵۷	۹۴/۱۱۱۳	۱۷	۱۷	۰/۲۵۵۷	۹۴/۱۱۱۳	۱۷	۹۴/۱۱۱۳	۱۷	۹۴/۱۱۱۳
۱۷/۴۴	۱/۶۵	۱/۹	۲۹/۳	۵۶/۵	۲۸/۵	۲۸/۵	۰/۲۹۱۰	۹۴/۱۱۱۴	۲۸/۵	۲۸/۵	۰/۲۹۱۰	۹۴/۱۱۱۴	۲۸/۵	۹۴/۱۱۱۴	۲۸/۵	۹۴/۱۱۱۴
-۴/۶۵	۱/۱۵	۱/۱	۳۷/۱	۳۹/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۰/۳۷۰۴	۹۴/۱۱۱۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۰/۳۷۰۴	۹۴/۱۱۱۵	۱۴/۵	۹۴/۱۱۱۵	۱۴/۵	۹۴/۱۱۱۵
۳۵/۸۵	۱/۱۵	۱/۴	۲۸/۱	۴۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۰/۲۸۰۴	۹۴/۱۱۱۶	۲۰/۵	۲۰/۵	۰/۲۸۰۴	۹۴/۱۱۱۶	۲۰/۵	۹۴/۱۱۱۶	۲۰/۵	۹۴/۱۱۱۶
-۱۵/۹۵	۱/۱۵	۱	۳۶/۴	۳۳/۵	۱۳	۱۱/۵	۰/۳۶۳۳	۹۴/۱۱۱۸	۱۳	۱۱/۵	۰/۳۶۳۳	۹۴/۱۱۱۸	۱۳	۹۴/۱۱۱۸	۱۳	۹۴/۱۱۱۸
۶/۳۱	۱/۱۵	۱/۳	۲۵/۱	۳۰/۵	۱۵	۱۵	۰/۲۵۰۵	۹۴/۱۱۱۹	۱۵	۱۵	۰/۲۵۰۵	۹۴/۱۱۱۹	۱۵	۹۴/۱۱۱۹	۱۵	۹۴/۱۱۱۹
-۸/۱۱	۱/۱۵	۱/۱	۲۵/۳	۲۶/۵	۱۳	۱۳	۰/۲۵۰۹	۹۴/۱۱۲۰	۱۳	۱۳	۰/۲۵۰۹	۹۴/۱۱۲۰	۱۳	۹۴/۱۱۲۰	۱۳	۹۴/۱۱۲۰
-۶/۴۴	۱/۱۵	۱/۱	۲۵/۶	۳۷/۵	۱۴	۱۴	۰/۲۵۳۸	۹۴/۱۱۲۱	۱۴	۱۴	۰/۲۵۳۸	۹۴/۱۱۲۱	۱۴	۹۴/۱۱۲۱	۱۴	۹۴/۱۱۲۱
۵/۲۹	۱/۱۵	۱/۳	۳۷/۳	۳۳	۱۶/۵	۱۶/۵	۰/۳۷۳۰	۹۴/۱۱۲۲	۱۶/۵	۱۶/۵	۰/۳۷۳۰	۹۴/۱۱۲۲	۱۶/۵	۹۴/۱۱۲۲	۱۶/۵	۹۴/۱۱۲۲
-۱/۵۸	۰/۷۹	۰/۸	۲۶/۴	۳۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۵	۰/۲۶۲۱	۹۴/۱۱۲۴	۱۰/۵	۱۰/۵	۰/۲۶۲۱	۹۴/۱۱۲۴	۱۰/۵	۹۴/۱۱۲۴	۱۰/۵	۹۴/۱۱۲۴
-۳/۵۲	۰/۷۹	۰/۵	۲۶/۲	۳۱/۵	۷/۵	۷/۵	۰/۲۶۲۴	۹۴/۱۱۲۵	۷/۵	۷/۵	۰/۲۶۲۴	۹۴/۱۱۲۵	۷/۵	۹۴/۱۱۲۵	۷/۵	۹۴/۱۱۲۵
۱/۱۱۷	۰/۷۹	۰/۹	۲۸/۵	۲۵	۱۳	۱۳	۰/۲۸۳۷	۹۴/۱۱۲۶	۱۳	۱۳	۰/۲۸۳۷	۹۴/۱۱۲۶	۱۳	۹۴/۱۱۲۶	۱۳	۹۴/۱۱۲۶
۱۵/۹۸	۰/۷۹	۰/۹	۲۵/۶	۳۳/۵	۱۳	۱۳	۰/۲۵۳۸	۹۴/۱۱۲۷	۱۳	۱۳	۰/۲۵۳۸	۹۴/۱۱۲۷	۱۳	۹۴/۱۱۲۷	۱۳	۹۴/۱۱۲۷
۲۱/۳۲	۰/۷۹	۱	۲۴	۳۳	۱۳	۱۳	۰/۲۳۵۹	۹۴/۱۱۲۸	۱۳	۱۳	۰/۲۳۵۹	۹۴/۱۱۲۸	۱۳	۹۴/۱۱۲۸	۱۳	۹۴/۱۱۲۸
-۳/۷۸	۰/۷۹	۰/۸	۲۸/۳	۳۱/۵	۱۱	۱۱	۰/۲۸۱۶	۹۴/۱۱۲۹	۱۱	۱۱	۰/۲۸۱۶	۹۴/۱۱۲۹	۱۱	۹۴/۱۱۲۹	۱۱	۹۴/۱۱۲۹
-۱۳/۵۹	۰/۷۹	۰/۷	۳۶/۱	۱۸	۹/۵	۹/۵	۰/۲۶۰۳	۹۴/۱۱۳۰	۹/۵	۹/۵	۰/۲۶۰۳	۹۴/۱۱۳۰	۹/۵	۹۴/۱۱۳۰	۹/۵	۹۴/۱۱۳۰



همان‌گونه که در جدول شماره سه مشاهده می‌شود، در ستون آخر درصد واریانس تمرین روزانه این آزمودنی در زوایای مختلف با متوسط تمرین آن در همان زاویه مقایسه شده است که در بسیاری از موارد، تمرین انجام‌شده نسبت به متوسط تمرینات همان آزمودنی درصد بالایی از اختلاف را نشان می‌دهد؛ به‌عنوان مثال، در روز نهم بهمن، آزمودنی ۲۱،۶۷ درصد کمتر از میانگین و در روز دوازدهم بهمن، ۲۶،۷ درصد بیشتر از متوسط خود تمرین کرده است که این مثال به‌وضوح با هدف پژوهش مطابقت داشته و ثابت می‌کند که نباید به تمرینات آزمودنی‌ها به‌صورت عمومی و یکسان نگاه شده و فعالیت انجام‌شده در جلسات تمرینی مختلف را مشابه در نظر گرفت.

روایی دستگاه: روایی یک دستگاه بدین‌معنا است که دستگاه چیزی را مورد سنجش قرار دهد که باید بسنجد. برای کنترل این ویژگی لازم است پارامترهای مؤثر بررسی شود. در ارتباط با تنها پارامتر استاتیکی؛ یعنی طول، با توجه به ثابت‌بودن محل سنسورها و طول نردبان که به یک متر محدود می‌شد، نیازی به کنترل روایی وجود نداشت؛ اما درخصوص پارامترهای دینامیکی، کنترل روایی به‌شرح زیر انجام گرفت:

۱. زمان: مدت‌زمان توسط نرم‌افزار کامپیوتری کنترل‌گر سخت‌افزار دستگاه برای هر آزمودنی به‌صورت جداگانه ثبت گردید. در اولین و آخرین روز تمرین در هر هفته، مدت‌زمان تمرین دو گروه به‌وسیله کرونومتر به‌شکل جداگانه اندازه‌گیری و ثبت گشت و زمان‌های برداشت‌شده برای این دو گروه با نتایج نرم‌افزار مقایسه گردید که خوشبختانه در هیچ مورد مغایرتی مشاهده نشد.

۲. زاویه: با توجه به نصب یک عدد زاویه‌سنج ثقلی در بازوی نردبان، زاویه تنظیمی دستگاه در هر هفته تمرینی دوبار (روزهای اول و وسط هفته) به‌وسیله نقاله اندازه‌گیری می‌شد که درمقایسه با زاویه‌سنج مکانیکی روی دستگاه مغایرتی مشاهده نگردید.

پایایی دستگاه: پایایی دستگاه عبارت است از داشتن نتایج یکسان در دفعات متعدد استفاده از دستگاه. دستگاه نردبان زاویه متغیر از چهار کانال کاملاً مجزا تشکیل شده است که هر کانال نتایج مربوط به آزمودنی خود را به‌صورت جداگانه ثبت می‌کند. به‌منظور کنترل پایایی دستگاه، دو نمونه آزمودنی مازاد بر نمونه آماری که قبلاً از آن‌ها در پایلوت انتخاب محرک استفاده شده بود، به‌کار رفت؛ بدین‌صورت که این دو موش در انتهای تمرین تمامی گروه‌ها در هر روز با پروتکل همان روز تمرین را در کانال‌های یک‌درمیان انجام می‌دادند و در روز بعد جای این دو آزمودنی در کانال‌ها جابه‌جا می‌شد؛ بدین‌شکل که در روزهای زوج هفته، موش اول در کانال دو و موش دوم در کانال چهار قرار داشت و در روزهای فرد، موش اول در کانال یک و موش دوم در کانال سه جای می‌گرفت. بررسی یافته‌ها نشان از نزدیکی معنادار نتایج هریک از این دو موش (فارغ از شماره کانالی که در آن قرار گرفتند) داشت که این امر پایایی دستگاه را تأیید می‌نمود؛ به‌عبارت‌دیگر، نتایج تمرین موش اول در هریک از

کانال‌های یک و دو که در آن‌ها قرار گرفته بود و نتایج تمرین موش دوم در هر یک از کانال‌های سه و چهار که در آن‌ها قرار گرفته بود، با یکدیگر مشابهت داشت.

### بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نمودارهای حرکتی به‌دست‌آمده از تمامی آزمودنی‌ها به‌طور جداگانه توسط نرم‌افزار ویژه دستگاه به این نتیجه رسیدیم که حرکت موش روی دستگاه اختراع‌شده، قابلیت مدل‌سازی دارد. همچنین، با توجه به نتایج آماری به‌دست‌آمده، طول مسیر پیموده‌شده توسط گروه بدون محرک (اختیاری) به‌طور معناداری بیشتر از گروه دارای محرک بود ( $P \leq 0.05$ ) که این امر نشان می‌دهد محرک نوری استفاده‌شده در این پژوهش، یا یک محرک مثبت برای آزمودنی‌ها بوده و یا حرکت آن‌ها را دچار اختلال کرده است. همان‌گونه که اشاره شد، نکته حائز اهمیت در استفاده از این روش آن است که به کمک ثبت لحظه‌ای حرکات هر آزمودنی موفق شدیم برای نخستین بار فعالیت ورزشی هر موش را تحت پروتکل از پیش تعریف‌شده به‌صورت مجزا رصد نماییم. در این راستا، نتایج نشان داد که برخلاف تصور بیشتر پژوهشگران، میزان فعالیت ورزشی هر یک از آزمودنی‌ها - چه در گروهی که به‌صورت اختیاری ورزش می‌کردند و چه در گروهی که تحت تأثیر محرک خارجی تمرینات را انجام می‌دادند - با سایرین متفاوت بوده و اگرچه امکان تعریف یک میانگین فعالیت ورزشی برای کل آزمودنی‌ها به‌صورت عمومی وجود دارد؛ اما نکته قابل توجه آن است که برخی از آزمودنی‌ها انحرافات قابل توجهی از میانگین ورزش به‌دست‌آمده در گروه خود داشتند که این موضوع اهمیت و الزام ثبت کامل و تفکیکی حرکات ورزشی در یک پروتکل تمرینی برای هر آزمودنی را اثبات نمود. این نتایج، متفاوت از یافته‌های دیگر پژوهشگران است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

کانزیلا (۱۹۸۶) در پژوهش خود از انقباضات ایزومتریک برای پروتکل تمرین مقاومتی استفاده نمود؛ در حالی که در پژوهش اخیر برای زاویه متغیر انقباضات پویا در هر دو نوع انقباضات اکسنتریک و کانسنتریک از نردبان استفاده شد و از طریق سنجش میزان این دو نوع انقباض توسط نمودارهای حرکتی هر آزمودنی تأثیر هر یک به‌صورت جداگانه بررسی گردید.

سادیکا (۲۰۰۱) نیز از تحریکات الکتریکی برای پروتکل مقاومتی استفاده نمود که این روش چندان دقیق نمی‌باشد؛ زیرا، ولتاژ استفاده‌شده برای ایجاد تمرین مقاومتی بسیار اهمیت دارد؛ زیرا، در برخی از مطالعات ممکن است به دلیل استفاده از ولتاژ بالاتر یا پایین‌تر از اپتیمم، سازگاری‌های موردنظر به‌دست نیاید و از سوی دیگر، ایجاد تحریک الکتریکی به‌صورت موضعی بر عضله تأثیر گذارد؛ بنابراین، از بررسی سازگاری‌های تمرین مقاومتی بر فیزیولوژی بدن و بررسی آن در سطح سلولی مولکولی و

بیان ژن ناتوان باشد؛ درحالی‌که در وسیله اختراع‌شده در پژوهش حاضر، تمرین مقاومتی به‌صورت پویا توسط آزمودنی انجام می‌شود و شدت آن با تغییر زاویه نردبان قابل کنترل می‌باشد. در پژوهشی دیگر، لی (۲۰۰۲) از نردبان و وزنه برای تمرین مقاومتی موش‌ها استفاده کرد و شدت تمرین را با افزایش وزن وزنه‌ها بالا برد؛ اما باید توجه داشت که دم موش مدل مایس که نژادی کوچک و ظریف می‌باشد، ممکن است در اثر اتصال وزنه و یا افزایش وزن آن آسیب ببیند. ازسوی دیگر، در پژوهش لی سرعت بالارفتن آزمودنی و زمان رسیدن به بالای نردبان قابل اندازه‌گیری نبود؛ درحالی‌که اساس ثبت روند فعالیت ورزشی در وسیله اختراع‌شده به‌دلایل زیر دقیق‌تر و اختصاصی‌تر می‌باشد:

۱. تغییر شدت فعالیت ورزشی با تغییر زاویه نردبان به‌سهولت امکان‌پذیر است.
۲. موش، هم در مسیر بالارفتن و هم در مسیر برگشت، تمرین تعریف‌شده ورزشی را انجام می‌دهد.
۳. کلیه پارامترهای دینامیکی نظیر زمان (علاوه بر پارامترهای استاتیکی نظیر وزن) با تجهیزات خاص، اندازه‌گیری و ثبت شده و سایر پارامترهای مؤثر نظیر تعداد رفت‌وبرگشت‌ها و یا سرعت جابه‌جایی بین نقاط و غیره نیز به کمک ترکیب سخت‌افزاری و نرم‌افزاری دستگاه قابل اندازه‌گیری بوده و ثبت می‌شود. علاوه‌براین، گرین (۲۰۱۲) در پژوهش خود از توری‌های فلزی به‌شکل استوانه برای بالارفتن موش استفاده کرد. این نوع تمرین به‌صورت اختیاری انجام شد و حرکت آزمودنی‌ها توسط نصب برچسب فلورسنت به گردن آن‌ها و نصب دوربین به توری‌ها قابل‌رؤیت بود. در این پژوهش کل مسافت پیموده‌شده توسط آزمودنی‌های هر قفس که دارای یک استوانه توری بودند، بر تعداد موش‌های آن قفس تقسیم شده و میانگین مسافت پیموده‌شده توسط هر آزمودنی به‌دست می‌آمد. شایان‌ذکر است که این پژوهش دارای خطاهای بسیاری بود. نخست این‌که موش‌ها کدگذاری نشدند و در هر قفس، هشت تا نه موش وجود داشت و لذا، به‌دست‌آوردن میانگین حرکت برای هر موش به‌روش انجام‌شده، گویای حرکت هر موش نمی‌باشد؛ زیرا، از این تعداد موش ممکن است یکی فعال‌تر بوده و دیگری فعالیت کمتری داشته باشد؛ ازاین‌رو، به‌دلیل ثبت‌نشدن حرکت هر موش نمی‌توان سطح فعالیت ورزشی هر آزمودنی را به‌صورت جداگانه به‌دست آورد که تمام این خطاها در پژوهش انجام‌شده توسط نردبان زاویه متغیر از بین رفته است؛ زیرا، موش‌ها کدگذاری شده و هرکدام در قفس جداگانه‌ای نگاه‌داری شدند که کاملاً قابل تشخیص بودند. علاوه‌براین، هر نردبان مختص یک موش بود و این اختصاصی‌بودن از اول تا آخر پژوهش رعایت گردید؛ زیرا در نرم‌افزار، هر کانال نردبان به‌صورت جداگانه برای هر موش تعریف شده بود و حرکت آزمودنی‌ها توسط سه سنسور موجود در هر کانال به‌صورت لحظه‌ای در نرم‌افزار ثبت می‌گردید؛ بنابراین، حرکت هر موش به‌صورت اختصاصی و دقیق قابل مشاهده بود. لازم‌به‌ذکر است که پژوهش حاضر از جهات زیر نوآوری داشته است:

۱. معرفی دستگاه نردبان زاویه متغیر برای نخستین بار

۲. ایجاد امکان انجام هم‌زمان دو نوع تمرین مقاومتی اکسنتریک و کانسنتریک در یک پروتکل تمرینی.

لازم به ذکر است که انجام مستقل هر یک از این دو نوع تمرین در حال حاضر و در نمونه دستگاه ساخته شده وجود ندارد؛ زیرا، موش در هر بار حرکت رفت و برگشت در مسیر کانال، به اجبار هر دو نوع تمرین (اکسنتریک و کانسنتریک) را انجام می‌دهد؛ اما با انجام تغییراتی در ساختار دستگاه، این امکان به وجود خواهد آمد؛ به عنوان مثال، می‌توان مسیر بالارفتن را با ایجاد محدودیت‌های فیزیکی خاصی یک طرفه کرد؛ به طوری که موش امکان برگشت مسیر را نداشته باشد و هنگامی که به بالای کانال رسید، با استفاده از یک سرسره به ابتدای کانال بازگردد که بدین ترتیب، تمرین انجام شده تنها کانسنتریک خواهد بود. همچنین، می‌توان مسیر را به سمت پایین یک طرفه نمود و در پایین کانال با استفاده از یک آسانسور مکانیکی، موش را به بالای کانال و ابتدای مسیر منتقل کرد که بدین ترتیب، تمرین انجام شده صرفاً اکسنتریک خواهد بود (طراحی و ساخت این دو قسمت بسیار ساده، کم‌هزینه و قابل انجام است).

۱. امکان رصد و پایش لحظه به لحظه حرکت و فعالیت ورزشی هر آزمودنی به صورت کاملاً مجزا و قابل بررسی برای نخستین بار.

۲. نرم افزار ویژه سازی شده برای دستگاه مورد نظر که به منظور پوشش اهداف و فرضیه های پژوهش ایجاد شده است.

۳. ارائه متدولوژی جدیدی برای به سازی پروتکل های تمرینی (به ویژه برای ورزش های حرفه ای) و دستگاه های کمک ورزشی آزمایشگاهی و انسانی  
پیشنهادات

۱. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که میزان فعالیت ورزشی هر یک از آزمودنی‌ها به خوبی تفکیک شده و با سایرین قابل مقایسه می‌باشد؛ لذا، استفاده از این روش برای مطالعات کاربردی ترکیبی نظیر بررسی تأثیر داروها و مواد شیمیایی بر تغییرات فیزیولوژی بدن تحت تأثیر تمرینات ورزشی و یا بررسی تأثیر تمرینات ورزشی در سطح سلولی - مولکولی و بیان ژن و بیماری‌هایی نظیر التهاب، سرطان، بیماری‌های قلبی و غیره نسبت به روش‌های قبلی که فعالیت ورزشی کل آزمودنی‌ها را به صورت یکسان در نظر می‌گرفت، بسیار دقیق‌تر و کاربردی‌تر می‌باشد؛

به عنوان مثال، چنانچه پس از سه هفته تمرین انجام شده با استفاده از یک ماده التهاب‌زا عضوی از جوارح داخلی یک گروه از موش‌ها را ملتهب کنیم و سپس، با بررسی فاکتورهای فیزیولوژیکی میزان، دامنه و نرخ توسعه التهاب را در گروه‌های تمرین کرده و تمرین نکرده بررسی نماییم، به دلیل وجود شناسنامه خاص ورزشی برای هر آزمودنی، امکان مقایسه نمودار نتایج التهاب حاصل شده به صورت موش به موش و مورد به مورد به وجود خواهد آمد؛ به عبارت دیگر، فرض کنیم پژوهشی با هدف بیان

یک ژن خاص ناشی از تمرین مقاومتی صورت گیرد. پس از انجام تمرین، از آن جایی که نمودار تمرینی هر موش به صورت جداگانه در دسترس می‌باشد، چنانچه نتایج بیوپسی هر موش را در کنار نمودار تمرینی که انجام داده با خودش و با سایر موش‌ها مقایسه کنیم، با دقت بسیار زیاد می‌توان تأثیر تمرین انجام شده را بر بیان ژن مزبور تحلیل نمود (بدون آن که نسبت به خطای نگاه عمومی به تمرین موش‌ها در این رابطه نگرانی داشته باشیم).

۲. همان‌گونه که بیان شد، دستگاه (نردبان زاویه متغیر تمرین مقاومتی) برای موش‌های آزمایشگاهی مایس ساخته شده بود؛ اما در خلال تمرین مشخص شد که می‌توان از این دستگاه برای موش‌های با جثه بزرگ‌تر نظیر موش صحرائی نیز استفاده کرد. این موضوع به صورت خاص روی یک نمونه موش صحرائی تست گردید و مشاهده شد که دستگاه از نظر اندازه کانال‌ها برای این گروه از خانواده موش‌ها جوابگو می‌باشد؛ از این رو، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی با استفاده از این دستگاه، پژوهشی مشابه با پژوهش حاضر در ارتباط با خانواده موش صحرائی انجام گیرد.

۳. از نکات برجسته دستگاه ساخته شده، بخش نرم‌افزاری آن است که به دلیل ایجاد امکان رصد لحظه‌به‌لحظه حرکات آزمودنی‌ها، قابلیت تفکیک فعالیت ورزشی هر یک را ایجاد نموده است. باید عنوان نمود که ویژه‌سازی این نرم‌افزار برای انواع دیگری از لوازم ورزشی آزمایشگاهی نظیر تردمیل موش‌ها نیز قابل انجام می‌باشد.

**پیام مقاله:** در اغلب پژوهشهایی که اثر تمرینات ورزشی انجام شده روی آزمودنی‌ها بر روی فاکتور خاصی بررسی می‌شود، محققین با تعریف یک پروتکل مشخص تمرینی، آزمودنی‌ها را تمرین داده و با رعایت و دقت در ایجاد شرایط یکسان محیطی در زمان تمرین، فرض را بر این می‌گذارند که همه آزمودنی‌ها یکسان تمرین کرده و بر این اساس، میانگین نتایج حاصل از پژوهش خود را به عنوان نتیجه طرح قلمداد می‌نمایند لیکن این تحقیق به صورتی مستند نشان داد که برخلاف این تصور، میزان فعالیت ورزشی هر یک از آزمودنی‌ها با سایرین متفاوت بوده و اگرچه امکان تعریف یک میانگین فعالیت ورزشی برای کل آزمودنی‌ها به صورت عمومی وجود دارد؛ اما نکته قابل توجه آن است که برخی از آزمودنی‌ها انحرافات قابل توجهی از میانگین ورزش به دست آمده در گروه خود دارند که این موضوع اهمیت و الزام ثبت کامل و تفکیکی حرکات ورزشی در یک پروتکل تمرینی برای هر آزمودنی به صورت جداگانه و بررسی تفکیکی نتایج را اثبات می‌نماید.

## منابع

1. Kevin C, Kregel D L. Resource book for the design of animal exercise protocols; 2006. On February 7, 2006, the American Physiological Society (APS) published a *Resource Book for the Design of Animal Exercise Protocols*.
2. Sacca R, Elder B. The C57BL/ 6 mouse. The role of the C57BL/6N mouse in the creation of future genetically engineered models. Charles River Laboratories International, Inc; 2013.
3. Kondziella W. A new method for the measurement of muscle relaxation with mice. *Archives Internationales de Pharmacodynamie et de Therapie*. 1964; 152: 277-84.
4. Sadeeka M. Resistance exercise training attenuates wasting of the extensor digitorum longus muscle in mice bearing the Colon-26 adenocarcinoma. School of Nursing, Virginia Commonwealth University; 2001. . Jan;2(3):155-66
5. Suk H O Suk-Ho Lee, B.S., M.A.,. Interacton of insulin like growth factor-1 and resistance training on skeletal muscle mass and function. The University of Texas at Austin; 2002.
6. David J, Green B G. Mouse shoulder morphology responds to locomotor activity and the kinematic differences of climbing and running. *Jurnal of Experimental Zoology*. 2012; 318: 621–38.
7. Karsten Kru ger1\* DKG. Functional and muscular adaptations in an experimental model for isometric strength training in mice. *PLoS ONE* 8(11): e79069. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079069>.
8. Rockville P, Bethesda M. What types of animals are research? The American Physiological Society; 2013. ۹۶۵·Rockville pike p. 20814-3991.
9. Magalhaes J, Fraga M, Lumini-Oliveira J, Goncalves I, Costa M, Ferreira R, et al. Eccentric exercise transiently affects mice skeletal muscle mitochondrial function. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism=Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme*. 2013; 38(4): 401-9.
10. Chavanelle V, Sirvent P, Ennequin G, Caillaud K, Montaurier C, Morio B, et al. Comparison of oxygen consumption in rats during uphill (concentric) and downhill (eccentric) treadmill exercise tests. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2014; 13(3): 689-94.

### ارجاع دهی

فرزانه آرزو ، اسد محمدرضا ، مرندی سید محمد. امکان‌سنجی پایش تمرین مقاومتی موش روی نردبان با زوایای متغیر به کمک ثبت لحظه‌ای حرکات. فیزیولوژی ورزشی. تابستان ۱۳۹۶؛ ۹(۳۴): ۸۶-۱۶۳. شناسه دیجیتال: 10.22089/spj.2017.2567.1346

Farzaneh A, Asad M.R, Marandi S.M. Feasibility Study to Evaluate Mouse Resistance Training on a Variable Angle Ladder Using Up-to-the Moment Recording of Mouse Activities. Sport Physiology. Summer 2017; 9(34): 163-86. (In Persian). Doi: 10.22089/spj.2017.2567.1346

## Feasibility Study to Evaluate Mouse Resistance Training on a Variable Angle Ladder Using Up-to-the Moment Recording of Mouse Activities

A. Farzaneh<sup>1</sup>, M.R. Asad<sup>2</sup>, S.M. Marandi<sup>3</sup>

1. M.Sc. of Sport Physiology, Karaj PNU University\*
2. Associate Professor of Sport Physiology, Karaj PNU University
3. Professor of Sport Physiology, University of Isfahan

Received: 2016/06/01

Accepted: 2016/09/24

---

### Abstract

The aim of this experimental research is to evaluate resistance training by up-to-the moment recording of mouse activities. Statistical population: Male mice (C57BL/6-10 weeks old approximate weight 18-25 g) were randomly selected. The samples exercised in two groups: A (no light stimulus, 12 mice) B (with light stimulus, 15 mice) using a variable angle ladder with slope movement in 30°, 60° and 85°. The device consisted of four separate channels with a variable angle ladder at the bottom and movement sensors on each channel wall that recorded and drew the mathematical graph model of every training mouse activity separately using a particular hardware and software. Analyzing graphs showed that in the assumed exercise – training protocol members of one group in the same condition had not exercised similarly and their exercising model was significantly different by virtue of speed, time and intensity graphs. This difference was observed even in various training days of a mouse in comparison with itself. Therefore, the research indicated that it is impossible to assume the training activity of a group of mice in a resistance training to be the same even in a similar condition. As a result, the precise way of separating and grouping the trained mice is to monitor the training momentarily. With this method the effect of implemented training on each mouse is recorded and analyzed independently from others.

**Keywords:** Resistance Training, Online Recording of Activity, Mice Model, Variable Angle Ladder

---

---

\*Corresponding Author

Email: arzfaz@gmail.com