فیزیولوژی ورزشی شماره ۳۴، تابستان ۱۳۹۶. صص ۱۸۶-۱۶۳

امکان‌سنجی پایش تمرین مقاومتی موش روی نردبان با زوایای متغیر به کمک ثبت لحظه‌ای حرکات

آرزو فرزانه[۱]، محمدرضا اسد[۲]، سید محمد مرندی[۳]

۱. کارشناسی‌ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه پیام‌نور کرج*
۲. دانشیار فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه پیام‌نور کرج .
۳. استاد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش:۱۳۹۵/۰۷/۰۳

چکیده

هدف از این پژوهش تجربی، پایش تمرین مقاومتی به کمک ثبت لحظه‌ای حرکات موش مایس بود. جامعهٔ آماری پژوهش را موش‌های نر . .. .. . ۱۰ هفته‌ای با وزن تقریبی ۱۸ تا ۲۵ گرم تشکیل دادند که به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. نمونه‌ها در دو گروه . (بدون محرک نوری؛ ۱۲ موش) و . (دارای محرک نوری؛ ۱۵ موش) به کمک نردبان زاویهٔ متغیر با حرکت در شیب در سه زاویهٔ ۳۰ ،۶۰ و ۸۵ درجه تمرین کردند. دستگاه مورداستفاده از چهار کانال مجزا با نردبان زاویهٔ متغیر در کف تشکیل شده بود که دیواره‌های هر کانال دارای سنسورهای حرکت‌سنج بود و حرکت هر موش در تمرین به‌شکل 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. مقایسهٔ 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 قابل‌توجهی با یکدیگر دارد که این اختلاف حتی در تمرین روزهای مختلف یک موش درمقایسه با خودش نیز مشاهده می‌شود؛ ازاین‌رو، 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 به‌صورت مستقل از دیگران ثبت و تحلیل می‌شود.

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

*نویسنده مسئول .

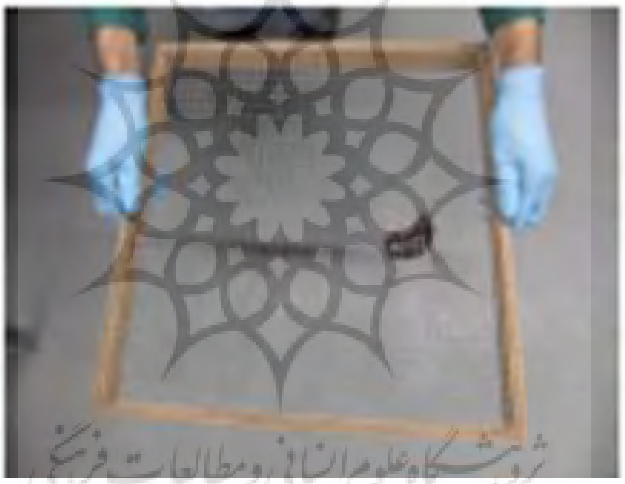
مقدمه

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[1] دارد و در جامعهٔ انسانی انجام چنین آزمایشاتی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ به‌همین‌دلیل، استفاده از نمونه‌های حیوانی برای انجام چنین آزمایشاتی باعث گسترش اطلاعات و یافته‌های پژوهشگران درمورد تأثیرات ورزش در فرایندهای سلولی ـ ملکولی شده و انجام آزمایشات و مطالعات بین‌رشته‌ای را فراهم می‌سازد (۱).

در جوامع متنوع آزمودنی‌های مورداستفاده در طرح‌های پژوهشی، بیشترین گروه را موش‌ها در دو دستهٔ صحرایی[2] و مایس[3] تشکیل داده‌اند. ازآن‌جایی‌که خانوادهٔ موش‌های صحرایی سازگارپذیری بیشتری با انواع تمرینات ورزشی دارند، کار با آن‌ها ساده‌تر بوده و اغلب وسایل تمرینی طراحی و ساخته‌شده برای مطالعات ورزشی، متناسب با این گروه از خانوادهٔ موش‌ها ساخته شده است؛ اما براساس بسیاری از دلایل فنی نظیر پایداری نژادی، باروری آسان و تولیدمثل قوی گونهٔ مایس درمقایسه با تعداد بسیاری از نژادهای دیگر (نظیر رت)، از دههٔ ۸۰ میلادی و با ظهور تکنیک‌های نوترکیبی [4]دی ان ا، استفاده از این‌گونه موش در پژوهش‌های خاص ژنتیکی بر سایر گونه‌ها ارجحیت یافته است (مانند تولید موش‌های ترانس ژن در مطالعات ژنتیکی). اندازهٔ کوچک این نژاد اجازه می‌دهد که یک کلونی از آن‌ها در فضای کوچکی جا داده شود که این موضوع به‌جهت تسهیل در نگهداری آزمودنی‌ها حائزاهمیت می‌باشد (۲)؛ ازاین‌رو، در برخی از پروژه‌های مطالعاتی مجبور به استفاده از نژاد مایس هستیم که متأسفانه تعداد وسایل ورزشی ساخته‌شده 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 کمک‌ورزشی مورداستفاده در پژوهش خود را به‌صورت ابتکاری و با بهره‌گیری از وسایل کمک‌ورزشی ساخته‌شده برای گروه موش صحرایی ایجاد کرده است که این موضوع علاوه‌بر سختی‌هایی که در مراحل اجرایی برای وی داشته است، در برخی موارد به‌صورت ناخواسته منجر به بروز انحرافاتی در نتایج اصلی شده است (نمونه‌هایی از این اقدامات در پیشینهٔ مطالعات انجام‌شده در ادامه بیان شده است).

1... .. . . . .
2... .. .
3..... . .
4..... ....

در این ارتباط، کانزیلا[1] و همکاران (۱۹۶۴) در پژوهشی به بررسی اثر تمرین مقاومتی و استقامتی بر التهاب ایجادشده از رژیم پرچرب روی موش‌های .. . . پرداختند. پروتکل تمرین مقاومتی مورداستفاده در این پژوهش، انقباضات ایزومتریک[2]بود (۳). وسیلهٔ تمرین نیز شامل یک صفحهٔ توری با سیم‌های فلزی بود که دورتادور این صفحهٔ توری با چوب احاطه شده بود. جهت انجام پژوهش، ابتدا موش را به‌صورت افقی روی این صفحه می‌گذاشتند و سپس، صفحه را به‌صورت عمودی طوری نگه می‌داشتند که جهت سر موش به‌سمت بالا باشد. لازم‌به‌ذکر است که تمرین درقالب سه ست سه دقیقه‌ای و به‌مدت پنج بار در هفته انجام شد (شکل شمارهٔ یک).



شکل ۱ــ انقباضات ایزومتریک به‌وسیلهٔ صفحهٔ توری با سیم‌های فلزی

سادیکا[3] و همکاران (۲۰۰۱) نیز در پژوهش خود به بررسی این موضوع پرداختند که آیا تمرین مقاومتی می‌تواند کاهش تودهٔ ماهیچه‌ای القاشده توسط سرطان را خنثی کند؟ نمونهٔ موردی در این پژوهش موش مایس بود. همچنین، پروتکل تمرین مقاومتی شامل: هشت جلسهٔ ۱۰ ستی با هشت تکرار تحریک الکتریکی در هر ست بود. عضلات موردآزمایش عبارت بودند از: عضلهٔ سولئوس[4] و عضلهٔ کف پا و دوقلو که به‌وسیلهٔ تحریک الکتریکی تحت‌تأثیر انقباضات اکسنتریک[5] و کانسنتریک[6] قرار گرفتند (۴).

1.... . . ..
2...... ... ..
3..... .. . .
4.... ... . .
5... .. ..
6... . . ..

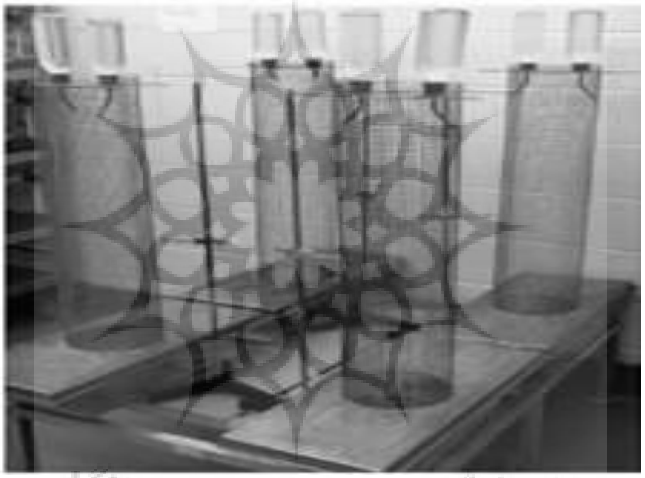
علاوه‌براین، لی[1] و همکاران (۲۰۰۲) به‌منظور پژوهش درمورد افزایش بیان فاکتور رشد شبه‌انسولینی[2] و تمرین مقاومتی و تأثیر این دو بر توده و عملکرد ماهیچه، آزمایشی را روی موش‌های . . . . انجام دادند. وسیلهٔ تمرین مقاومتی موش‌ها در این پژوهش، نردبان بالارونده بود. لازم‌به‌ذکر است که طول این نردبان ۴۰ سانتی‌متر، فاصلهٔ پله‌ها از یکدیگر یک سانتی‌متر و شیب آن‌ها ۸۵ درجه بود. تمرین به‌وسیلهٔ 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 به‌تدریج در طول هشت هفته تمرین افزایش یافت (شکل شمارهٔ دو) (۵).

شکل ۲ـ نردبان بالارونده برای تمرین موش C57BL/6

گرین[3] 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 وسیلهٔ خاصی به نام "قفس‌های بالارفتن" را برای تمرین مقاومتی بالارفتن آزمودنی‌ها طراحی‌کرده بود؛ درحقیقت، قفس‌های بالارفتن عبارت بود از: وسیله‌ای به‌طول یک متر شبیه یک برج با تورهای سیمی که به‌صورت استوانه‌ای در روی قفس قرار داده شده بود و بطری 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 دردسترس بود و موش‌ها برای نوشیدن آب مجبور بودند از ارتفاع تنظیم‌شده بالا بروند (۶).

1... .. .
2..... .. .
3.... .. .

شایان‌ذکر است که به‌منظور قابل‌رصدبودن حرکت موش‌ها به‌آن‌ها سنسور زیرپوستی تزریق شده بود. درپایان، میانگین مسافت پیموده‌شده برای هر موش همانند نمونهٔ زیر محاسبه گردید؛ به‌عنوان‌مثال، در یک الگوی ۱۰ دقیقه‌ای کل مسافت پیموده‌شده به‌وسیلهٔ تمامی موش‌ها با یکدیگر جمع گشته 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؛ بدین‌ترتیب، میانگین مسافت بالارفته برای هر موش در ۱۰ دقیقه به‌دست‌آمد (شکل شمارهٔ سه).



شکل ۳ـ قفس‌های بالارفتن برای تمرین مقاومتی موش

دراین‌راستا، کروگر[1] و همکاران (۲۰۱۳) پژوهشی را به‌منظور بررسی سازگاری‌های ماهیچه‌ای و عملکردی در تمرینات قدرتی انجام دادند. در این پژوهش از نمونهٔ موردی موش مایس استفاده شد و دستگاه تمرینی وسیله‌ای بود به ابعاد ۵×۸ 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؛ تاجایی‌که دو پای پشتی موش از سیم‌ها جدا می‌شد که این زمان برابر با زمان ماکزیمم نگهداری یا تحمل موش می‌باشد (۷) (شکل شمارهٔ چهار).

شکل ۴ـ توری مشبک برای تمرین مقاومتی موش

ملاک، مدت‌زمان تحمل موش تا موقع جداشدن پاهای عقبی از صفحه در حالت عمودی می‌باشد.

همان‌گونه که عنوان شد، استفاده از وسایل کمکی برای انجام تمرینات ورزشی مختلف استقامتی و مقاومتی در حیوانات آزمایشگاهی به‌دلایل متعدد پژوهشی مرسوم می‌باشد (نظیر تردمیل‌های ورزشی حیوانی)؛ اما یکی از مشکلاتی که پژوهشگران علوم بین‌رشته‌ای با آن مواجه هستند، عدم وجود این وسایل به‌صورت پیش‌ساخته در انجام برخی از مطالعات، به‌دلیل نوپابودن انجام مطالعات بین‌رشته‌ای نسبت به سایر مطالعات متمرکز در رشته‌های تخصصی می‌باشد. در پژوهش حاضر نیز پژوهشگر ناگزیر به تهیهٔ وسیله‌ای برای انجام تمرین موردنظر آزمودنی‌ها بود که این امر منجر به ثبت اختراعی با نام "نردبان زاویهٔ متغیر تمرین مقاومتی" گردید. هدف از این اختراع، تهیهٔ وسیله‌ای بود که بتوان با استفاده از آن تمرینات ورزشی مقاومتی را برای موش‌های با جثهٔ کوچک مایس (که گونه‌ای پرتنوع و بسیار پرکاربرد در مطالعات آزمایشگاهی به‌شمار می‌رود) انجام داد و درعین‌حال، بتوان روند دورهٔ تمرین انجام‌شده را به‌صورت لحظه‌ای ثبت نمود؛ زیرا، دراین‌صورت قادر خواهیم بود فعالیت ورزشی هر موش را به‌صورت جداگانه اندازه‌گیری، پایش و تحلیل کنیم. .

جثهٔ ریز، تحرک بسیار زیاد، آزمایش‌گریزی، عدم تمرکز، عدم قاعده‌پذیری، سازگاری دیرهنگام، تأثیرپذیری نامناسب از محرک‌های محیطی (نظیر ترس) که منجر به انحراف نتایج می‌شوند و غیره، بخشی از مشکلاتی است که یک پژوهشگر درصورت نیاز به استفاده از این خانواده از موش‌ها برای انجام تمرینات ورزشی مقاومتی درخلال پژوهش خود با آن‌ها 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 آن‌است که پژوهشگران به‌طور عمده با تمرین‌دادن گروه آزمودنی در شرایط خاص، نتیجهٔ تمرینات انجام‌شده برای تمامی آزمودنی‌ها به‌صورت عمومی را یکسان در نظر گرفته و تفاوت‌های سطوح متفاوت تمرینات برای هریک از آزمودنی‌ها را در نتایج نهایی لحاظ نمی‌کنند؛ به‌عبارت‌دیگر، هنگامی‌که یک گروه آزمودنی تحت پروتکل خاصی در مدت و شرایط معین تمرین می‌کند، تفاوت سطوح تمرین انجام‌شده برای هریک از آزمودنی‌ها را به‌صورت جداگانه در نظر نگرفته و فرض بر آن گذاشته می‌شود که تمامی آزمودنی‌ها پروتکل[۲] 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 هریک از آزمودنی‌ها به‌صورت جداگانه وجود دارد، استفاده از این روش بر صحت و دقت نتایج مؤثر بوده و قابل‌استفاده نمی‌باشد. دراین‌راستا، 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 استفادهٔ علمی در فیزیولوژی ورزشی تبدیل نماید.

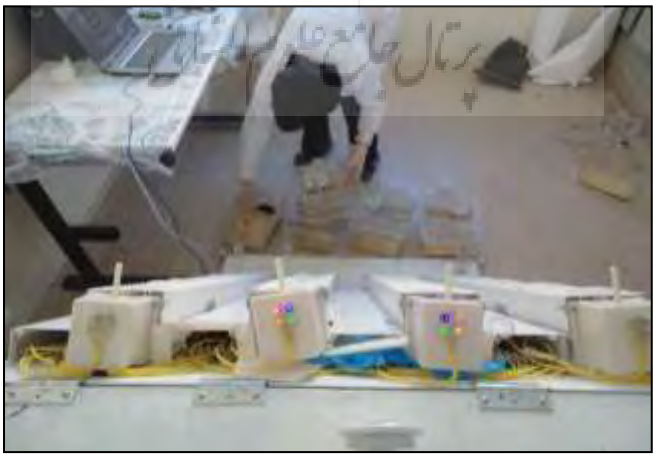
روش پژوهش

جامعهٔ آماری موردمطالعه در این پژوهش، موش‌های نر نژاد . .. .. . پژوهشکدهٔ رویان تهران بودند. این نژاد از خانوادهٔ 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 هفتگی است (۸). از جامعهٔ آماری اشاره‌شده، تعداد ۴۸ عدد موش به‌صورت تصادفی انتخاب گشته و به پژوهشکدهٔ رویان اصفهان انتقال یافتند و در بخش لانهٔ حیوانات نگهداری شدند. موش‌ها پس از انتقال به لانهٔ جدید با رعایت سیکل تاریکی ـ روشنایی (۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت روشنایی) در دمای بین ۱۹ تا ۲۲ درجهٔ 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 تحت‌بررسی قرار گیرد، لازم بود هر آزمودنی با کد مشخصهٔ جداگانه‌ای علامت‌گذاری شود. با توجه به مردن ۱۰ عدد از ۴۸ موش انتخاب‌شده و زخمی‌شدن پنج نمونهٔ دیگر، تعداد موش‌های باقی‌مانده به

۳۳ عدد کاهش یافت. به‌طورکلی، 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. فلسفهٔ دو گروه نمودن آزمودنی‌ها، بررسی نتایج آزمون در دو شرایط اختیاری و اجباری بود؛ به‌صورتی‌که در پایان پژوهش بتوان استنباط کرد که پروتکل‌های تمرینی مورداستفاده 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 مورداستفاده 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. ازآن‌جایی‌که لازم بود الگوهای مختلفی از روشن و خاموش‌شدن انواع چراغ‌های رنگی در فواصل زمانی مختلف به‌وسیلهٔ این دستگاه تحت‌کنترل 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 به‌وسیلهٔ 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. درادامه، حالات مختلف منفرد و ترکیبی از روشن و خاموش‌شدن چراغ‌های رنگی برای این طرح بررسی گشت و درنهایت، ترکیب چهار رنگ قرمز، زرد، سبز و آبی به‌صورت ثابت ـ روشن (و نه چشمک‌زن) انتخاب گردید (شکل شمارهٔ پنج).



شکل ۵ـ نصب محرک نوری در طرفین کانال هر نردبان

گروه تمرین بدون محرک (گروه .): این گروه شامل ۱۲ آزمودنی (از خانوادهٔ شرح‌داده‌شده) بود که به سه گروه چهارتایی تقسیم شدند و تمرینات ورزشی را به‌صورت اختیاری در زوایای مختلف ۳۰، ۶۰ و ۸۵ درجه انجام‌دادند. شایان‌ذکر 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 .): این گروه شامل ۱۵ آزمودنی (از خانوادهٔ شرح‌داده‌شده) بود که به سه گروه چهارتایی و یک گروه سه‌تایی تقسیم شدند (این گروه در شروع دارای ۱۶ موش بود که به‌دلیل مرگ یکی از آن‌ها در اولین روز تمرین، تمرینات با ۱۵ موش ادامه یافت). لازم‌به‌ذکر است که برای این گروه، نور محیطی با ایجاد پوشش روی نردبان‌ها حذف گردید تا آزمودنی‌ها تمرینات خود را در تاریکی و تحت‌تأثیر محرک نوری انجام دهند.

سطح شیب‌دار: در بین ابزار و تجهیزات موردنیاز برای انجام این نوع تمرین مقاومتی، مهم‌ترین آن‌ها سطح شیب‌دار است. ازآن‌جایی‌که می‌بایست شدت تمرین ورزشی را تحت‌کنترل گرفت، این سطح شیب‌دار باید دارای امکان تغییر زاویه باشد؛ بدین‌منظور، از نردبانی با زاویهٔ قابل‌تغییر استفاده شد که پژوهشگر قبلاً آن را طراحی نموده و دستگاه به شمارهٔ ۸۸۵۷۱ ثبت اختراع دارد. وسیلهٔ اختراع‌شده نردبانی است با زاویهٔ متغیر (زاویهٔ سطح شیب‌دار از صفر تا قائم به‌سهولت قابل‌تغییر می‌باشد) که به‌صورت خاص برای انجام تمرینات ورزشی (از نوع ورزش‌های مقاومتی) برای تغییر توانایی‌های فیزیولوژیکی یک گروه پرتنوع از موش‌های آزمایشگاهی با جثهٔ کوچک (مایس) و حتی نمونه‌های بزرگ‌تر نظیر موش صحرایی قابل‌استفاده می‌باشد. براساس مطالعات پژوهشگر، این اختراع (در نوع خود) نه‌تنها در کشور، بلکه در دنیا منحصربه‌فرد می‌باشد. مزایای این دستگاه شامل موارد زیر است: .

۱. قابلیت تغییر شدت تمرین با تغییر زاویهٔ سطح شیب‌دار از صفر تاحدود۹۰ درجه: زاویهٔ کانال‌های دستگاه به‌صورت دستی و با چرخاندن اهرم تغییر زاویه که در پشت دستگاه نصب شده است، انجام می‌شود. به‌منظور دست‌یابی به زاویهٔ موردنظر، یک نقالهٔ ثقلی روی بدنهٔ 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 به‌عنوان جایگزین استفاده از وزنه‌های متصل‌شونده به بدن موش در نظر گرفته شده است.

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

و علاوه‌برآن‌که امکان فرار و گریز از تمرین و ایجاد خطا در نتایج آماری از وی سلب می‌شود، به‌دلیل ایزوله‌کردن فضای تمرین، امکان حواس‌پرتی آزمودنی (ناشی از اتفاقات محیط پیرامون) نیز به حداقل رسیده و طول مدت تمرین به‌شکل چشم‌گیری کاهش می‌یابد. به‌منظور شفاف‌ترشدن موضوع باید اضافه کرد که مسیر حرکت موش، یک مکعب ـ مستطیل به‌طول یک متر و عرض و ارتفاع کمتر از ۱۰ سانتی‌متر است که عرض و ارتفاع آن متناسب با جثهٔ موش بوده و پس از قرارگرفتن آزمودنی در مسیر حرکت و بسته‌شدن طرفین این مکعب ـ مستطیل، ارتباط موش با فضای بیرون کانال به‌شکل کامل قطع می‌شود.

۳. ایجاد نردبان متناسب با جثهٔ موش: یکی از مشکلات این خانواده (مایس) در انجام تمرینات ورزشی با دستگاه‌های متعارف، گیرکردن دست‌وپای کوچک آن‌ها در داخل خلل و فرج کف و بدنهٔ دستگاه‌ها می‌باشد که با مناسب‌سازی مسیر صعود موش به‌واسطهٔ 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 رصدکردن تمرین انجام‌شده به‌دلیل وجود سنسورهای تشخیص حرکت و صعودی یا نزولی‌بودن تمرین

توضیحات کلی درمورد دستگاه: این دستگاه از چهار کانال تشکیل شده است که هر کانال شامل یک نردبان زاویهٔ 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 دورهٔ 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 پایین‌رفتن از نردبان را تجربه می‌کند. لازم‌به‌ذکر است که در این پنج روز نباید از هیچ محرک خارجی برای هدفمندکردن حرکت موش روی نردبان استفاده شود؛ اما از روز ششم که تمرینات پروتکل تمرینی اصلی آغاز می‌گردد، موش‌ها درقالب گروه‌های چهارتایی تمرین را آغاز می‌کنند؛ بدین‌صورت‌که ابتدا زاویهٔ دستگاه روی صفر تنظیم شده و هر موش کدگذاری‌شده در کانال مخصوص خود قرار گرفته و حدود پنج دقیقه با زاویهٔ صفر در داخل کانال، شرایط انطباق قبل از تمرین را سپری نموده و سپس، دستگاه در زاویهٔ موردنظر قرار می‌گیرد (به‌طورمثال ۳۰ درجه) (شکل شمارهٔ شش) و مدت مشخصی برای تمرین براساس پروتکل در نظر گرفته می‌شود. از این زمان، نرم‌افزار نصب‌شده بر روی کامپیوتری که به‌وسیلهٔ ماژول‌های خاص انتقال دیتا به سنسورهای موجود در مسیر کانال‌ها متصل است، شروع

به‌کار می‌کند و با حرکت هر موش در مسیر کانال و عبور از مقابل سنسورهایی که در فواصل مشخصی از هم در دیوارۀ کانال‌ها قرار گرفته‌اند، تاریخ و زمان دقیق عبور موش از مقابل هر سنسور به‌صورت جداگانه در نرم‌افزار ویژه‌ای ثبت می‌شود. لازم‌به‌ذکر است که تعداد سنسورها بستگی به طول جثۀ 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 اولیۀ ثبت‌شدۀ خود استفاده کرده است، سنسورهای به‌کاررفته در طول مسیر هر نردبان، سه عدد (در فواصل تقریبی پنجاه سانتی‌متری از یکدیگر) بود. نکتۀ مهمی که از ثبت حرکت موش در این کانال به‌دست آمد، این است که با توجه به وجود امکان تشخیص و تفکیک حرکت موش به سمت بالا یا پایین، به‌سهولت امکان جداکردن میزان فعالیت ورزشی اکسنتریک .پایین‌آمدن موش از سطح شیب‌دار) (۹) از کانسنتریک (بالارفتن موش از سطح شیب‌دار) (۱۰) وجود دارد. شایان‌ذکر 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 به‌مدت ۲۱ روز (از تاریخ ۹۴/۱۱/۸ لغایت ۹۴/۱۱/۳۰) انجام شد؛ هفت روز در زاویۀ ۳۰ درجه، هفت روز در زاویۀ ۶۰ درجه (شکل شمارۀ هفت) و هفت روز در زاویۀ ۸۵ درجه (شکل شمارۀ 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 به‌صورتی بود که برای حفظ تغییرات سیکل شبانه‌روزی، هر آزمودنی در طول ۲۱روز تمرین در ساعت مشخصی از روز تمرین می‌نمود. در اولین روز تمرین، طول بدن و طول دم آزمودنی‌ها به‌وسیلۀ خط‌کش و وزن آن‌ها به‌وسیلۀ ترازوی آزمایشگاهی (استارتریوس[1] مدل. . ... ..) با دقت یک‌دهم اندازه‌گیری گردید؛ البته، فاکتور وزن هر سه روز یک‌بار اندازه‌گیری شد و شدت تمرین با پیشرفت پروژه افزایش یافت تا زمانی‌که سنسورهای ثبت حرکت، افزایش تعداد رفت‌وآمدهای موش در روی نردبان را ثبت نکند (دفعات بالا و پایین‌رفتن 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 هریک از ۲۷ موش تمرین‌کرده به‌دست‌آمد و اطلاعات جمع‌آوری‌شده به‌سهولت آنالیز گردید و نمودارهای حرکتی و فعالیتی هر موش با چندین مدل الگوشده استخراج گشت.

1..... ... .

شکل ۶ـ نردبان زاویهٔ متغیر با زاویهٔ ۳۰ درجه

شکل ۷ـ نردبان زاویهٔ متغیر با زاویهٔ ۶۰ درجه

شکل ۸ـ نردبان زاویهٔ متغیر با زاویهٔ ۸۵ درجه

نتایج

همان‌گونه که بیان گردید، پس از پایان هفتهٔ سوم، یک بانک اطلاعاتی غنی از مدل حرکتی هریک از موش‌های موردآزمون در زاویه‌های مختلف به‌دست آمد. در جدول شمارهٔ یک، میانگین و انحراف معیار وزن موش‌ها و مؤلفه‌های حرکت آن‌ها به‌تفکیک گروه‌های آزمایشی ارائه شده است. براین‌اساس، طول مسیر و تعداد مسیر بالا و پایین‌رفتن در گروهی که به‌صورت 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 کولموگروف ـ اسمیرنوف[1] وضعیت طبیعی‌بودن داده‌های پژوهش بررسی گردید و با توجه به این‌که سطح معناداری این آزمون برای مؤلفه‌های حرکت در هر گروه آزمایشی بیش‌تر از (. .. .) بود، نتیجه‌گیری شد که این مؤلفه‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند و برای مقایسهٔ مؤلفه‌های حرکت بین دو گروه آزمایشی (اختیاری) و (دارای محرک) می‌توان از آزمون پارامتریک تی مستقل[2] استفاده نمود (جدول شمارهٔ دو). همچنین، ازآن‌جایی‌که سطح معناداری این آزمون برای هر چهار مؤلفهٔ حرکت کمتر از (. .. .) بوده است؛ بنابراین، بین مؤلفه‌های حرکت در دو گروه (اختیاری) و (دارای محرک) تفاوت معناداری وجود دارد و با توجه به میانگین‌های جدول شمارهٔ یک، میانگین مؤلفه‌های حرکت در گروه اختیاری بیشتر از گروه دارای محرک می‌باشد.

1.... .. . .

2.... . .. .

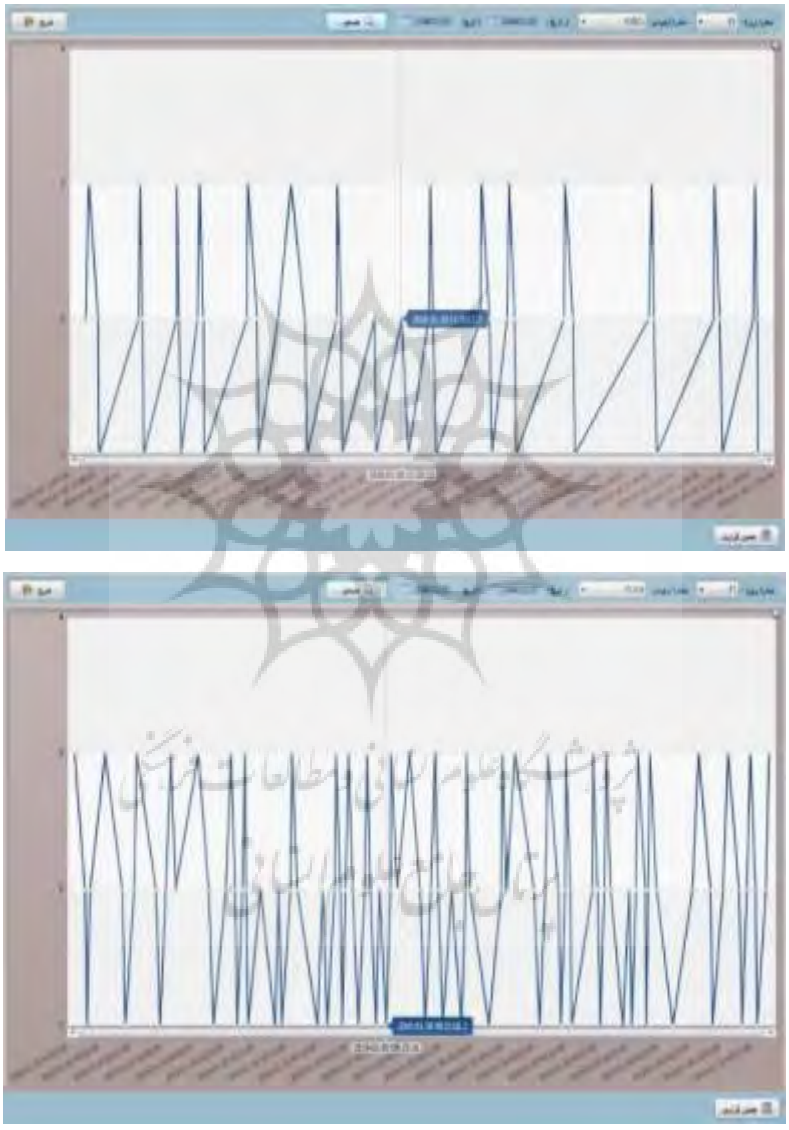
جدول ۱ـ شاخص‌های توصیفی مؤلفه‌های حرکت

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

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

مؤلفه حرکت	آمارهٔ تی	درجهٔ 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

ازسوی‌دیگر، براساس نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار ویژهٔ دستگاه، تفاوت‌های گاهاً معناداری در میزان تبعیت آزمودنی‌های مختلف از پروتکل تمرینی تعریف‌شده مشاهده می‌شود که این موضوع، ماهیت نگاه یکسان پژوهشگران به جامعهٔ آزمودنی‌های مطالعات آن‌ها را مورد سؤال قرار می‌دهد. شکل زیر نمونه‌ای از منحنی حرکتی دو نمونه از موش‌های یک گروه (گروه ...یا گروه بدون محرک) در یک زوایهٔ مشابه را که براساس بانک اطلاعاتی گردآوری‌شده تهیه شده است، نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل شمارهٔ نه مشاهده می‌شود، الگوپذیری هریک از این دو موش در تمرین انجام‌شده، با وجود مشابهت کامل شرایط تمرین، تفاوت معناداری با یک‌دیگر دارد. شایان‌ذکر است که نتایج کامل تمرینات تمامی آزمودنی‌ها شامل: نمودارهای حرکتی و جداول اطلاعات ثبت‌شدهٔ آن‌ها در پایان‌نامهٔ پژوهشگر با عنوان "استخراج مدل ریاضی پروتکل تمرین مقاومتی موش‌های آزمایشگاهی مدل مایس بر روی سطح شیب‌دار" قابل‌دسترسی می‌باشد.



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

به‌جهت شفاف‌ترشدن موضوع، نتایج تمرین ۲۱ روزهٔ یکی از آزمودنی‌ها در هر سه زاویهٔ ۳۰، ۶۰ و ۸۵ درجه در جدول شمارهٔ سه نشان داده شده است.

جدول ۳ـ نمونهٔ نتایج یک آزمودنی که نشان‌دهندهٔ عدم مشابهت تمرین در روزهای مختلف می‌باشد.

زاویه نردبان (درجه)	تاریخ آزمون	مدت دقیق آزمون	حرکت به بالا (متر)	حرکت به پایین (متر)	مسافت طی شده (متر)	مدت تمرین (دقیقه)	مسافت در دقیقه (متر در دقیقه)	متوسط مسافت در دقیقه	درصد واریانس نسبت متوسط
	۹۴/۱۱/۰۸	۰:۱۸:۳۱	۱۳/۵	۱۴/۵	۲۸	۱۸/۵	۱/۵	۱/۶۵	-۸/۳۲
	۹۴/۱۱/۰۹	۰:۲۲:۵۰	۱۴/۵	۱۵	۲۹/۵	۲۲/۸	۱/۳	۱/۶۵	-۲۱/۶۷
	۹۴/۱۱/۱۰	۰:۳۰:۲۸	۲۵	۲۵	۵۰	۳۰/۵	۱/۶	۱/۶۵	-۰/۵
۳۰	۹۴/۱۱/۱۱	۰:۳۱:۱۱	۲۷/۵	۲۷/۵	۵۵	۳۱/۲	۱/۸	۱/۶۵	۶/۹۳
	۹۴/۱۱/۱۲	۰:۲۸:۵۷	۳۰	۳۰/۵	۶۰/۵	۲۹	۲/۱	۱/۶۵	۲۶/۷
	۹۴/۱۱/۱۳	۰:۲۵:۵۷	۱۷	۱۷	۳۴	۲۶	۱/۳	۱/۶۵	-۲۰/۵۷
	۹۴/۱۱/۱۴	۰:۲۹:۱۰	۲۸	۲۸/۵	۵۶/۵	۲۹/۲	۱/۹	۱/۶۵	۱۷/۴۴
	۹۴/۱۱/۱۵	۰:۲۷:۰۴	۱۵	۱۴/۵	۲۹/۵	۲۷/۱	۱/۱	۱/۱۵	-۴/۹۵
	۹۴/۱۱/۱۷	۰:۲۸:۰۴	۳۰/۵	۲۰	۴۰/۵	۲۸/۱	۱/۴	۱/۱۵	۲۵/۸۵
	۹۴/۱۱/۱۸	۰:۲۴:۲۳	۱۱/۵	۱۲	۲۳/۵	۲۴/۴	۱	۱/۱۵	-۱۵/۹۵
۶۰	۹۴/۱۱/۱۹	۰:۲۵:۰۵	۱۵	۱۵	۳۰	۲۵/۱	۱/۲	۱/۱۵	۴/۳۱
	۹۴/۱۱/۲۰	۰:۲۵:۰۹	۱۳	۱۳/۵	۲۶/۵	۲۵/۲	۱/۱	۱/۱۵	-۸/۱۱
	۹۴/۱۱/۲۱	۰:۲۵:۳۸	۱۴	۱۳/۵	۲۷/۵	۲۵/۶	۱/۱	۱/۱۵	-۶/۴۴
	۹۴/۱۱/۲۲	۰:۲۷:۲۰	۱۶/۵	۱۶/۵	۳۳	۲۷/۳	۱/۲	۱/۱۵	۵/۲۹
	۹۴/۱۱/۲۴	۰:۲۶:۲۱	۱۰	۱۰/۵	۲۰/۵	۲۶/۴	۰/۸	۰/۷۹	-۱/۵۸
	۹۴/۱۱/۲۵	۰:۲۶:۲۴	۷	۷/۵	۱۴/۵	۲۶/۴	۰/۵	۰/۷۹	-۳۰/۵۲
	۹۴/۱۱/۲۶	۰:۲۸:۲۷	۱۲	۱۳	۲۵	۲۸/۵	۰/۹	۰/۷۹	۱۱/۱۷
۸۵	۹۴/۱۱/۲۷	۰:۲۵:۳۸	۱۱/۵	۱۲	۲۳/۵	۲۵/۶	۰/۹	۰/۷۹	۱۵/۹۸
	۹۴/۱۱/۲۸	۰:۲۳:۵۹	۱۱	۱۲	۲۳	۲۴	۱	۰/۷۹	۲۱/۳۲
	۹۴/۱۱/۲۹	۰:۲۸:۱۶	۱۰/۵	۱۱	۲۱/۵	۲۸/۳	۰/۸	۰/۷۹	-۳/۷۸
	۹۴/۱۱/۳۰	۰:۲۶:۰۳	۸/۵	۹/۵	۱۸	۲۶/۱	۰/۷	۰/۷۹	-۱۲/۵۹

همان‌گونه که در جدول شمارهٔ سه مشاهده می‌شود، در ستون آخر درصد واریانس تمرین روزانهٔ این آزمودنی در زوایای مختلف با متوسط تمرین آن در همان زاویه مقایسه شده است که در بسیاری از موارد، تمرین‌انجام‌شده نسبت به متوسط تمرینات همان آزمودنی درصد بالایی از اختلاف را نشان می‌دهد؛ به‌عنوان‌مثال، 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 به‌وسیلهٔ 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، زاویهٔ تنظیمی دستگاه در هر هفتهٔ تمرینی دوبار (روزهای اول و وسط هفته) به‌وسیلهٔ 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 زاویهٔ 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 نمونهٔ آماری که قبلاً از آن‌ها در پایلوت انتخاب محرک استفاده شده بود، به‌کار رفت؛ بدین‌صورت‌که 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 شمارهٔ 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 هریک 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 ویژهٔ 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 ($. \ldots \leq .$) 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، نکتهٔ حائزاهمیت در استفاده از این روش آن است که به کمک ثبت لحظه‌ای حرکات هر آزمودنی موفق شدیم برای نخستین‌بار فعالیت ورزشی هر موش را تحت پروتکل از پیش تعریف‌شده به‌صورت مجزا رصد نماییم. دراین‌راستا، نتایج نشان داد که برخلاف تصور بیشتر پژوهشگران، میزان فعالیت ورزشی هریک از آزمودنی‌ها ـ چه در گروهی که به‌صورت اختیاری ورزش می‌کردند و چه در گروهی که تحت‌تأثیر محرک خارجی تمرینات را انجام می‌دادند ـ با سایرین متفاوت بوده و اگرچه امکان تعریف یک میانگین فعالیت ورزشی برای کل آزمودنی‌ها به‌صورت عمومی وجود دارد؛ اما نکتهٔ قابل‌توجه آن است که برخی از آزمودنی‌ها انحرافات قابل‌توجهی 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؛ درحالی‌که در پژوهش اخیر برای زاویهٔ 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 هریک 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 به‌دلیل استفاده از ولتاژ بالاتر یا پایین‌تر از اپتیمم، سازگاری‌های موردنظر به‌دست نیاید و ازسوی‌دیگر، 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 وسیلهٔ اختراع‌شده در پژوهش حاضر، تمرین مقاومتی به‌صورت پویا توسط آزمودنی انجام می‌شود و شدت آن با تغییر زاویهٔ نردبان قابل‌کنترل 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. ازسوی‌دیگر، در پژوهش لی سرعت بالارفتن آزمودنی و زمان رسیدن به بالای نردبان قابل‌اندازه‌گیری نبود؛ درحالی‌که اساس ثبت روند فعالیت ورزشی در وسیلهٔ اختراع‌شده به‌دلایل زیر دقیق‌تر و اختصاصی‌تر می‌باشد:.

۱. تغییر شدت فعالیت ورزشی با تغییر زاویهٔ نردبان به‌سهولت امکان‌پذیر است.

۲. موش، هم در مسیر بالارفتن و هم در مسیر برگشت، تمرین تعریف‌شدهٔ ورزشی را انجام می‌دهد.

۳. کلیهٔ پارامترهای دینامیکی نظیر زمان (علاوه‌بر 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 قابل‌اندازه‌گیری 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 استوانهٔ 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 زاویهٔ متغیر از بین رفته است؛ زیرا، موش‌ها کدگذاری شده و هرکدام در قفس جداگانه‌ای نگه‌داری شدند که کاملاً قابل‌تشخیص 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 قابل‌مشاهده بود. لازم‌به‌ذکر است که پژوهش حاضر از جهات زیر نوآوری داشته است:

۱. معرفی دستگاه نردبان زاویهٔ متغیر برای نخستین‌بار

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

لازم‌به‌ذکر است که انجام مستقل هریک از این دو نوع تمرین درحال‌حاضر و در نمونهٔ دستگاه ساخته‌شده وجود ندارد؛ زیرا، موش در هربار حرکت رفت‌وبرگشت در مسیر کانال، به اجبار هر دو نوع تمرین (اکسنتریک و کانسنتریک) را انجام می‌دهد؛ اما با انجام تغییراتی در ساختار دستگاه، این امکان به‌وجود خواهد آمد؛ به‌عنوان‌مثال، می‌توان مسیر بالارفتن را با ایجاد محدودیت‌های فیزیکی خاصی یک‌طرفه کرد؛ به‌طوری که موش امکان برگشت مسیر را نداشته باشد و هنگامی‌که به بالای کانال رسید، با استفاده از یک سرسره به ابتدای کانال بازگردد که بدین‌ترتیب، تمرین انجام‌شده تنها کانسنتریک خواهد بود. همچنین، می‌توان مسیر را به سمت پایین یک‌طرفه نمود و در پایین کانال با استفاده از یک آسانسور مکانیکی، موش را به بالای کانال و ابتدای مسیر منتقل کرد که بدین‌ترتیب، تمرین انجام‌شده صرفاً اکسنتریک خواهد بود (طراحی و ساخت این دو قسمت بسیار ساده، کم‌هزینه و قابل‌انجام است). .

۱. امکان رصد و پایش لحظه‌به‌لحظهٔ حرکت و فعالیت ورزشی هر آزمودنی به‌صورت کاملاً مجزا و قابل‌بررسی برای نخستین‌بار.

۲. نرم‌افزار ویژه‌سازی‌شده برای دستگاه موردنظر که به‌منظور پوشش اهداف و فرضیه‌های پژوهش ایجاد شده است.

۳. ارائهٔ متدولوژی جدیدی برای به‌سازی پروتکل‌های تمرینی (به‌ویژه برای ورزش‌های حرفه‌ای) و دستگاه‌های کمک‌ورزشی آزمایشگاهی و انسانی

پیشنهادات

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

به‌عنوان‌مثال، چنان‌چه پس از سه هفته تمرین انجام‌شده با استفاده از یک مادهٔ التهاب‌زا عضوی از جوارح داخلی یک گروه از موش‌ها را ملتهب‌کنیم و سپس، با بررسی فاکتورهای فیزیولوژیکی میزان، دامنه و نرخ توسعهٔ التهاب را در گروه‌های تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده بررسی‌نماییم، به‌دلیل وجود شناسنامهٔ خاص ورزشی برای هر آزمودنی، امکان مقایسهٔ نمودار نتایج التهاب حاصل‌شده به‌صورت موش به موش و مورد به مورد به‌وجود خواهد آمد؛ به‌عبارت‌دیگر، فرض‌کنیم پژوهشی با هدف بیان

یک ژن خاص ناشی از تمرین مقاومتی صورت گیرد. پس از انجام تمرین، ازآن‌جایی‌که نمودار تمرینی هر موش به‌صورت جداگانه دردسترس می‌باشد، چنان‌چه نتایج بیوپسی هر موش را در کنار نمودار تمرینی که انجام‌داده با خودش و با سایر موش‌ها مقایسه‌کنیم، با دقت بسیار زیاد می‌توان تأثیر تمرین انجام‌شده را بر بیان ژن مزبور تحلیل نمود (بدون آن‌که نسبت به خطای نگاه عمومی به تمرین موش‌ها در این رابطه نگرانی‌داشته باشیم).

۲. همان‌گونه که بیان شد، دستگاه (نردبان زاویهٔ متغیر تمرین مقاومتی) برای موش‌های آزمایشگاهی مایس ساخته شده بود؛ اما در خلال تمرین مشخص شد که می‌توان از این دستگاه برای موش‌های با جثهٔ بزرگ‌تر نظیر موش صحرایی نیز استفاده کرد. این موضوع به‌صورت خاص روی یک نمونهٔ موش صحرایی تست گردید و مشاهده شد که دستگاه از نظر اندازهٔ کانال‌ها برای این‌گروه از خانوادهٔ موش‌ها جواب‌گو می‌باشد؛ ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی با استفاده از این دستگاه، پژوهشی مشابه با پژوهش حاضر در ارتباط با خانوادهٔ موش صحرایی انجام گیرد.

۳. از نکات برجستهٔ دستگاه ساخته‌شده، بخش نرم‌افزاری آن است که به‌دلیل ایجاد امکان رصد لحظه‌به‌لحظهٔ حرکات آزمودنی‌ها، قابلیت تفکیک فعالیت ورزشی هریک را ایجاد نموده است. باید عنوان نمود که ویژه‌سازی این نرم‌افزار برای انواع دیگری از لوازم ورزشی آزمایشگاهی نظیر تردمیل موش‌ها نیز قابل‌انجام می‌باشد.

پیام مقاله: در اغلب پژوهشهایی که اثر تمرینات ورزشی انجام شده روی آزمودنی ها بر روی فاکتور خاصی بررسی می شود، محققین با تعریف یک پروتکل مشخص تمرینی، آزمودنی ها را تمرین داده و با رعایت و دقت در ایجاد شرایط یکسان محیطی در زمان تمرین، فرض را بر این می گذارند که همه آزمودنی ها یکسان تمرین کرده و بر این اساس ، میانگین نتایج حاصل از پژوهش خود را به عنوان نتیجه طرح قلمداد می نمایند لیکن این تحقیق به صورتی مستند نشان داد که برخلاف این تصور، میزان فعالیت ورزشی هریک از آزمودنی‌ها با سایرین متفاوت بوده و اگرچه امکان تعریف یک میانگین فعالیت ورزشی برای کل آزمودنی‌ها به‌صورت عمومی وجود دارد؛ اما نکتهٔ قابل‌توجه آن است که برخی از آزمودنی‌ها انحرافات قابل‌توجهی از میانگین ورزش به‌دست‌آمده 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 می نماید.

منابع

Resource Book for the Design of Animal Exercise Protocols..

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: ....

. . ..
... .
. . ..
. ...
....

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

A. Farzaneh[1], M.R. Asad[2], S.M. Marandi[3]

Received: 2016/06/01 Accepted: 2016/09/24

Abstract

Keywords: