



پایانه‌های عصبی و رهائش این پیتاید دارند.  
 اخیراً گزارش شد که یک برنامه ۱۶ هفته‌ای استقامتی به شکل دویدن روی تردمیل موجب افزایش معنادار در مقدار  $\text{Ca}^{2+}$  جسم سلولی و آکسونی موش‌های سفید می‌شود. این افزایش در اندازه‌گیری‌ای که یک هفته پس از آخرین جلسه تمرین انجام شد آشکار گردید [۱]. هدف خاص این تحقیق، تعیین محتوای  $\text{Ca}^{2+}$  بیوندگاه عصبی-عضلانی عضلات تندانقباض (پلانتریس) و کندانقباض (نعلی) موش سفید بود. علاوه بر این، تغییرات اندازه محل اتصال عصبی-عضلانی و ارتباط احتمالی آن با تغییرات مقدار  $\text{Ca}^{2+}$  نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها  
 برنامۀ تمرین حیوانات: موش‌های ماده اسلایپرک-داوین  $\text{C57BL/6J}$  با وزن ۲۰۰ تا ۲۵۰ گرم به دو گروه تمرین و کنترل (۵ موش برای هر گروه) تقسیم شدند. گروه تمرین، هر روز در ساعت مشابه بر روی یک نوارگردان  $\text{MTEC}$  می‌دوید. شدت تمرین در خلال ۴ هفته اول تمرین به تدریج اضافه شد و به ۳۰ متر در دقیقه رسید. شیب دستگاه ۵ درصد، مدت هر جلسه تمرین ۱۲۰ دقیقه، ۵ روز در هفته و به مدت ۱۶ هفته انجام شد. موش‌ها به وسیله صدا یا پمپ باد به دویدن تشویق می‌شدند و اغلب موش‌ها قادر بودند در طول مدت هر جلسه به صورت مستمر بدوند. در موارد معدود اگر حیوان قادر به ادامه تمرین نبود از برنامه کنار گذاشته می‌شد.

آماده‌سازی یافت و برش آن: یک هفته پس از آخرین جلسه تمرین، حیوان‌ها بیهوش می‌شدند (۴۰ میلی‌گرم/کیلوگرم سدیم پنتوباریتال،  $\text{Ca}^{2+}$ ) و سپس پرفیوژن آن از طریق قلب انجام می‌گرفت (یک حیوان از گروه تمرین و یک حیوان از گروه کنترل). پرفیوژن با استفاده از مواد زیر انجام می‌شد:  
 سالین (۷۵-۱۰۰ میلی‌لیتر، حرارت اتاق)، پارافرم آلدئید ۳ درصد که دارای ۰/۲ درصد اسید پیکریک (۳۵۰ میلی‌لیتر،  $16^\circ\text{C}$ ) بود و ساکروز ده درصد (صد میلی‌لیتر، خنک شده توسط یخ) که همگی در بافر فسفات ۰/۱ (۴/۷  $\text{pH}$ ) بودند. میزان پرفیوژن توسط پمپ ۱۵ میلی‌لیتر در دقیقه

[۲-۸] و اختصاصات عملکردی آن [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳] می‌شود. به طور کلی باید گفت که نروپیتایدها در فرآیند پیچیده سازگاری واحدهای حرکتی، به‌ویژه در تغییرات بیوندگاه عصبی-عضلانی دارای نقش مهمی هستند. شواهدی وجود دارد مبنی بر این‌که برخی از نروتروفین‌ها و پلی‌پپتیدهایی که تمایز سلولی و بقای نرون‌های مهره‌داران را کنترل می‌کنند خودشان از فعالیت متأثر می‌شوند [۱۴]. در حقیقت نشان داده شده که تمرین، چند عامل کلیدی سیستم مولکولی را که ممکن است در سازگاری واحدهای حرکتی نقش داشته باشند متأثر می‌سازد. مثلاً نپر  $\text{Nepr}$  و همکاران او (۱۹۹۵) نشان دادند که فعالیت بدنی، مقدار تظاهر عامل نروتروفیکی  $\text{Nepr}$  را در مغز موش سفید افزایش داد، به نحوی که مقدار افزایش با مقدار فعالیت ارادی روزانه موش‌ها (دویدن روی نوارگردان) همبستگی آشکار داشت. همچنین مشخص شده که تولید نروتروفین  $\text{Nepr}$  در عضلات اسکلتی موش سفید «وابسته به فعالیت» است و به علاوه این عامل احتمالاً به عنوان یک پیام‌آور نروتروفیکی در رشد و تجدید ساختار نرون‌های حرکتی بالغ ایفای نقش می‌کند [۱۴].

پروتئین  $\text{Ca}^{2+}$ ، با ۲۷ آمینو اسید، که یکی از محصولات ژن کلسیتونین است در سیستم اعصاب مرکزی گونه‌های مختلف یافت شده [۱۵] که این گونه‌ها، شامل انسان [۱۵ و ۱۶] نیز می‌شود. این نروپیتاید در محل اتصال عصب و عضله از پایانه‌های عصبی با یک فرایند وابسته به یون کلسیم ترشح [۱۷] و به گیرنده‌ها متصل می‌شود [۱۸] و عملکردهای مختلفی برای آن مفروض است که شامل تنظیم ساخت گیرنده‌های استیل‌کولین [۱۹ و ۲۰] تعدیل عملکرد گیرنده‌های استیل‌کولینی [۲۱ و ۲۲]، افزایش رهائشی استیل‌کولین [۲۳] و تنظیم کولین استراز نوع  $\text{AChE}$  در بیوندگاه عصبی-عضلانی می‌شود [۲۴]. اگرچه نتایج تحقیقات قبلی [۲۵، ۲۶ و ۲۷] حاکی از آن است که  $\text{Ca}^{2+}$  نسبت به فعالیت‌های عصبی-عضلانی کوتاه مدت حساسیت نشان می‌دهد، ولی این نتایج ابهام‌آمیز بوده است. در حال حاضر، این موضوع روشن نیست که تغییرات بلندمدت وابسته به فعالیت که در محل اتصال عصب و عضله اتفاق می‌افتند چه ارتباط احتمالی با تغییرات مربوط به محتوای  $\text{Ca}^{2+}$

است و هیچ واکنشی نسبت به کلسیتونین موش سفید نشان نمی دهد  
 $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$   
برای کنترل واکنش و رنگی شدن ناخواسته به هنگام برش قطعات، قطعات اول تا چهارم به عنوان قطعات آزمایشی و قطعه پنجم به عنوان قطعه کنترل  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤}$  مورد استفاده قرار می گرفت. با قطعه کنترل نیز عیناً شبیه قطعات آزمایشی رفتار می شد جز این که آنتیبادی اول از محیط حذف می شد. پس از چهار نوبت شستن (هر نوبت یک ساعت و با استفاده از  $\text{①} \text{②}$ ) قطعات، آنها با آنتیبادی دوم  $\text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{⑪} \text{⑫} \text{⑬} \text{⑭} \text{⑮} \text{⑯} \text{⑰} \text{⑱} \text{⑲} \text{⑳}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  و به مدت ۴۵ دقیقه آنکوبه می گردیدند. سپس قطعات شسته می شدند (یک ساعت با  $\text{①} \text{②}$ ) و به مدت ۴۵ دقیقه در محلول استریل آبیدین - پراکسیداز  $\text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  که غلظت ۱:۱۰۰۰ در  $\text{①} \text{②}$  داشت قرار می گرفتند. در مرحله بعد، قطعات باز هم شسته می شدند (یک ساعت در  $\text{③} \text{④}$ ) و به مدت ۵ دقیقه در یک محلول که حاوی پراکسید هیدروژن (۱/۰ درصد) و دی آمینوبنزدین (۵/۰ درصد) بود قرار می گرفتند تا رنگی بشوند. پس از چهار نوبت شستشو (هر نوبت ۱۵ دقیقه در  $\text{⑤} \text{⑥}$ ) قطعات توسط هوا خشک می شدند، به وسیله الکل (با غلظت های ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد، هر کدام ۵ دقیقه) آب گیری  $\text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  و به وسیله هیستوکالر (۵ دقیقه) تمییز می شدند  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$ . سرانجام قطعات با پرمانت بر روی اسلاید سوار می شدند و تا مرحله تجزیه و تحلیل در تاریکی نگهداری می شدند.

ارزیابی بیونداگاه عصب و عضله در قطعات از نظر رنگی شدن شبه  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و اندازه آنها: بدین منظور از روش نیمه کمی و با استفاده از سیستم تجزیه و تحلیل تصویری بهره گیری شد. تجزیه و تحلیل تصویری قطعات شماره گذاری شده با استفاده از میکروسکوپی  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  مجهز به دوربین

بود و کل فرایند پرفیوژن ۸۰ دقیقه طول می کشید. بعد از پرفیوژن، عضلات پلانتریس  $\text{①} \text{②}$  و  $\text{③} \text{④}$  نعلی  $\text{⑤} \text{⑥}$  به سرعت جدا شده، در ایزوینتان که در داخل محلول نیتروژن قرار داشت منجمد می شدند و تا زمان استفاده در  $\text{⑦} \text{⑧}$  -۸۰° نگهداری می گردیدند. سپس ۲۱۰ عدد قطعات طولی (۱۶ میکرومتری) به وسیله دستگاه برش بافتی  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  تهیه شدند.

شناسایی صفحه های محرکه انتهایی: قطعات عضلانی بر روی اسلایدهایی که قبلاً با ژلاتین کروم - آلوم پوش داده شده بودند قرار می گرفتند و برای شناسایی صفحه محرکه انتهایی و یافتن  $\text{①} \text{②}$  در محل اتصال عصب و عضله به کار گرفته می شدند.

برای هر عضله ۶۰ قطعه مورد استفاده قرار گرفت. تمام مراحل شستن و آنکوبه کردن قطعات در یک محفظه مرطوب با حرارت ۱۶-۱۹ درجه سانتی گراد اتفاق افتاد که این محفظه به آرامی حرکت داده می شد. قطعه های خارج شده از فریزر ۸۰- درجه سانتی گراد ابتدا به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری می شدند و سپس در محلول سالیین  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  و  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  به مدت یک ساعت شسته می شدند. آنگاه یک ساعت دیگر هم در همان محلول فوق که شامل ۵ درصد سرم بز بود شستشو داده می شدند. در مرحله بعد، قطعات به مدت دو ساعت با آلفا بونگارتوکسین نشان داده  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  و  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  آنکوبه می شدند تا امکان شناسایی صفحات محرکه انتهایی فراهم شود.


ایمونوهیستوشیمی: قطعات به مدت ۱۸ ساعت با  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  و  $\text{①} \text{②} \text{③} \text{④} \text{⑤} \text{⑥} \text{⑦} \text{⑧} \text{⑨} \text{⑩}$  و  $\text{㉑} \text{㉒} \text{㉓} \text{㉔} \text{㉕} \text{㉖} \text{㉗} \text{㉘} \text{㉙} \text{㉚} \text{㉛} \text{㉜} \text{㉝} \text{㉞} \text{㉟} \text{㊱} \text{㊲} \text{㊳} \text{㊴} \text{㊵} \text{㊶} \text{㊷} \text{㊸} \text{㊹} \text{㊺}$  آنکوبه می شدند. نیمرخ واکنش این آنتیبادی با  $\text{①} \text{②}$  موش سفید ۱۰۰ درصد و با  $\text{③} \text{④}$  موش سفید ۷۸/۶ درصد

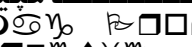
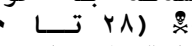
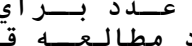
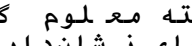

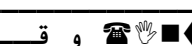
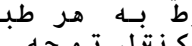
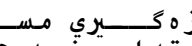
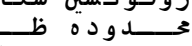

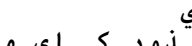
میانگین ± انحراف استاندارد ارائه شده اند.


#### نتایج

نشان‌دار شدن: صفحات محرکه انتهایی که توسط آلفا بونگارو توکسیون نشان‌دار شده بودند در اکثر قطعات عضلانی به‌سهولت قابل شناسایی بودند. شدت نشان‌دار شدن در قطعات مختلف تفاوت می‌کرد و به نظر می‌رسید که این تفاوت، مستقل از نوع عضله (نعلی در مقابل پلانناریس) و مستقل از گروه حیوانات (تمرین‌کرده در مقابل کنترل) باشد. در برخی از قطعات عضلانی، میزانی از نشان‌دار شدن ناخواسته به چشم می‌خورد که به آسانی از صفحات محرک انتهایی نشان‌دار قابل تمایز نبود. نشان‌دار شدن ناخواسته غالباً در اطراف تارهای عضلانی دیده می‌شد یا به صورت یک لکه از فلورسنت ظاهر می‌گشت و به هر حال به‌سادگی تحت کنترل بود.


الگوی  در محل‌های اتصال عصب و عضله: پیوندگاه‌های عصب و عضله در هر دو گروه حیوان تمرین‌کرده و کنترل با آنتی‌بادی ضد  نشان‌دار شدند. در این پیوندگاه‌ها، تنوعی از شدت رنگی شدن مشاهده می‌شد که در قطعات کنترل  حداقل رنگی شدن به چشم می‌خورد. این اختلاف در شدت رنگی شدن به عنوان بازتابی از اختلاف در مقدار  موجود در بافت قلمداد می‌شد. الگوی رنگی شدن با آنتی‌بادی  در پیوندگاه‌های دارای  یکنواخت نبود که این امر، مستقل از نوع عضله (نعلی در مقابل پلانناریس) و مستقل از گروه حیوان‌ها (تمرین‌کرده در مقابل کنترل) بود. در برخی از موارد  به‌طور یکنواخت در سرتاسر ناحیه پیوندگاه  وجود داشت، در حالی که در سایر موارد  به‌صورت نقطه به نقطه پدیدار می‌شد. تفاوت در شدت رنگی شدن در پیوندگاه‌های کنترل  و آزمایشی به وضوح آشکار بود و تنها در برخی موارد تعیین درجه مناسب برای رنگی از پیوندگاه‌ها که شدت رنگی شدن آن‌ها نزدیک به هم بود دشوار به نظر می‌رسید (مثلاً قرار گرفتن در طبقه منفی یا ضعیف). چهار مورد از این پیوندگاه‌ها وجود داشت (۵۹/۰ درصد از کل پیوندگاه‌های مورد مطالعه) که از تجزیه و تحلیل حذف شدند.

ویدیویی  از تمام شد. ارزیابی شدت رنگی شدن و اندازه‌گیری مساحت پیوندگاه‌های عصی-عضلانی به وسیله یک نرم‌افزار کامپیوتری

 که قادر به تجزیه و تحلیل تصاویر دیجیتال بود صورت می‌گرفت. قطعات به‌خوبی کدگذاری شده بودند که در جریان تجزیه و تحلیل، نوع عضله یا گروه حیوانی آن برای فرد تجزیه و تحلیل‌کننده معلوم نبود. قطعات به ترتیب بررسی می‌شدند به‌خوبی که تعداد مطلوب  (۲۸ تا ۴۰ در هر عضله ، ۲۸ تا ۴۵ در هر عضله ، کلاً ۳۳۰ عدد برای کل عضلات  و ۲۴۶ عدد برای کل عضلات ) مورد مطالعه قرار بگیرند. همواره ابتدا قطعات کنترل ارزیابی می‌شدند تا احتمال وجود رنگی شدن ناخواسته معلوم گردد. ابتدا پیوندگاه‌های نشان‌دار شده توسط فلورسنت شناسایی می‌شدند و در مرحله بعد بر اساس مقدار و شدت رنگی شدن برای  در یکی از چهار طبقه منفی  ضعیف ، متوسط  و قوی  قرار می‌گرفتند. در خلال جریان ارزیابی به‌طور مستمر به نمونه‌های مربوط به هر طبقه و به پیوندگاه‌های کنترل توجه می‌شد تا طبقه‌بندی از ثبات و روایی کافی برخوردار باشد.

برای اندازه‌گیری مساحت پیوندگاه‌ها، ابتدا صفحه محرکه انتهایی بر اساس نشان‌دار شدن آن توسط آلفا-بونگارو توکسون شناسایی می‌شد. سپس محدوده ظاهری پیوندگاه‌ها با استفاده از موشواره کامپیوتر روی یک صفحه ویدیویی ردیابی می‌شد .

#### تجزیه و تحلیل آماری

آزمون آماری مجذور کای مورد استفاده قرار گرفت تا تفاوت میان فراوانی‌های طبقات مختلف در عضلات دو گروه حیوان تمرین و کنترل معلوم شود. سپس در موارد ضروری از آزمون «تی» برای مطالعه نسبت‌ها استفاده شد. برای بررسی اثر تمرین بر اندازه پیوندگاه‌ها، از آزمون آماری آنوا  سه طرفه (نوع عضله، گروه حیوان‌ها، طبقات) استفاده شد. داده‌ها به صورت

شدت عضلانی در پیوندگاه‌ها عصبی-عضلانی: در تعداد ۲۱۰ قطعه عضلانی که مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۱) تعداد ۶۷۶ صفحه محرک انتهایی نشان‌دار شده با فلورسنت بررسی شدند که به عضله نعلی و عضله پلانتریسی از ۵ حیوان گروه کنترل و ۵ حیوان گروه تمرین تعلق داشتند. توزیع این صفحات محرک انتهایی در جدول ۲ ارائه شده است. به طور کلی، چنانچه تعداد و در صد های طبقات در جدول ۲ نشان می‌دهد، در هر دو نوع عضله، از هر دو گروه حیوانات، اکثر صفحات محرک انتهایی فاقد  $\text{P}^{\text{H}}$  بودند. در هر دو عضله، شدت رنگی شدن (مقدار  $\text{P}^{\text{H}}$ ) در گروه تمرین‌کرده نسبت به حیوانات گروه کنترل کاهش داشت. در عضلات گروه تمرین‌کرده، پیوندگاه های عصبی-عضلانی دارای  $\text{P}^{\text{H}}$  در عضله نعلی و پلانتریسی به ترتیب ۱۶/۲ درصد و ۹/۳ درصد کمتر از عضلات مشابه در گروه کنترل بود (نمودار ۱). روش آماری جذور کای برای آزمون فرض معنادار بودن اختلاف میان دو گروه حیوان، از نظر طبقات شدت رنگی شدن مورد استفاده قرار گرفت. هنگامی که دو گروه عضلات پلانتریسی با هم مقایسه شدند هیچ تفاوت معناداری مشاهده نشد (نمودار ۲). این مقایسه در دو حالت ۴ طبقه‌ای (منفی، ضعیف، متوسط، قوی) و دو طبقه‌ای (منفی، مثبت) انجام شد. در خصوص عضله نعلی

دو گروه حیوان (نمودار ۱ و ۲)، تفاوت‌ها معنادار بودند که این امر، هم در حالت ۴ طبقه‌ای (۰/۱) و هم در حالت دو طبقه‌ای (۰/۱) مشاهده شد. برای تعیین گروه‌های پیوندگاه  $\text{P}^{\text{H}}$  که از یکدیگر متفاوت بودند نسبت‌های هر طبقه برای عضلات نعلی در هر دو گروه حیوان با استفاده از آزمون مقایسه شدند. نتایج حاکی از آن بود که بین نسبت‌های طبقات مثبت (۰/۱)، (منفی) (۰/۵)، متوسط (۰/۱) و شدید (۰/۵) از  $\text{P}^{\text{H}}$  های دو گروه حیوان تفاوت معنادار هست که بیانگر کم‌تر بودن تعداد پیوندگاه های عصبی-عضلانی دارای  $\text{P}^{\text{H}}$  در عضلات نعلی ورزیده بود. در هر دو گروه حیوان، اغلب پیوندگاه‌ها به صورت ضعیف رنگی شده بودند (جدول ۲). گام آخر از تجزیه و تحلیل داده‌ها برای عضله پلانتریسی برداشته نشد زیرا چنان‌که ذکر شد روش آماری جذور کای، تفاوت معناداری را میان عضلات پلانتریسی ورزیده و کنترل ظاهر نداشت.

جدول ۱. توزیع قطعات عضلانی که برای شناسایی و ارزیابی تعداد پیوندگاه‌های عصبی - عضلانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند

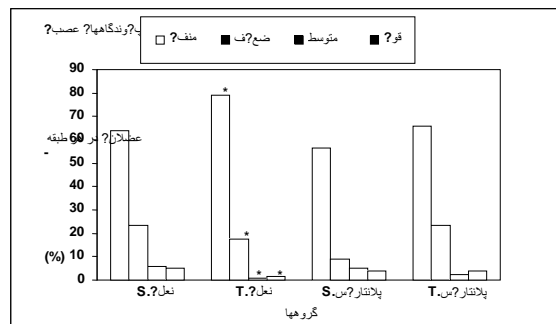
عضلات نمونه‌ها	نعلی (کنترل)		نعلی (تمرین کرده)		پلانتریسی (کنترل)		پلانتریسی (تمرین کرده)		جمع
	کنترل	آزمایشی	کنترل	آزمایشی	کنترل	آزمایشی	کنترل	آزمایشی	
۱	۱۱	۲	۱۵	۲	۱۳	۲	۱۰	۱	۴۹
۲	۱۰	۲	۵	۲	۱۰	۲	۷	۱	۳۲
۳	۱۰	۲	۵	۱	۱۱	۲	۶	۲	۳۲
۴	۷	۳	۸	۱	۷	۱	۴	۲	۲۶
۵	۱۲	۱	۶	۲	۱۰	۲	۸	۱	۳۶
جمع	۵۰	۲	۳۹	۱	۵۱	۱	۳۵	۲	۱۷۵
جمع	۶۰	۱۰	۴۷	۸	۶۰	۹	۴۳	۸	۲۱۰

جدول ۲ تعداد پیوندگاه‌های عصبي - عضلاني در هر طبقه براي عضلات نعلي و پلانتریس از گروه‌های کنترل و تمرین

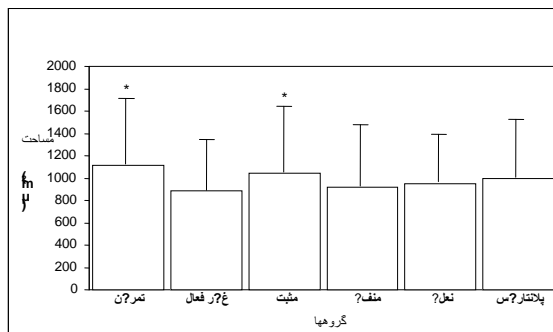
جمع	کنترل	قوي	متوسط	ضعيف	منفي	نعلي (کنترل)
۱۶۵	۳۹	۷	۹	۳۰	۸۰	نعلي (تمرین کرده)
۱۶۵	۳۲	۲	۱	۲۴	۱۰۶	پلانتریس (کنترل)
۱۷۳	۴۴	۶	۹	۳۹	۷۵	پلانتریس (تمرین کرده)
۱۷۳	۳۸	۷	۳	۳۴	۹۱	

استفاده از آزمون مقایسه شدند و نتایج حاکی از وجود اختلاف معنادار (۰/۰۵) میان دو عضله بود؛ به این معنا که مقدار واکنش ایمنی نسبت به در پیوندگاه‌های عصبي- عضلاني عضله نعلي، نسبت به عضله پلانتریس کمتر بود.

بررسی ارتباط میان اندازه پیوندگاه‌های عصبي- عضلاني و مقدار واکنش آن‌ها: آزمون آنوا سه طرفه (نوع عضله، گروه‌های دوگانه، طبقات) نشان داد که اندازه پیوندگاه‌ها در عضلات گروه تمرین و کنترل تفاوت دارند. اولاً قطع نظر از نوع عضله، پیوندگاه‌های عصبي- عضلاني در عضلات گروه تمرین ۲۶/۳ درصد بزرگتر از پیوندگاه‌های عضلات گروه کنترل بود (نمودار ۳، ۰/۰۱). همچنین چنانچه پیوندگاه‌ها را بر اساس طبقه‌بندی آن‌ها به مثبت و منفي در نظر بگیریم، اندازه آن‌ها متفاوت بود (۰/۰۳)، به طوری که پیوندگاه‌های عصبي- عضلاني مثبت که حاوی واکنش بودند به میزان ۱۲/۶ درصد بزرگتر از پیوندگاه‌های منفي بودند (نمودار ۳). ثانیاً، پیوندگاه‌های عصبي- عضلاني مثبت از عضله پلانتریس به طور معنادار (۰/۰۱) بزرگتر از پیوندگاه‌های منفي از همین نوع عضله بودند؛ حال آن‌که اندازه پیوندگاه‌های مثبت و منفي در عضله نعلي تفاوتی نداشت. همچنین اگر چه اندازه پیوندگاه‌های عضله پلانتریس تا حدودی (۳/۸ درصد) بزرگتر از پیوندگاه‌های عضله نعلي بودند، ولی این تفاوت معنادار نبود (نمودار ۳).



نمودار ۱ پیوندگاه‌های عصبي- عضلاني موش‌های گروه تمرین و غیرفعال



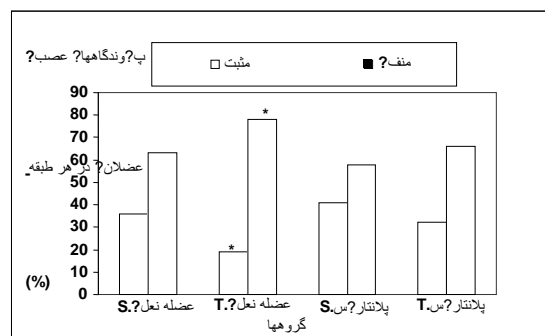
نمودار ۲ اندازه محدوده ظاهری پیوندگاه‌های عصبي- عضلاني در گروه‌های مختلف

همچنین براي مطالعه تفاوت احتمالي میان عضلات نعلي و پلانتریس گروه کنترل و عضلات نعلي و پلانتریس گروه تمرین از نظر تعداد پیوندگاه واکنش قرار گرفته در طبقات مختلف رنگی‌شدن، از روش آماری جذور کاي استفاده شد. مقایسه دو نوع عضله در حیوانات گروه کنترل، تفاوت معناداری را نشان نداد، در حالی که همین مقایسه در حیوانات گروه تجربی، حاکی از وجود اختلاف معنادار (۰/۰۵) میان دو نوع عضله بود. علاوه بر این، پیوندگاه‌های عصبي و عضلاني در عضلات نعلي و پلانتریس از گروه تمرین‌کرده، بر اساس حالت دو طبقه‌ای (مثبت و منفي) و با

دارد یا خیر، در سوابق تحقیقاتی مربوط به موضوع با ابهام همراه است. در حالی که برخی تحقیقات بیان می‌دارند که  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  در عضلات اسکلتی موش سفید یافت نمی‌شود [۲۶، ۳۰، ۳۱ و ۳۲] اکثر دیگر محققین معتقدند که حداقل مقدار قابل توجهی از پیوندگاه های عصبی-عضلانی واکنش ایمنی نسبت به نروپیتاید  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  را ظاهر نمی‌سازد [۲۵]. نتایج تحقیق حاضر با سوابق تحقیقاتی مربوط سازگاری دارد، زیرا در این بررسی نیز اکثر پایانه های عضله کندانقباض نعلی و عضله تندانقباض پلانناریس در موش های سفید بالغ ماده کنترل فاقد  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  بودند یا دارای مقدار اندکی از این پیتاید بودند؛ در حالی که تعداد کمی از آن‌ها، مقادیری از  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  را ظاهر ساختند.

پیشنهادهایی وجود دارد، مبنی بر این‌که تظاهر  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  در محل اتصال عصب و عضله به نوع واحد حرکتی مربوط می‌شود؛ به طوری که پیوندگاه های عضلانی که فعالیت کم‌تر دارند (نظیر آنچه در تارهای عضلانی  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  وجود دارند) تظاهر بیش تری نسبت به پیوندگاه های مربوط به عضلات فعال‌تر (نظیر نعلی) نشان می‌دهند [۲۵]. به هر حال، نتایج ابهام آمیز هستند و چنین به نظر می‌رسد که نوع تار عضله، تنها عامل تعیین کننده مقدار  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  در پیوندگاه های عصبی-عضلانی نیست [۲۵ و ۳۳]. نتایج تحقیق حاضر به طور کلی حاکی از آن است که نوع تار عضلانی و فعالیت استقامتی بلندمدت عوامل تعیین کننده واکنش ایمنی پیوندگاه های عصبی-عضلانی نسبت به نروپیتاید  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  نیستند و اولاً بین دو عضله نعلی و پلانناریس که از نظر میزان فعالیت حرکتی متفاوتند تفاوتی مشاهده نشد و ثانیاً افزایش مقدار فعالیت حرکتی، به شکل برنامه روزانه دویدن استقامتی، نتوانست تغییرات قابل توجهی را در نیم رخ رنگی شدن پیوندگاه های عصبی-عضلانی این دو عضله ایجاد کند (تغییرات اندک، ولی معنادار در عضله نعلی و عدم تغییر در پلانناریس مشاهده شد).

تأثیر تمرینات استقامتی بر مقدار  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  در محل اتصال عصب و عضله افزایش اندازه محل اتصال عصب و عضله در پی تمرینات استقامتی که در هر دو عضله مورد مطالعه مشاهده شد با نتایج تحقیقات قبلی [۳۴، ۳۵ و ۳۶] سازگار است و همین



مقدار ۳ پیوندگاه های عصبی-عضلانی عضله نعلی و پلانناریس از موش های گروه تمرین  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  و گروه غیرفعال  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$

بحث  
نتایج این تحقیق با استفاده از یک روش نیمه کمی برای اولین بار نشان داد که مقدار  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  در محل اتصال عصب و عضله موش سفید، در پی یک فعالیت استقامتی بلندمدت با تنظیم کاهشی  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  مواجه می‌شود. با توجه به این‌که نمونه های عضلانی، یک هفته پس از انجام آخرین جلسه تمرین دویدن تهیه شدند، تغییرات مقدار  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  را نمی‌توان به آثار حاد جلسه آخر نسبت داد. کاهش در مقدار نروپیتاید در عضله نعلی، بارزتر از عضله پلانناریس بود و در گروه کنترل، مقدار نروپیتاید مورد نظر در پیوندگاه های عصبی-عضلانی هر دو نوع عضله مشابه بود. به علاوه، معلوم شد که اندازه پیوندگاه ها به طور کلی در عضلات ورزیده، بزرگتر از عضلات گروه ساکن بود.

مقدار  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  در پیوندگاه های عصبی-عضلانی

نروپیتاید  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  در پایانه های عصب حرکتی در موش  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  توسط تکامی  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  و همکاران وی [۲۸] در موش سفید  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  توسط کسپلیک  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  و همکارانش [۲۹] یافت شده که این نروپیتاید غالباً به سطوح سیتوپلاسمی از ارگانل‌هایی نظیر میتوکندری نسبت داده شده است [۲۸]. چنین به نظر می‌رسد که  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  در پایانه های عصب حرکتی و در کیسه های خنک کننده  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  قرار دارد [۲۸ و ۲۹]. به هر صورت، این‌که آیا مقادیر قابل شناسایی از  $\text{☉} \text{☽} \text{♁}$  (با استفاده از روش‌های ایمنو هیستوشیمیایی) در پیوندگاه های عصبی-عضلانی وجود

توقف آخرین جلسه تمرین، قربانی شدند.

می‌توان چنین بیان کرد که در پی تمرین، مقدار رهایش نروپیتاید مورد نظر فزونی می‌یابد که این امر احتمالاً در ارتباط با وقوع سازگاری‌های عصی-عضلانی ناشی از تمرین است. کاهش مقدار رهایش در محل اتصال عصب و عضله در پی تمرین ممکن است منعکس‌کننده تغییرات و سازگاری ایجاد شده در سطح فعالیت طبیعی عضله نعلی و یا بیانگر تأثیرات به‌جامانده از تمرین یک هفته قبل باشد.

نظریه‌های ارائه شده [۲۴ و ۲۹] مبني بر این‌که رهایش رهایش در پایانه‌های عصی ممکن است اثر مهاری بر سنتز استیل‌کولین استراز رهایش داشته باشد. مبانی این نظریه بر دو مشاهده استوار شده است. اول این‌که یک یا دو روز تمرین طولانی به شکل دویدن روی تردمیل موجب دو اثر متضاد در عضله می‌شود (کاهش رهایش و افزایش رهایش) و جالب این‌که افزایش رهایش برون‌زاد (آگزونوس) مانع از افزایش مقدار رهایش می‌گردد [۲۴]. دیگر این‌که قطع‌کردن عصب در عضله نیز پیامدهای مشابهی دارد (کاهش مقدار رهایش و افزایش مقدار رهایش) که این مورد هم با حضور رهایش برون‌زاد مهار می‌شود [۲۴]. آنچه اشاره شد به دستکاری‌هایی باز می‌گشت که در مقابل تمرین به کار گرفته شده در تحقیق حاضر نسبتاً کوتاه مدت محسوب می‌شوند. با عنایت به این‌که قبلاً نشان داده شده که مدل تمرینی به‌کاررفته در تحقیق حاضر موجب افزایش مقدار رهایش در عضلات بازکننده اندام خلفی موش (که عضله پلانتریس نیز یکی از آن‌ها است) می‌شود، می‌توان توقع داشت که مقدار رهایش در محل اتصال عصب و عضله در این تحقیق باید به طور معنادار کاهش یابد. توجه به این نکته اهمیت دارد که ساختار و حتی عملکرد پیوندگاه به‌الگوهای شلیک موتونرون‌ها و به‌بیانی به ماهیت فعالیت حرکتی بستگی دارد؛ به نحوی که نوعی رقابت سیناپسی وابسته به فعالیت در محل اتصال عصب و عضله پستانداران مشاهده شده است [۴۰].

ممکن است رابطه بین رهایش و استیل‌کولین استراز رهایش بر یک مکانیسم کوتاه مدت استوار باشد، مکانیسمی که به وسیله آن، برخی از اختصاصات عملکردی سیستم عصی-عضلانی با ظرفیت تنظیم می‌شود. گفتنی است در موش‌هایی که به طور ارادی در قفس گردان تمرین‌کرده

امر نشان می‌دهد که برنامه تمرینی مورد استفاده در این تحقیق، مؤثر بوده است.

در واقع، همین برنامه تمرینی منجر به سازگاری‌هایی شده که شامل افزایش محتوای رهایش در جسم سلولی و در اکسون موتونرون‌هایی که عضلات اندام تحتانی موش سفید را عصی می‌کنند، از جمله عضله نعلی نیز می‌شود [۱]. علاوه بر این قبلاً نشان داده شده [۳۷] که در پی همین برنامه تمرینی، تعداد گیرنده‌های استیل‌کولین (که سنتز آن‌ها تحت تأثیر رهایش است) در عضلات اندام تحتانی موش سفید، از جمله عضله نعلی افزایش می‌یابد. در پرتو همین یافته‌ها و با توجه به نقش احتمالی رهایش در این واکنش‌های سازگاری شدید شاید توقع طبیعی آن باشد که مقدار رهایش در محل اتصال عصب و عضله نیز بالا برود؛ حال آن‌که در تحقیق حاضر و در پی اجرای برنامه تمرینی در پیوندگاه‌های عصی-عضلانی عضله نعلی، شاهد کاهش مقدار رهایش هستیم.

مقدار رهایش پایانه‌های عصی تا حدودی نشانگر مقدار فعالیت محل اتصال عصب و عضله در خلال دوره زمانی قبل از نمونه برداری از عضله است. به عنوان مثال، تحریک الکتریکی یا غلظت بالای پتاسیم، موجب رهایش وابسته به کلسیم رهایش از پایانه‌های عصی می‌شود، به طوری که در چند دقیقه، پایانه‌های عصی از این ماده تخلیه کامل می‌شوند [۱۲ و ۱۷]. از سوی دیگر، فلج کردن ترمینال موجب تجمع نروپیتاید رهایش می‌شود [۳۸]. در این خصوص آثار فعالیت قبلی می‌تواند برای چند روز باقی بماند. به عنوان مثال، مقدار رهایش در عضله گراسیلیس موش سفید، در پی تمرین یک روزه با شدت کم به صورت دویدن روی تردمیل تا حدودی کاهش یافت و در پی دو روز تمرین، کاهش بیشتری را نشان داد. این‌که تمرین روزانه تا چه حد بر مقدار رهایش ترمینال‌ها اثر گذاشت می‌تواند بر نتایج تحقیق حاضر مؤثر باشد، اما این تأثیر در حد اقل خواهد بود؛ زیرا حیوان‌ها یک هفته پس از اتمام آخرین جلسه تمرینی قربانی شدند. در واقع در تحقیق، قصد بر این بود که پیامدها و آثار تمرین حاد به حد اقل برسد. در تحقیق دیگری [۱] گزارش داده شده که همین برنامه تمرینی استقامتی موجب افزایش رهایش در جسم سلولی و همین طور افزایش در مقدار رهایش اکسون می‌شود. در آن تحقیق نیز حیوان‌ها یک هفته پس از







این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.

این آهنگ در مورد عشق و زندگی است که با کلمات ساده و روان بیان شده است. در این آهنگ به اهمیت عشق و زندگی اشاره شده است.



