

تأثیر شش هفته تمرین هوازی بر میزان درد نوروپاتی محیطی و بیان ژن‌های مسیر سیگنالی *NOTCH1* در شاخه خلفی نخاع موش‌های نر صحرایی دیابتی

سیروس حسینی عسکرابادی^۱، رحیم میرنصوری^{۲*}، مسعود رحمتی^۳

مقاله پژوهشی

مقدمه: درد نوروپاتیکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت زندگی افراد مبتلا به دیابت قندی است و ورزش‌های منظم احتمالاً در کاهش درد ناشی از دیابت می‌تواند نقش داشته باشد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی تأثیر شش هفته تمرین هوازی بر میزان درد نوروپاتی محیطی و بیان ژن‌های مسیر سیگنالی *NOTCH1* در شاخه خلفی نخاع موش‌های نر صحرایی دیابتی می‌باشد.

روش بررسی: ۴۰ سر موش نر ویستار ۸ هفته‌ای با وزن ۲۲۰-۲۵۰ گرم به روش تصادفی به ۴ گروه شامل گروه نوروپاتی دیابتی تمرین (۱۰سر)، گروه نوروپاتی دیابتی کنترل (۱۰سر)، گروه سالم تمرین (۱۰سر)، گروه سالم کنترل (۱۰سر) تقسیم و گروه‌های دیابتی دو هفته پس از القاء دیابت، پس از اطمینان یافتن از وقوع درد نوروپاتی با اجرای آزمون رفتاری درد، پروتکل تمرین هوازی به مدت ۶ هفته و هر هفته ۵ جلسه انجام دادند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS Inc., Chicago, IL; version 19 و از تحلیل واریانس یک‌طرفه با سطح معنی‌داری ($P < 0/05$) استفاده شد.

نتایج: پس از ۶ هفته تمرین هوازی، بیان ژن‌های *NOTCH1*، *HES1* و *il6* در بخش خلفی نخاع گروه نوروپاتی دیابتی تمرین به‌طور معنی‌داری نسبت به گروه نوروپاتی دیابتی کنترل کمتر بود ($p \leq 0/05$) میانگین وزن گروه نوروپاتی دیابتی نسبت به گروه نوروپاتی دیابتی کنترل بیشتر بود ($p = 0/001$) و تمرین کاهش معنی‌داری در سطوح گلوکز خون در گروه تمرین به‌همراه داشت ($p = 0/0037$). نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد که فعالیت هوازی بر روی موش‌های دچار نوروپاتی دیابتی بتواند بر کاهش حس درد و میزان فاکتورهای *NOTCH1*، *HES1* و *il6* تأثیرگذار باشد و تمرینات هوازی روش مناسبی برای پیشگیری، کنترل و درمان درد ناشی از دیابت باشند.

واژه‌های کلیدی: تمرین هوازی، درد نوروپاتی، *NOTCH1*، *il6*، *HES1*، دیابت

ارجاع: حسینی عسکرابادی سیروس، میرنصوری رحیم، رحمتی مسعود. تأثیر شش هفته تمرین هوازی بر میزان درد نوروپاتی محیطی و بیان ژن‌های مسیر سیگنالی *NOTCH1* در شاخه خلفی نخاع موش‌های نر صحرایی دیابتی. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد ۱۳۹۸؛ ۲۷ (۲): ۵۳-۱۲۳۸.

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

* (نویسنده مسئول): تلفن: ۰۹۱۶۶۶۳۸۷۳۸، پست الکترونیکی: dr_mirasuri@yahoo.com، کد پستی: ۶۸۱۴۶۶۷۱۵۵

دامنه درون سلولی (NICD) NOTCH1 intra cellular domain می‌شود. بنابراین NICD به‌داخل هسته، جایی که رونویسی را تنظیم می‌کند انتقال پیدا می‌کند و باعث بیان ژن (HES1) hairy and enhancer of split-1 می‌شود که بیان این پروتئین باعث تحریک تولید *il6* در این سلول‌ها می‌شود (۶،۷). فعال شدن پاسخ‌های ایمنی سیستم عصبی و به‌دنبال آن تولید سیتوکین‌ها و کموکین‌ها و سایر فاکتورهای پیش‌التهابی از جمله α -TNF، IL-1 β ، IL-6، می‌تواند فعالیت سیناپسی را به صورت پایدار تغییر داده و موجب ایجاد دردهای نوروپاتیکی شوند مطالعات اخیر نیز نشان می‌دهد که مسیر پیام‌رسانی *Notch1* برای توسعه درد نوروپاتیکی و التهاب بسیار مهم است (۸،۹). تیاناهو چن Tianaho Chen و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی مسیر سیگنالینگ *Notch1* و تاثیر آن بر نوروپاتی محیطی در موش‌های دیابتی پرداختند و مشاهده شد که مسیر سیگنالینگ *NOTCH1* تحت تاثیر گلوکز بالا در شاخه پشتی نخاع بیان می‌شوند و باعث ایجاد نوروپاتی درد می‌شوند (۱۰). چنچ یانگ CHenj Yang و همکاران در سال ۲۰۱۷ رمون بونجیو و همکاران Roman Bonjio et all ۲۰۱۲ با بلاک مسیر پیام‌رسانی *Notch1* در نخاع کاهش نوروپاتی درد را نشان دادند و کلینک ایکسی و همکاران Kelink Exi et all ۲۰۱۵ به بررسی الودینای مکانیکی در موش‌های دارای نوروپاتی درد به واسطه فعال کردن مسیر پیام‌رسانی *Notch1* پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فعال کردن مسیر پیام‌رسانی *Notch1* با القاء و ادامه الودینا در نوروپاتی درد همراه است (۷،۸،۹). چیاو فازیو و همکاران Chiaro Fazio et all ۲۰۱۶ زیجو جوا و همکاران Zijo Joa et all ۲۰۱۱ به بررسی ارتباط بین مسیر پیام‌رسانی *Notch1* و فاکتورهای التهابی پرداختند و مشاهده کردند بیان مسیر پیام‌رسانی *Notch1* باعث افزایش سیتوکین‌ها *IL6* و *TNFa* می‌شود و اگر چنانچه مسیر پیام‌رسانی *Notch1* بلاک شود باعث کاهش *HES1* و متعاقب آن کاهش سیتوکین‌ها *TNFa* و *IL6* می‌شود (۱۱،۱۲). هلجی یون و همکاران Helji Yon et all ۲۰۱۵ تاثیر تمرینات با شدت پایین را بر کاهش میانجی‌های التهابی در نخاع موش‌های

دیابت یک بیماری متابولیک مزمن است که به علت اختلال عملکرد ناشی از هیپرگلیسمی در ترشح انسولین و یا عمل آن مشخص می‌شود. داده‌های سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که شیوع دیابت در بزرگسالان ۸/۵ درصد است (۱). نوروپاتی محیطی یکی از علل عمده و تا حد زیاد درمان نشده است که باعث ایجاد درد و رنج در بیماران دیابتی و همچنین تحمیل هزینه‌های درمانی زیادی بر جوامع شده است، که شایع‌ترین دلیل ایجاد نوروپاتی، بیماری دیابت قندی است. بر اساس یک مطالعه جمعیت‌شناسی مشخص شده است که بیش از ۵۰ درصد از بیماران مبتلا به دیابت نوع ۱ و ۲ به نوروپاتی دیابت مبتلا می‌شوند (۲). بر اساس گزارشات تقریباً ۶۶ درصد از بیماران مبتلا به درد نوروپاتیکی در دوره درمان تسکین درد را تجربه نمی‌کنند و تا به حال هیچ روش درمانی از توسعه یا کنترل درد نوروپاتیکی پیشگیری نکرده است (۳). مطالعات نشان داده‌اند که وجود عوامل التهابی مانند *Tumor necrosis factor (TNF)* و *interleukin-6 (IL-6)* و همچنین پروتئین‌هایی مانند *delta jagged1* که در فرایندهای التهابی ناشی از دیابت دخالت دارند، در گردش خون سیستمی و بافت‌های عصبی نشان‌دهنده یک شرایط التهاب عصبی می‌باشد (۴). برآیند بیان بسیاری از ژن‌های دخیل در التهاب در نهایت منجر به تولید میانجی‌های پیش‌التهابی از قبیل کموکین‌ها و سایتوکاین‌های پیش‌التهابی می‌شود. در این شبکه، ژن‌های متعددی به‌عنوان ماشه *Trigeer* شروع مسیرهای پیام‌رسانی منتعی به التهاب دخیل‌اند، که هر کدام از آن‌ها نیز پروفایل ژنی خاص خود را دارا می‌باشند. یکی از مسیرهای پیام‌رسانی منتعی به التهاب *Notch1* است. مسیر پیام‌رسانی *Notch1* یک مسیر بسیار محافظت شده در تکامل است که اغلب تصمیمات سرنوشت سلولی در توسعه سیستم عصبی را تنظیم می‌کند و نقش مهمی در الاستیک سیناپسی در *Central Neuron* *Sistem central nervous system (CNS)* بزرگسالان دارد (۵). بیان و فعالیت مسیر پیام‌رسانی *NOTCH1* پس از آسیب عصبی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که منجر به انتشار

دیابتی کنترل (NDC)، گروه کنترل سالم تمرین (CHT)، گروه سالم کنترل (CH).

القاء دیابت

در پایان یک هفته پروتکل آشناسازی، رت‌ها به مدت ۱۲ ساعت از غذا محروم شدند و پس از آن به منظور القاء دیابت نوع یک با تزریق درون صفاقی ۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن با تزریق تک دوزی محلول استروپتوزوتوسین STZ (Sigma, St. Louis, MO) حل شده در بافر سیترات ۰/۰۵ M با pH: ۴/۵ انجام شد (۱۵،۱۶). به رت‌های غیر دیابتی نیز معادل حجمی بافر سیترات ۰/۰۵ M با pH: ۴/۵ به صورت درون صفاقی تزریق شد. ۴۸ ساعت پس از تزریق، با ایجاد یک جراحت کوچک توسط لانسیت بر روی ورید دم، یک قطره خون بر روی نوار گلوکومتری قرار داده می‌شود و نوار توسط دستگاه گلوکومتر (Glucotrend 2، شرکت روشه آلمان) اندازه‌گیری و رت‌ها صحرایی که قند خون آن‌ها بالاتر از ۳۰۰ mg/dl باشد، به عنوان دیابتی در نظر گرفته می‌شوند. برای اطمینان از عدم بازگشت قند خون در پایان برنامه تمرینی نیز قند خون رت‌ها اندازه‌گیری شد (۱۷). دو هفته پس از القاء دیابت، با اجرای آزمون‌های رفتاری درد و پس از اطمینان یافتن از وقوع درد نوروپاتی در گروه‌های دیابتی، پروتکل تمرین هوازی به مدت ۶ هفته انجام گرفت. تمام جلسات تمرین در پایان سیکل خواب حیوانات و بین ساعت ۱۶ تا ۱۸ عصر برگزار شد. هم‌چنین آزمایشات رفتاری نیز میان ساعت ۷ تا ۱۰ صبح به عمل آمد. به منظور بررسی اثرات طولانی مدت تمرین، ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، مجدداً آزمون رفتاری درد به اجرا شد.

آزمون رفتاری

دو هفته پس از القای دیابت (پیش از شروع پروتکل تمرین استقامتی) و ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی، آزمون رفتاری درد نوروپاتی (تیل فلیک) به عنوان شاخص وقوع شرایط پاتولوژیکی نوروپاتی حسی دیابت از تمامی گروه‌ها به عمل آمد (۱۳،۱۸،۲۲). به منظور اجتناب از عوامل مداخله‌گر نظیر اثرات ضد دردی القاء شده توسط استرس-Stress

دیابتی نوع ۱ مورد مطالعه قرار دادند و پیشنهاد کردند که تمرین ممکن است باعث ایجاد تغییراتی در نخاع شده و نوروپاتی درد را در موش‌های دیابتی کاهش دهد. که به موجب آن میزان میانجی‌های التهابی و درد کاهش پیدا می‌کند (۱۳). و هم‌چنین بالدوسی Balducci ۲۰۰۶ نشان داده است که ورزش اثر مثبت بر علائم دردناک تنظیم دیابت دارد. در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۱ و ۲ که علائم یا نشانه‌هایی از نوروپاتی دیابت داشتند، ورزش هوازی (پیاده‌روی سریع بر روی تردمیل) باعث کاهش درد نوروپاتی در مقایسه با بیماران دیابتی بی‌تحرك داشتند (۱۴) با این حال، عملکرد مسیر پیام‌رسانی *Notch1* در نوروپاتی ناشی از دیابت هنوز به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار نگرفته است، و تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده بیشتر از عوامل داروی برای کنترل این مسیر و کاهش آسیب‌های نرونی و عوارض ناشی از آن استفاده کرده‌اند بنابراین، سازوکارهای اثر تمرینات هوازی با شدت متوسط به عنوان یک مداخله درمانی غیردارویی و غیرتهاجمی به صورت عمقی و در سطح گیرنده و مولکول در التهاب ناشی از دیابت در سیستم عصبی به‌خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است. با توجه به اهمیت مسیر سیگنالی *Notch1* هدف تحقیق حاضر به بررسی اثر یک دوره تمرین هوازی بر عوامل مرتبط با مسیر سیگنالی *Notch1* و میانجی التهابی، در بخش حسی نخاع رت‌های با نوروپاتی درد دیابتی پرداخته می‌شود.

روش بررسی

تحقیق حاضر از نوع تجربی است که به صورت *in vivo* انجام شد تعداد ۴۰ سر رت نر نژاد ویستار در سن ۸ هفته‌گی با محدوده وزنی ۲۵۰-۲۲۰ گرم از مرکز تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز تهیه و در گروه‌های ۴ تایی در قفس‌های استاندارد پلی‌کربنات در شرایط دمایی 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد تحت سیکل ۱۲:۱۲ ساعت تاریکی روشنایی نگهداری شدند. بعد از گذشت یک هفته سازگاری با محیط آزمایشگاه، آشنا سازی با نورگردان و دستکاری، رت‌ها به‌طور تصادفی به ۴ گروه با تعداد مساوی ($n=10$) تقسیم شدند. گروه‌ها شامل: نوروپاتی دیابتی تمرین (NDT)، گروه نوروپاتی

دقیقه در هفته دوم، ۱۴ تا ۱۵ متر در دقیقه ۲۰ دقیقه در هفته سوم، ۱۴ تا ۱۵ متر در دقیقه برای ۳۰ دقیقه در هفته چهارم، به ۱۷-۱۸ متر در دقیقه ۳۰ دقیقه در هفته پنجم و ششم افزایش یافت. جهت رسیدن سازگاری‌های به دست آمده به حالت یکنواخت، تمامی متغیرهای تمرینی در هفته پایانی (هفته ششم) ثابت نگه داشته شد.

استخراج نمونه

در پایان شش هفته برنامه تمرینی، ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین، رت‌ها به وسیله تزریق درون صفاقی ترکیبی از کتامین Ketamine (۹۰ mg/kg) و زایلازین Xylazine (۱۰ mg/kg) بی‌هوش شدند. برای بررسی متغیرهای بیوشیمیایی، تحت شرایط استریل و با نظارت دکتری آناتومی انسانی، مطابق روش گلدرد Gelderd و چوپین Chopin سال ۱۹۷۷، سریعاً قطعه نخاعی که حاوی بخش خلفی نخاع از سطح L4 تا L6، که طبق روش مقاله، سگمنت‌های نخاعی مربوطه، در رت نر نژاد ویستار در ناحیه مهره های T13-L1 ستون فقرات است، ابتدا ناحیه مورد نظر مشخص گشت و با برش در پائین‌ترین بخش ممکن از ستون فقرات جدا شد (۲۱). سپس ستون فقرات با استفاده از کانال مرکزی به عنوان شاخص، به بخش قدامی و خلفی تفکیک و بخش خلفی نخاع در ناحیه مربوطه را به عنوان نمونه، در نیتروژن ۸۰- درجه سانتی‌گراد منجمد و نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایشات ملکولی در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

ریل تایم Real Time-PCR

برای بررسی بیان ژن‌های *HES1*، *NOTCH1* و *IL6*، از بافت نخاع در هر گروه به طور جداگانه با تکنیک Real Time PCR استفاده شد. ابتدا RNA کل از سلول‌های جمع‌آوری شده در هر گروه استخراج و با استفاده از آنزیم کپی‌برداری معکوس به cDNA تبدیل شد. cDNA حاصل جهت حذف DNA ژنومی با آنزیم DNase I تیمار شد. و به روش Real time PCR تکثیر گردید. از تکنیک RT-qPCR جهت تایید بیان ژن‌های *HES1*، *NOTCH1* و *IL6* به صورت کمی استفاده شد.

Induced Antinociception تست‌های رفتاری میان ساعت ۷ تا ۱۰ صبح انجام شد (۱۳).

آزمون تیل فلیک Tail-Flick Tail-Flick

برای اندازه‌گیری تغییر آستانه درد حرارتی (هایپرآلژزیای حرارتی Thermal Hyperalgesia) از آزمون تیل‌فلیک استفاده شد. این آزمون بر اساس روش دی‌آمور D,Amour و اسمیث Smith انجام گرفت (۱۹). در این آزمون، حیوان به صورت افقی در محفظه مخصوص نگهداری حیوان قرار گرفت، به طوری که دم آن آزاد بود. با استفاده از دستگاه تیل‌فلیک، مدل تی‌اف - ۵۰ ساخت شرکت برج صنعت ایران، تابش نور سوزان (در حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد) به یک سوم میانی دم حیوان اعمال شد. شدت نور دستگاه طوری تنظیم شد که زمان متوسط پاسخ‌دهی پایه بین ۳ تا ۴ ثانیه باشد و زمان ۱۰ ثانیه به عنوان زمان قطع تابش نور به ثلث میانی دم حیوان (Cut of time) در نظر گرفته شد. مدت زمان تاخیر (Tail-Flick latency) و یا فاصله زمانی شروع تابش حرارت تا حرکت دادن دم توسط حیوان، در سه مرحله و به فاصله ۵ دقیقه در گروه‌های مختلف بر حسب ثانیه اندازه‌گیری شد. و میانگین آن‌ها به عنوان زمان تأخیر ثبت شد.

پروتکل تمرین استقامتی

پس از اطمینان یافتن از حصول نوروپاتی حسی در رت‌ها که بر اساس مدت زمان نگاه داشتن دم در برابر نور مشخص می‌شود و رت‌های دیابتی تحمل کمتر و حس درد بیشتری در ابتدا دیابتی شدن داشتن نسبت به موش‌های غیردیابتی، پروتکل تمرین هوازی به مدت ۶ هفته انجام شد. در پژوهش حاضر پروتکل تمرین هوازی بر اساس مطالعه چانگ‌هوان Chang-Hun و همکاران (۲۰۱۱) اجرا شد؛ بدین صورت که گروه‌های ورزشی نوروپاتی دیابتی تمرین و سالم تمرین در معرض تمرین نوار گردان، ۵ جلسه در هفته و به مدت ۶ هفته قرار گرفتند (۲۰). تمام جلسات تمرینی در پایان سیکل خواب حیوانات و بین ساعت ۱۶ تا ۱۸ عصر برگزار و سرعت و مدت تمرین نوارگردان به تدریج افزایش یافته و از ۱۰ متر در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در هفته اول، ۱۰ متر در دقیقه برای ۲۰

تجزیه و تحلیل آماری

جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. برای بررسی معنادار بودن اختلاف بین گروه‌ها از تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شد و در صورت معناداری، جهت تعیین تفاوت بین میانگین‌های دو گروهی از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد و هم‌چنین از آزمون t مستقل برای مقایسه پیش‌آزمون و پس‌آزمون میزان درد، تغییرات وزن و گلوکز مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS Inc., Chicago, IL; version 19 انجام و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ ($p \leq 0.05$) در نظر گرفته شد.

ملاحظات اخلاقی

در پژوهش حاضر، کلیه اصول اخلاقی کار با حیوانات توسط کمیته اخلاق دانشگاه شهید چمران اهواز مورد بررسی و تایید قرار گرفته است (کد اخلاقی: IR.SSRC.REC.1397.017).

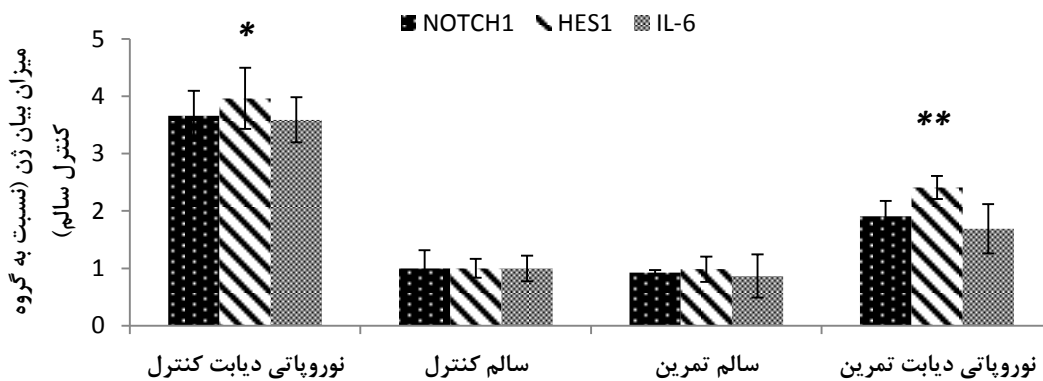
نتایج

نتایج آزمون ANOVA یک طرفه در جدول ۱ نشان داد که در ابتدای مطالعه تفاوت معنی‌داری بین وزن حیوانات در گروه‌های مختلف وجود نداشت ($p=0.96$)، اما در انتهای برنامه آموزشی تفاوت معنی‌داری بین وزن حیوانات در گروه‌های مختلف وجود داشت ($p \leq 0.05$). آزمون تعقیبی Post-hoc Bonferroni نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین وزن گروه کنترل سالم و کنترل نوروپاتی دیابتی و هم‌چنین بین گروه سالم تمرین و گروه دیابت نوروپاتی تمرین وجود دارد ($p \leq 0.05$). اما نتایج حاصل از آزمون t مستقل نشان داد که بین وزن حیوانات در گروه‌های مختلف قبل و بعد از شش هفته اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p \leq 0.05$). این نتایج نشان داد که وزن گروه کنترل سالم و گروه تمرین سالم نسبت به قبل از تمرین افزایش یافته است، اما در گروه دیابت نوروپاتی کنترل و گروه دیابت نوروپاتی تمرین کاهش یافته که این کاهش در گروه کنترل بیشتر بوده است نتایج نشان داد که دیابت باعث کاهش مشخص وزن در گروه‌های دیابتی به‌خصوص دیابت کنترل شد و تمرین هوازی توانست باعث ایجاد تغییراتی در

میزان کاهش وزن شود. به‌طوری که میزان کاهش وزن در گروه سالم تمرین نسبت به کنترل سالم کاهش بیشتری یافته ولی گروه دیابت تمرین نسبت به دیابت کنترل کاهش وزن کمتری داشته است. نتایج آزمون ANOVA یک‌طرفه در جدول ۱ نشان داد که در ابتدای مطالعه تفاوت معنی‌داری بین میزان گلوکز در گروه‌های مختلف وجود داشت ($p \leq 0.05$). نتایج آزمون تعقیبی Bonferroni نشان داد که بین میزان قند خون گروه کنترل سالم و کنترل نوروپاتی دیابتی و هم‌چنین بین گروه‌های تمرین سالم و گروه‌های تمرین نوروپاتی دیابتی تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p \leq 0.05$). نتایج آزمون t مستقل نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سطوح گلوکز قبل و بعد از تمرین در گروه کنترل سالم، تمرین سالم و گروه کنترل نوروپاتی دیابتی وجود نداشت ($p < 0.05$)؛ با این حال، بین مقادیر پیش‌آزمون و پس از آزمون گلوکز در گروه تمرین نوروپاتی دیابتی معنی‌داری وجود داشت ($p \leq 0.05$) نتایج نشان داد که دیابت باعث افزایش در سطوح گلوکز جریان خونی در گروه‌های دیابت می‌شود و تمرین هوازی توانست باعث ایجاد تغییراتی در سطوح این فاکتور در گروه تمرین دیابت شود. نتایج آزمون ANOVA یک طرفه در جدول ۱ نشان داد که در ابتدای مطالعه تفاوت معنی‌داری بین میزان سطوح درد در گروه‌های مختلف وجود داشت ($p \leq 0.05$). میانگین مدت زمان تاخیر (Tail-Flick Latency) در آزمون هایپرآلژزیای حرارتی تیل فلیک دو هفته پس از القای دیابت در گروه‌های نوروپاتی نسبت به گروه‌های سالم به‌طور معنی‌داری کمتر بود. هم‌چنین پس از ۶ هفته تمرین هوازی میانگین مدت زمان تاخیر در پس کشیدن دم در آزمون تیل‌فلیک در گروه نوروپاتی تمرین نسبت به گروه نوروپاتی کنترل به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. نتایج آزمون t مستقل نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میزان سطوح درد قبل و بعد از تمرین در گروه‌های سالم کنترل و سالم تمرین وجود ندارد اما بین گروه‌های کنترل دیابت و تمرین دیابت تفاوت معنی‌دار است نتایج نشان داد که دیابت باعث افزایش حس درد در گروه‌های دیابت می‌شود و تمرین هوازی توانست میزان درد را در گروه تمرین دیابت کاهش دهد.

جدول ۱: نتایج حاصل از t مستقل و آنوا یک طرفه برای مقایسه وزن (گرم)، گلوکز (میلی گرم/دسی لیتر) و میزان سطح درد در تست تیل فلیک (ثانیه) قبل و بعد از شش هفته تمرین

فاکتورهای اندازه گیری	گروه‌ها	زمان	میانگین ± انحراف استاندارد	Paired-Sample T Test	- One way ANOVA
وزن (گرم)	کنترل سالم	قبل از تمرین	۲۳۸±۸.۵۶	t=-۴۲.۱۴, *	F= ۱۲۴.۸۸۵, * P=۰/۰۰۱
		بعد از تمرین	۳۰۶.۶±۸.۳۱	p=۰.۰۱	
	تمرین سالم	قبل از تمرین	۲۳۸ ±۷.۱۴	t=-۶۹.۸۱, *	
		بعد از تمرین	۲۹۵ ±۹.۴۲	p=۰.۰۱	
	کنترل نوروپاتی	قبل از تمرین	۲۳۹.۵±۱۰.۳۹	t=۱۸.۲۰, *	
		بعد از تمرین	۱۹۲±۱۰.۳۲	p=۰.۰۱	
تمرین نوروپاتی	قبل از تمرین	۲۳۷.۵±۱۰.۰۶	t=۲۸۷, *		
	بعد از تمرین	۲۱۰±۲۹.۰۵	p=۰.۰۲		
گلوکز (میلی گرم / دسی لیتر)	کنترل سالم	قبل از تمرین	۱۱۸.۶±۶.۷۳	t=۱.۲۶,	F= ۱.۴۷۹, P=۰.۲۳۷
		بعد از تمرین	۱۲۱±۷.۷۷	p=۰.۲۱	
	تمرین سالم	قبل از تمرین	۱۱۸.۸±۵.۳۰	t=۱.۳۲,	
		بعد از تمرین	۱۱۶.۶±۵.۱۴	p=۰.۲۱۹	
	کنترل نوروپاتی	قبل از تمرین	۴۰۹±۵۱.۷۳	t=۰.۰۶,	
		بعد از تمرین	۴۰۷±۶۱.۸۳	p=۰.۹۴	
تمرین نوروپاتی	قبل از تمرین	۴۰۵.۵±۴۱.۳۹	t=۴.۱۷, *		
	بعد از تمرین	۳۶۶.۶±۳۸.۷۲	p=۰.۰۲		
سطح درد در تست تیل فلیک (ثانیه)	کنترل سالم	قبل از تمرین	۳.۳۳۶±۲.۰۲۹	t=۲.۱۰۳	F= ۱۸.۱۰۹ * P= ۰/۰۰۱
		بعد از تمرین	۳.۰۳۶۰±۳.۳۰۴۶	p=۰.۰۶۵	
	تمرین سالم	قبل از تمرین	۲.۸۹۵۰±۳.۳۲۶۱۱	t=-۲.۰۷۶	
		بعد از تمرین	۳.۲۱۰۰±۲.۸۱۱۵	p=۰.۰۶۸	
	کنترل نوروپاتی	قبل از تمرین	۱.۸۷۰۰±۳.۰۶۳۰	t=*۴.۱۶۸	
		بعد از تمرین	۱.۸۰۲۰±۳.۱۶۰۱	p=۰.۰۰۲	
تمرین نوروپاتی	قبل از تمرین	۱.۸۰۵۳±۲.۷۶۳۷	t=*۵.۹۳۱		
	بعد از تمرین	۲.۷۹۱۰±۴.۱۵۵۲	p=۰.۰۰۱		



میزان بیان ژن‌های *NOTCH1*، *HES1* و *IL-6* در بخش خلفی نخاع گروه‌های مختلف نسبت به گروه کنترل

* اختلاف معنی دار با گروه سالم کنترل (P<0.05). ** اختلاف معنی دار با گروه نوروپاتی دیابتی (P<0.05).

اما این تفاوت معنی‌دار نبود ($p=0/95$) هم‌چنین تفاوت میزان بیان ژن *HES1* در گروه سالم تمرین نسبت به سالم کنترل با کاهش همراه بود و این گروه کمترین میزان بیان ژن *HES1* نسبت به سایر گروه‌ها را نشان داد هرچند که به لحاظ آماری با تغییرات معناداری همراه نبود ($p=0/95$). و این حاکی از تأثیر تمرین هوازی بر کاهش بیان ژن *HES1* دارد. و هم‌چنین نتایج نشان دادند که بیان ژن *IL6* در نورون‌های بخش خلفی نخاع در گروه نوروپاتی دیابتی نسبت به سایر گروه‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده ($p=0/001$) و این نشان از تأثیر دیابت بر بیان ژن *IL6* و افزایش فاکتورهای التهابی را دارد. اما سایر گروه‌ها در بیان ژن *IL6* تفاوت معناداری مشاهده نشد. تفاوت میزان بیان ژن *IL6* در گروه سالم تمرین نسبت به سالم کنترل با کاهش همراه بود و کمترین میزان سطوح فاکتور التهابی در گروه تمرین سالم بود هرچند که به لحاظ آماری با تغییرات معناداری همراه نبود ($p=0/95$) و هم‌چنین میزان بیان ژن *IL6* در گروه تمرین دیابت نسبت به کنترل دیابت به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($p=0/011$). و این نشان از تأثیر تمرین بر کنترل بیان ژن *IL6* دارد.

نتایج حاصل از بیان ژن *Notch1* در نورون‌های بخش خلفی نخاع در گروه نوروپاتی دیابتی کنترل نسبت به سایر گروه‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده ($p=0/001$) و این نشان از تأثیر دیابت بر بیان ژن *Notch1* می‌باشد. ولی گروه‌های دیگر تفاوت معناداری در سطوح بیان ژن *Notch1* نشان ندادند و هم‌چنین بین گروه نوروپاتی دیابتی تمرین نسبت به گروه سالم کنترل ($p=0/24$) و سالم تمرین ($p=0/36$) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت با وجود این‌که میزان بیان ژن *Notch1* در گروه دیابت تمرین نسبت به گروه سالم کنترل و سالم تمرین بیشتر بود ولی نسبت به گروه کنترل دیابت کمتر بود و هم‌چنین میزان بیان ژن *Notch1* در گروه سالم تمرین نسبت به سالم کنترل با کاهش همراه بود ($p=0/95$) که این نشان از تأثیر تمرین هوازی بر کنترل بیان ژن *Notch1* دارد. نتایج نشان داد که بیان ژن *HES1* در نورون‌های بخش خلفی نخاع در گروه کنترل نوروپاتی دیابتی نسبت به سایر گروه‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده ($p=0/001$). این نتایج نشان می‌دهد که دیابت بر بیان ژن *HES1* تأثیر داشته اما با وجود بیشتر بودن میزان بیان ژن *HES1* در گروه دیابت نوروپاتی تمرین نسبت به گروه‌های سالم

جدول ۲: میزان هم‌بستگی بین *IL6*, *CRP* و Glucose با آستانه درد در رت‌ها بعد از شش هفته تمرین هوازی

گروه	هم‌بستگی	گلوکز	IL6
	Pearson Correlation	** $0/661$	** $-0/459$
آستانه درد تیل فلیک	Sig. (2-tailed)	$0/00$	$0/001$
	N	۴۰	۴۰

*علامت نشان دهنده همبستگی در سطح معنی‌داری ($p \leq 0/05$)

این‌که تفاوت معنی‌داری در ابتدای تحقیق بین وزن گروه‌ها وجود نداشت اما پس از شش هفته تمرین وزن گروه کنترل و گروه تمرین سالم افزایش یافته است که این افزایش در گروه کنترل بیشتر بوده است، اما در گروه دیابت کنترل و گروه تمرین نوروپاتی کاهش وجود داشت که در گروه کنترل نوروپاتی این کاهش وزن بیشتر بود و هم‌چنین بین گروه‌های سالم و دیابتی اختلاف معنی‌داری بین وزن گروه کنترل سالم و کنترل نوروپاتی دیابتی و هم‌چنین بین گروه سالم تمرین و گروه دیابت نوروپاتی

جدل (۲) نتایج حاصله از میزان هم‌بستگی بین *IL6* و Glucose با آستانه درد را بعد از شش هفته تمرین هوازی در سطح معنی‌داری ($p \leq 0/05$) نشان می‌دهد و مشخص شده که بین میزان درد و فاکتورهای بیان شده هم‌بستگی وجود دارد.

بحث

نتایج نشان داد که تمرینات هوازی؛ از کاهش وزن غیرطبیعی موش‌های دیابتی جلوگیری کرده است. با وجود

Notch1 می‌باشد و همچنین نتایج نشان داد که تفاوت معناداری بین گروه نوروپاتی دیابتی تمرین نسبت به سالم کنترل و سالم تمرین مشاهده نشد و بیان ژن *Notch1* در گروه سالم تمرین نسبت به سالم کنترل با کاهش همراه بود و این نشان از تاثیر تمرین بر کنترل بیان ژن *Notch1* دارد. نتایج حاصل از تحقیق در مورد بیان ژن *HES1* در نورون‌های حسی موش‌های دارای نوروپاتی دیابت نشان داد که بیان ژن *HES1* در گروه نوروپاتی دیابتی نسبت به سایر گروه‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده و این نشان از تاثیر دیابت بر بیان ژن *HES1* می‌باشد. و تفاوت معناداری بین گروه نوروپاتی دیابتی تمرین نسبت به سالم کنترل و سالم تمرین مشاهده نشد. و این نشان از تاثیر تمرین بر کنترل بیان ژن *HES1* دارد و همچنین نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بیان ژن *IL6* در گروه نوروپاتی دیابتی نسبت به سایر گروه‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده و این نشان از تاثیر دیابت بر بیان ژن *IL6* می‌باشد ولی تفاوت معناداری در سطوح بیان ژن *IL6* بین گروه نوروپاتی دیابتی تمرین نسبت به سالم کنترل و سالم تمرین مشاهده نشد. که این حاکی از تاثیر تمرین بر کنترل بیان ژن *IL6* دارد و افزایش بیان *IL6* را در بخش حسی نخاع موش‌های دیابتی القاء شده با *STZ* را کاهش می‌دهد. نظریه‌های مختلفی برای مکانیسم‌های ایجادکننده درد نوروپاتی بیان شده است که می‌توان به میزان گلوکز خون اشاره کرد. که بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق میزان گلوکز در رتهای دیابتی قبل و بعد تمرین تفاوت معنی‌دار داشت و همچنین تفاوت میان گروه‌های سالم و دیابتی در میزان گلوکز خون معنی‌دار بود که این امر می‌تواند از علائم ایجادکننده درد تلقی شود. تا آن‌جا که محققین اعلام کردن که کنترل قندخون در ۶۰ درصد بیماران دیابتی می‌تواند باعث کاهش در پیشرفت نوروپاتی دیابتی شود. بنابراین می‌توان گفت که هدف از کنترل دقیق قند خون برای پیشگیری از نوروپاتی دیابتی می‌باشد (۲۲،۲۳).

مسیر سیگنالینگ *Notch-1* باتعین سلول سرنوشت در توسعه نخاع و پلاستیک سیناپسی در سیستم عصبی مرکزی بزرگسالان نقش کلیدی بازی می‌کند. بیان و فعالیت *Notch-1*

تمرین وجود داشت. نتایج نشان داد که تمرین باعث کاهش میزان قند خون در موش‌های دیابتی القاء شده با *STZ* می‌شود با وجود این‌که در ابتدای تمرین به‌دلیل دیابتی شدن تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های سالم و دیابتی در میزان قند خون وجود داشت ولی بر اساس نتایج حاصل نشان داده شد که قبل و بعد از شش هفته تفاوت معنی‌داری بین سطوح قبل و بعد از آزمون گلوکز در کنترل سالم، تمرین سالم و گروه کنترل نوروپاتی دیابتی وجود نداشت با این حال، بین مقادیر پیش‌آزمون و پس از آزمون گلوکز در گروه تمرین نوروپاتی دیابتی اختلاف معنی‌داری وجود داشت که این نشان از تاثیر تمرین در کاهش قند خون دارد نتایج حاصل نشان داد که دیابت باعث کاهش مشخص وزن، افزایش درسطوح گلوکز جریان خونی می‌شود و تمرین هوازی توانست باعث ایجاد تغییراتی در سطوح این فاکتورها شود. تمرین هوازی باعث بالا رفتن آستانه درد به شکل معنی‌داری در موش‌های نوروپاتی تمرین نسبت به گروه کنترل شده است که این امر با حساسیت سیستم عصبی به محرک‌های دردزا که با افزایش مدت زمان تاخیر در آزمون تیل‌فلیک در آزمون رفتاری درد نوروپاتی اندازه‌گیری شد، نتایج نشان داد میانگین مدت زمان تاخیر در آزمون هایپرآلژزیای حرارتی تیل‌فلیک دو هفته پس از القای دیابت در گروه‌های نوروپاتی نسبت به گروه‌های سالم به‌طور معنی‌داری کمتر بود و این نشان از آن دارد که حساسیت در ابتدای دیابتی شدن نسبت به گروه سالم بیشتر بوده است. همچنین پس از ۶ هفته تمرین هوازی میانگین مدت زمان تاخیر در پس‌کشیدن دم در آزمون تیل‌فلیک در گروه نوروپاتی تمرین نسبت به گروه نوروپاتی کنترل به‌طور معنی‌داری بیشتر بود به‌طوری که آستانه درد در موش‌های نوروپاتی تمرین به شکل معنی‌داری بالاتر رفته است و تمرین توانسته بر روی عوامل دردزا موثر باشد.

همچنین نتایج نشان دادند که تمرین هوازی موجب جلوگیری از افزایش بیان گیرنده *Notch-1* شد بیان ژن *Notch1* در گروه نوروپاتی دیابتی نسبت به سایر گروه‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده و این نشان از تاثیر دیابت بر بیان ژن

پس از آسیب عصب به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (۲۴). علاوه بر این، افزایش بیان *Notch-1* با افزایش بیان پروتئین‌های jagged، delta که در فرایندهای التهابی ناشی از دیابت و افزایش قند خون دخالت دارند و در گردش خون سیستمی و بافت‌های عصبی نشان دهنده یک شرایط التهاب عصبی می‌باشد در ارتباط است (۴،۸). که نتایج حاصل از مطالعه حاضر این موضوع را مورد تایید قرار داد و نشان داد که افزایش بیان ژن *Notch-1* در نورون‌های حسی بخش خلفی نخاع در موش‌های با نوروپاتی دیابت بیشتر از گروه کنترل سالم بود. هرچند تا به حال مطالعه‌ای که نشان از تأثیر تمرین بر پیشگیری از بیان *Notch-1* وجود ندارد و محققین از روش‌های دارویی برای کنترل این گیرنده در نمونه‌های دیابتی استفاده کرده اند استفاده کردند (۲۸-۲۵). با این حال، عملکرد *Notch-1* در نوروپاتی ناشی از دیابت به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار نگرفته است.

بر اساس مطالعات انجام شده بیان و فعالیت *Notch-1* پس از آسیب عصب به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد که این امر به نوبه خود باعث انتشار پروتئولیتیک توسط c-secretase از دامنه داخل سلولی Notch (NICD) که به هسته منتقل می‌شود تا بیان ژن‌های هدف خاص مانند *HES-1* و *HEY-1* تنظیم شود (۳۱،۳۲). تحقیقات نشان داد که نه تنها بیان *Notch-1*، بلکه بیان NICD گیرنده *Notch-1* و همچنین هدف پایین دست مسیر *Notch-1* همانند *Hes-1* پس از دیابتی کردن به وسیله STZ افزوده شد (۷،۲۶،۲۹) که نتایج حاصل از مطالعه حاضر این موضوع را مورد تایید قرار داد و نشان داد که افزایش بیان ژن *Hes-1* در نورون‌های حسی بخش خلفی نخاع در موش‌های با نوروپاتی دیابت بیشتر از گروه کنترل سالم بود و تمرین هوازی باعث کاهش معنی‌داری در بیان *Hes-1* نسبت به گروه نوروپاتی دیابت کنترل داشت. شواهد جدید نشان می‌دهد که افزایش بیان *Hes-1* به وسیله مسیر سیگنالی *Notch-1* در آزاد شدن سیتوکین‌های التهابی به‌طور مستقیم درالقاء درد نوروپاتیک می‌تواند نقش کلیدی داشته باشد و همچنین نشان می‌دهد که فعالیت و بیان *Notch-1* برای

توسعه درد نوروپاتیک و التهاب بسیار مهم است (۷،۲۹،۳۰،۳۱،۳۲). که نتایج این تحقیق‌ها با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. مطالعات نشان داده است که پیشرفت آلودینیا و هایپرالژزیا با فعالیت گلیاهای نخاعی مرتبط است. گلیاهای فعال شده مانند سلول‌های ایمنی دیگر انواع سیتوکین‌های التهابی از قبیل پروستاگلندین‌ها، اینترلوکین ۱ (IL-1 β)، اینترلوکین ۶ (IL-6)، فاکتور نکروز دهنده بافتی (α -TNF) و فاکتور فعالیت میکروگلیا (Iba1)، را آزاد می‌کنند که نقش این فاکتورها در ایجاد هایپرالژزیا و آلودینیا به‌دنبال آسیب عصبی ثابت شده است (۳۳). که نتایج حاصل از مطالعه حاضر این موضوع را مورد تایید قرار داد و نشان داد که افزایش بیان ژن *Hes-1* در نورون‌های حسی بخش خلفی نخاع در موش‌های با نوروپاتی دیابت باعث افزایش ترشح اینترلوکین ۶ (IL-6) شده و میزان IL-6 در موش‌های با نوروپاتی دیابت بیشتر از گروه کنترل سالم بود و تمرین هوازی باعث کاهش معنی‌داری در میزان بیان IL-6 نسبت به گروه نوروپاتی دیابت کنترل داشت که این یافته با نتایج مطالعات (۳۶-۴۰) که کاهش معنی‌داری در IL-6 راپس از پروتکل‌های مختلف تمرین نشان می‌دهند هم‌خوانی دارد و همچنین Karstoft و همکاران ۲۰۱۶ تأثیر تمرینات ورزشی را بر سطوح سیتوکین‌های التهابی و ضدالتهابی بیماران دیابتی نوع دو بررسی کردند و نتایج نشان داد که تمرین باعث کاهش در غلظت IL6، CRP، IL1 و TNF α شد و غلظت سیتوکین‌های ضدالتهابی IL10 و IL4 افزایش بیشتری داشت. بنابراین ورزش با افزایش تولید فاکتورهای ضد التهابی و کاهش فاکتورهای التهابی باعث کاهش درد می‌شود. که با نتایج حاصل هم‌خوانی دارد (۴۱). و با نتایج برخی تحقیقات که تأثیر تمرین مقاومتی بر IL-6 را نشان می‌دهد هم‌خوانی ندارد (۴۹-۵۱).

همچنین جوز بورتولون ۲۰۱۲ به بررسی تأثیر یک دوره تمرینات شدید بر فاکتورهای التهابی موش‌های دیابتی شده پرداخت و نتایج نشان داد که میزان فاکتورهای التهابی در گروه تمرین نسبت به کنترل بیشتر بود دلیل این تناقض شاید ناشی از تفاوت در شدت و نوع برنامه‌های تمرینی باشد (۵۲). یوهان

تاثیر فعالیت ورزش بر کاهش این فاکتورها و همچنین بر میزان حس درد در رت‌های دیابتی تمرین و سالم تمرین می‌توان اظهار نمود که فعالیت هوازی توانسته است از میزان درد نوروپاتی دیابتی بکاهد (۴۷). Paladd Asavarut. و همکاران بر روی تاثیر فعالیت ورزشی بر احساس درد مطالعه کردند که تاثیر ورزش را بر کاهش حس درد اعلام کردند و با نتایج این تحقیق هم‌خوانی داشت. ورزش با تاثیر بر عملکرد اعصاب محیطی می‌تواند باعث کاهش دردهای نوروپاتیک در بیماران دیابت شود (۴۸). همین‌طور مشخص شده است، ورزش هوازی، می‌تواند با افزایش اتساع پذیری عروق، کاهش فشارهای اکسیداتیو و افزایش عوامل نوروتروفیک و کاهش فاکتورهای التهابی، اثرات مفیدی بر عوارض نوروپاتی داشته باشد (۴۹). با این حال عدم اندازه‌گیری سطوح هورمون‌های استرسی و لیگاندهای فرا دستی گیرنده *NOTCH1* به‌طور مستقیم، همچنین اندازه‌گیری بیان ژن به جای سطوح پروتئین در پژوهش حاضر به‌عنوان محدودیت، از بحث دقیق در این زمینه جلوگیری می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، به جای اندازه‌گیری بیان ژن، سطوح پروتئین‌ها گیرنده ایمنی ذاتی، شاخص‌های التهابی و همچنین، عوامل مهارکننده این گیرنده‌ها همانند سطوح سایتوکین‌های ضد التهابی و گلوکوکورتیکوئید برای دستیابی به شرایط قطعی تر مورد بررسی قرار دهند

نتیجه گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش اخیر نشان داده شد که شش هفته تمرین هوازی درد ناشی از نوروپاتی دیابت را بهبود و باعث کاهش حس درد در موش‌های دیابتی شد و همچنین از طریق تنظیم و کاهش بیان پروتئین‌های مسیر *Notch1* در ناحیه ستون فقرات و کاهش میزان میانجی‌های التهابی تاثیرگذار باعث تقویت اثر درمانی تمرینات هوازی در نوروپاتی دیابتی شد. بنابراین با توجه به نتایج تحقیق حاضر، مطالعه ما یک کشف مهم در مهار مسیر سیگنالی *Notch1* بدون استفاده از دارو و با استفاده از تجویز تمرینات منظم ورزشی هوازی با شدت ملایم تا متوسط برای افراد

چن و همکاران، ۲۰۱۲ طی تحقیقی، تاثیر تمرین هوازی روی تردمیل را بر سطوح فاکتورهای التهابی و آزمون‌های رفتاری درد نوروپاتی در موش‌های مدل درد نوروپاتی دیابت مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که تمرین هوازی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش زمان تاخیر در عقب کشیدن پا در هابپرالژزبای حرارتی و افزایش آستانه پاسخ به آلودینیای مکانیکی می‌شود. ولی تاثیر معنی‌داری بر سایتوکین‌های التهابی *TNFα* و *IL-6* نداشته است، عدم اثرگذاری تمرین هوازی بر سایتوکین‌های التهابی در این تحقیق نسبت به تحقیق حاضر می‌تواند به دلیل تفاوت شدت و مدت تمرین هوازی باشد (۴۲). با این وجود می‌توان احتمال کاهش درد در موش‌های دیابتی را تاثیر فعالیت ورزشی بر کاهش این عوامل التهابی به حساب آورد.

در این تحقیق، به‌منظور بررسی میزان درد ناشی از آسیب نورون‌های محیطی، از آزمون تیل فلیک استفاده شد. قبلاً وجود هیپرالژزبای به‌عنوان اولین علائم نوروپاتی دیابت به اثبات رسیده است که دلیل آن تا اندازه‌ای به اثرات توکسیک میزان بالای گلوکز بر سیستم عصبی محیطی نسبت داده شده است (۴۳) همچنین بیماری دیابت تحریک مسیرهای سیگنالی درد را در ناحیه نخاع تحت تاثیر قرار می‌دهد (۴۳،۴۴). از طرف دیگر نتایج تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که رت‌های دیابتی شده توسط استرپتوزوتوسین را می‌توان به‌عنوان مدل درد مزمن به حساب آورد که در مورد آن نشانه‌های هیپرالژزی (*Hyperalgesia*) و آلودینی (*Allodynia*) در کوتاه‌مدت ۱ الی دو ماه به خوبی مشاهده می‌شود (۴۵،۴۶). مطالعه حاضر این موضوع را مورد تایید قرار داد و نتایج حاصل از آزمون رفتاری تیل فلیک نشان داد که تمرین هوازی باعث بالارفتن آستانه درد در موش‌های نوروپاتی تمرین نسبت به گروه کنترل شده است که با کاهش مدت زمان تاخیر در درد نوروپاتیک اندازه‌گیری شد، به‌طوری که آستانه درد در موش‌های نوروپاتی تمرین به شکل معنی‌داری بالاتر رفته است. با توجه به هم‌بستگی بین یافته‌های حاصل از آزمون درد نوروپاتی با میزان گلوکز، *IL6*

حاضر را مهیا نمودن، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌کنم. در ضمن هزینه‌های این تحقیق توسط نویسندگان این مقاله تامین شده است.

تعارض در منافع: وجود ندارد.

دیابتی می‌تواند یک روش مناسبی برای کنترل و درمان درد ناشی از دیابت باشد.

سپاس‌گزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری در دانشگاه لرستان می‌باشد و از کلیه کسانی که امکان اجرای مطلوب تحقیق

References:

- 1- Rojas DR, Kuner R, Agarwal N. *Metabolomic signature of type 1 diabetes-induced sensory loss and nerve damage in diabetic neuropathy*. arXiv preprint arXiv:1803.06740. 2018 Mar 18.
- 2- Rutten K, Gould SA, Bryden L, Doods H, Christoph T, Pekcec A. *Standard analgesics reverse burrowing deficits in a rat CCI model of neuropathic pain, but not in models of type 1 and type 2 diabetes-induced neuropathic pain*. Behav Brain Res 2018; 350: 129-38.
- 3- World Health Organization. World health statistics 2016: **monitoring health for the SDGs sustainable development goals**. World Health Organization; 2016 Jun 8.
- 4- Asavarut P, Zhao H, Gu J, Ma D. **The role of HMGB1 in inflammation-mediated organ injury**. Acta Anaesthesiologica Taiwanica. 2013 Mar 1;51(1):28-33.
- 5- Rusanescu G, Mao J. *Notch3 is necessary for neuronal differentiation and maturation in the adult spinal cord*. J Cell Mol Med 2014; 18(10): 2103-16.
- 6- Arumugam TV, Cheng YL, Choi Y, Choi YH, Yang S, Yun YK, et al. *Evidence that gamma-secretase-mediated Notch signaling induces neuronal cell death via the nuclear factor-kappaB-Bcl-2-interacting mediator of cell death pathway in ischemic stroke*. Mol Pharmacol 2011; 80(1): 23-31.
- 7- Yang C, Gao J, Wu B, Yan N, Li H, Ren Y, et al. *Minocycline attenuates the development of diabetic neuropathy by inhibiting spinal cord Notch signaling in rat*. Biomed Pharmacother 2017; 94: 380-5.
- 8- Xie K, Qiao F, Sun Y, Wang G, Hou L. *Notch signaling activation is critical to the development of neuropathic pain*. BMC Anesthesiol 2015; 15: 41.
- 9- Bonegio R, Susztak K. *Notch signaling in diabetic nephropathy*. Exp Cell Res 2012; 318(9): 986-99.
- 10- Chen T, Li H, Yin Y, Zhang Y, Liu Z, Liu H. *Interactions of Notch1 and TLR4 signaling pathways in DRG neurons of in vivo and in vitro models of diabetic neuropathy*. Sci Rep 2017; 7(1): 14923.
- 11- Fazio C, Ricciardiello L. *Inflammation and Notch signaling: a crosstalk with opposite*

- effects on tumorigenesis*. Cell Death Dis 2016; 7(12): e2515.
- 12- Jiao Z, Wang W, Ma J, Wang S, Su Z, Xu H. *Notch signaling mediates TNF- α -induced IL-6 production in cultured fibroblast-like synoviocytes from rheumatoid arthritis*. Clinical Developmental Immunology 2012; 6.
- 13- Yoon H, et al. *Moderate exercise training attenuates inflammatory mediators in DRG of Type 1 diabetic rats*. Exp Neurol 2015; 267: 107-14
- 14- Balducci S, Iacobellis G, Parisi L, Di Biase N, Calandriello E, Leonetti F, Fallucca F. **Exercise training can modify the natural history of diabetic peripheral neuropathy. Journal of diabetes and its complications**. 2006 Jul 1;20(4):216-23.
- 15- Yan JE, Yuan W, Lou X, Zhu T. *Streptozotocin-induced diabetic hyperalgesia in rats is associated with upregulation of Toll-like receptor 4 expression*. Neurosci Lett 2012; 526(1): 54-8
- 16- Morrow TJ. *Animal models of painful diabetic neuropathy: the STZ rat model*. Curr Protoc Neurosci 2004; 29(1): 9-18.
- 17- Wei M, Ong L, Smith MT, Ross FB, Schmid K, et al. *The streptozotocin diabetic rat as a model of the chronic complications of human diabetes*. Heart Lung & Circulation 2003; 12(1): 44-50.
- 18- Bannon AW, Malmberg AB. *Models of nociception: hot plate, tail flick, and formalin tests in rodents*. Curr Protoc Neurosci 2007; 6(1): 8-9.
- 19- D'Amour FE, Smith D. *A method for determining loss of pain sensation*. J Pharmacol Exp Ther 1941; 72(1): 74-9.
- 20- Chae CH, Jung SL, An SH, Jung CK, Nam SN, Kim HT. *Treadmill exercise suppresses muscle cell apoptosis by increasing nerve growth factor levels and stimulating p-phosphatidylinositol 3-kinase activation in the soleus of diabetic rats*. J Physiology Biochem 2011; 67(2): 235-41.
- 21- Gelderd JB, Chopin SF. *The vertebral level of origin of spinal nerves in the rat*. Anat Rec 1977; 188(1): 45-7.
- 22- Chen YW, Hsieh PL, Chen YC, Hung CH, Cheng JT. *Physical exercise induces excess hsp72 expression and delays the development of hyperalgesia and allodynia in painful diabetic neuropathy rats*. Anesth Analg 2013; 116(2): 482-90.
- 23- Touvra AM, Volaklis KA, Spassis AT, Zois CE, Douda HT, Kotsa K, et al. *Combined strength and aerobic training increases transforming growth factor- β 1 in patients with type 2 diabetes*. Hormones 2011; 10(2): 125-30.
- 24- Givogri MI, De Planell M, Galbiati F, Superchi D, Gritti A, Vescovi A, De Vellis J, Bongarzone ER. *Notch signaling in astrocytes and neuroblasts of the adult subventricular zone in health and after cortical injury*. Dev Neurosci 2006; 28(1-2): 81-91.

- 25- Abbas AK, Lichtman AH, Pillai S. Basic immunology: **functions and disorders of the immune system**. Elsevier Health Sciences; 2014.
- 26- Dastur A, Choi A, Costa C, Yin X, Williams A, McClanaghan J, et al. *NOTCH1 represses MCL-1 levels in GSI-resistant T-ALL, making them susceptible to ABT-263*. Clin Cancer Res 2019; 25(1): 312-24.
- 27- Coory JA, Parr AF, Wilkinson MP, Gupta A. *Efficacy of suprascapular nerve block compared with subacromial injection: a randomized controlled trial in patients with rotator cuff tears*. J Shoulder and Elbow Surgery 2019; 28(3): 430-36.
- 28- Xiao YS, Zeng D, Liang YK, Wu Y, Li MF, Qi YZ, et al. *Major vault protein is a direct target of Notch1 signaling and contributes to chemoresistance in triple-negative breast cancer cells*. Cancer Lett 2019; 440: 156-67.
- 29- Jalnapurkar S, Moirangthem RD, Singh S, Limaye L, Kale V. *Microvesicles Secreted by Nitric Oxide Primed Mesenchymal Stromal Cells Boost the Engraftment Potential of Hematopoietic Stem Cells*. Stem Cells 2019; 37(1): 128-38.
- 30- Xu Z, Xiong D, Zhang J, Zhang J, Chen X, Chen Z, et al. *Bone marrow stromal cells enhance the survival of chronic lymphocytic leukemia cells by regulating HES-1 gene expression and H3K27me3 demethylation*. Oncol Lett 2018; 15(2): 1937-42.
- 31- Lian H, Hui Y, Xiaoping T, Wei T, Jiyi X, Xiaolan Y. Baicalein suppresses the proliferation of human cervical cancer cells via Notch 1/Hes signaling pathway.
- 32- Nourbakhsh M, Minoo P. *Annexin A10 and HES-1 Immunohistochemistry in Right-sided Traditional Serrated Adenomas Suggests an Origin From Sessile Serrated Adenoma*. Appl Immunohistochem Mol Morphol 2019 .
- 33- Rech A, Botton CE, Lopez P, Quincozes-Santos A, Umpierre D, Pinto RS. *Effects of short-term resistance training on endothelial function and inflammation markers in elderly patients with type 2 diabetes: A randomized controlled trial*. Exp Gerontol 2019; 118: 19-25.
- 34- Pratiwi WN, Purwanto B. *Diabetes dance of persadia 1 effect on blood IL-6 level*. In Journal of Physics: Conference Series 2019; 1146(1).
- 35- Karstoft K, Pedersen BK. *Exercise and type 2 diabetes: focus on metabolism and inflammation*. Immunol Cell Biology 2016; 94(2):146-50.
- 36- D'Souza B, Meloty-Kapella L, Weinmaster G. *Canonical and non-canonical Notch ligands*. In Current topics in developmental biology 2010; 92: 73-129.
- 37- Piercy V, Banner SE, Bhattacharyya A, Parsons AA, Sanger GJ, Smith SA, et al. *Thermal, but not mechanical, nociceptive behavior is altered in the Zucker Diabetic Fatty rat and is independent of glycemic status*. J Diabetes Its Complications 1999; 13(3):163-9.
- 38- Vissers KC, Geenen F, Biermans R, Meert TF. *Pharmacological correlation between the formalin test and the neuropathic pain behavior*

- in different species with chronic constriction injury.* Pharmacol Biochem Behav 2006; 84(3):479-86.
- 39- Romero-Zurita A, Carbonell-Baeza A, Aparicio VA, Ruiz JR, Tercedor P, Delgado-Fernández M. *Effectiveness of a tai-chi training and detraining on functional capacity symptomatology and psychological outcomes in women with fibromyalgia.* Evid Based Complement Alternat Med 2012; 2012: 614196.
- 40- Balducci S, Zanuso S, Nicolucci A, Fernando F, Cavallo S, Cardelli P, et al. *Anti-inflammatory effect of exercise training in subjects with type 2 diabetes and the metabolic syndrome is dependent on exercise modalities and independent of weight loss.* Nutr Metab Cardiovasc Dis 2010; 20(8):608-17.
- 41- Bement MK, Sluka KA. *Low-intensity exercise reverses chronic muscle pain in the rat in a naloxone-dependent manner.* Arch Phys Med Rehabil 2005; 86(9): 1736-40.
- 42- Chen YW, Li YT, Chen YC, Li ZY, Hung CH. *Exercise training attenuates neuropathic pain and cytokine expression after chronic constriction injury of rat sciatic nerve.* Anesthesia & Analgesia 2012; 114(6): 1330-37.
- 43- Li H, Shen Z, Lu Y, Lin F, Wu Y, Jiang Z. *Muscle NT-3 levels increased by exercise training contribute to the improvement in caudal nerve conduction velocity in diabetic rats.* Molecular Medicine Reports 2012; 6(1): 69-74.
- 44- Rossi DM, Valenti VE, Navega MT. *Exercise training attenuates acute hyperalgesia in streptozotocin-induced diabetic female rats.* Clinics 2011; 66(9): 1615-9.
- 45- González-Clemente JM, Mauricio D, Richart† C, Broch m, Caixàs A. *MegiaDiabetic neuropathy is associated with activation of the TNF- α system in subjects with type 1 diabetes mellitus.* Clin Endocrinol 2005; 63(5): 525-9
- 46- Chen YW, Chiu CC, Hsieh PL, Hung CH, Wang JJ. *Treadmill training combined with insulin suppresses diabetic nerve pain and cytokines in rat sciatic nerve.* Anesthesia Analgesia 2015; 121(1):239-46.
- 47- Chen YW, Hsieh PL, Chen YC, Hung CH, Cheng JT. *Physical exercise induces excess hsp72 expression and delays the development of hyperalgesia and allodynia in painful diabetic neuropathy rats.* Anesth Analg 2013; 116(2):482-90.
- 48- Paladd Asavarut, Hailin Zhao, Jianteng Gu, Daqing Ma. *The role of HMGB1 in inflammation-mediated organ injury.* Acta Anaesthesiol Taiwanica 2013; 51: 28-33
- 49- Pedersen BK. *Anti inflammatory effects of exercise: role in diabetes and cardiovascular disease.* Eur J Clin Investigation 2017; 47(8):600-11.
- 50- Shamsi MM, Hassan ZM, Quinn LS, Gharakhanlou R, Baghersad L, Mahdavi M. *Time course of IL-15 expression after acute resistance exercise in trained rats: effect of*

diabetes and skeletal muscle phenotype.

Endocrine 2015; 49(2): 396-403.

- 51- Paula FM, Leite NC, Vanzela EC, Kurauti MA, Freitas-Dias R, Carneiro EM, et al. *Exercise increases pancreatic β -cell viability in a model of type 1 diabetes through IL-6 signaling.* FASEB J 2015; 29(5):180516.

- 52- Bortolon JR, Silva Junior AJ, Murata GM, Newsholme P, Curi R, Pithon-Curi TC, et al. *Persistence of inflammatory response to intense exercise in diabetic rats.* Experimental Diabetes Res 2012; 2012.

Effect of 6 weeks aerobic training on peripheral neuropathic pain and expression of NOTCH1 pathway genes in posterior spinal cord of diabetic male rats

Siros Hosseini Askarabadi¹, Rahim Mirnasouri^{*1}, Masoud Rahmati¹

Original Article

Introduction: Neuropathic pain is one of the most important factors affecting the quality of life of people with diabetes mellitus; regular exercises may have a role in reducing the pain associated with diabetes. The purpose of this study was the effect of six weeks aerobic training on environmental neuropathic pain and expression of the NOTCH1 pathway in the spinal cord of diabetic male rats.

Methods: 40 male Wistar rats (age: 8 weeks old; weight 220-250g) were randomly divided into 4 groups: diabetic neuropathy training (DNT), diabetic neuropathy control (DNC), healthy training (HT) and healthy control (HC). The diabetic groups were induced by intraperitoneal injection of streptozotocin (STZ) and two weeks after induction of diabetes, behavioral pain tests were administered and endurance training protocol was performed for 6 weeks and 5 sessions per week. The data were analyzed via SPSS software version 19 and one-way ANOVA with a significant level ($P < 0.05$)

Results: After 6 weeks of aerobic training, the expression of *NOTCH1*, *HES1* and *il6* genes in diabetic neuropathy training group was significantly lower than the diabetic neuropathy control group ($P \leq 0.05$). The mean weight of the diabetic neuropathic training group was more than the diabetic neuropathy control group ($p = 0.001$). Also, exercise significantly decreased blood glucose levels in the diabetic neuropathy group ($P = 0.237$).

Conclusion: It seems that aerobic exercise on rats with diabetic neuropathy can affect on pain sensation as well as the levels of *NOTCH1*, *HES1* and *il6* factors, and aerobic exercise is a suitable method for preventing, controlling and treating pain associated with diabetes.

Keywords: Aerobic Exercise, Neuropathic Pain, *NOTCH1*, *IL6*, *HES1*. Diabetes.

Citation: Hosseini Askarabadi S, Mirnasouri R, Rahmati M. Effect of 6 weeks aerobic training on peripheral neuropathic pain and expression of NOTCH1 pathway genes in posterior spinal cord of diabetic male rats. J Shahid Sadoughi Uni Med Sci 2019; 27(2): 1238-53

¹ Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Literature and Human Sciences, Lorestan University, Khoramabad, Iran

*Corresponding author: Tel: 09166638738, email: dr_mirnasuri@yahoo.com