



Research Article

Effect of Two Types of Aerobic Exercise Programs on NT4 Gene Expression and Motor Performance in Spinally Injured Rats

Mahdi Ziaee Bashirzad¹ , Sadegh Cheragh-Birjandi^{1*} , Mohamad Amin Younessi Heravi² , Reza Salarinia³

¹Department of Sport Science, Islamic Azad University, Bojnourd Branch, Bojnourd, Iran

²Department of Medical Physics and Radiology, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnourd, Iran

³Department of Advanced Technologies, School of Medicine, Bojnourd, Iran

*Corresponding author: Sadegh Cheragh-Birjandi, Department of Sport Science, Islamic Azad University, Bojnourd Branch, Bojnourd, Iran. E-mail: s_birjandi2001@yahoo.com.

DOI: [10.32592/nkums.15.3.11](https://doi.org/10.32592/nkums.15.3.11)

How to Cite this Article:

Ziaee Bashirzad M, Younessi Heravi M A, Salarinia R, Cheragh-Birjandi S. Effect of Two Types of Aerobic Exercise Programs on NT4 Gene Expression and Motor Performance in Spinally Injured Rats. J North Khorasan Univ Med Sci. 2023;15(3):11-18. DOI: 10.32592/nkums.15.3.11

Received: 21 Jun 2023

Accepted: 12 Aug 2023

Keywords:

Aerobic exercise

Motor activity

Neurotrophin-4

Spinal cord injury

Abstract

Introduction: The present research aimed to investigate the effect of four weeks of selective training on motor performance and neurotrophin4 (NT4) gene expression in the hippocampus of rats with spinal cord injury (SCI).

Method: This experimental study was conducted on adult and young male Wistar rats. The animals were randomly divided into six groups (control group, healthy group with the first exercise protocol, healthy group with the second exercise protocol, SCI group, SCI group with the first exercise protocol, and SCI group with the second exercise protocol; 7 animals in each group). Firstly, animals were subjected to general anesthesia and SCI. After two weeks of recovery, two types of aerobic exercise programs were performed for four weeks. After performing the exercises, Basso Beattie Bresnahan (BBB) test and molecular tests were used to measure the expression of the NT4 gene from the hippocampus of the animals using the qRT-PCR method.

Results: The BBB score in the exercise group compared to the injury group increased significantly. The expression of NT4 in the SCI group was significantly decreased compared to the control group. While, NT4 expression was increased in the SCI + exercise 1 group and in the SCI + exercise 2 group compared to the SCI group, this increased expression was not significantly different between the two groups of SCI + exercise.

Conclusion: The exercise protocols of this study are effective on NT4 gene expression, as well as improving movement in animals with SCI, and could be a factor for axonal growth and neuronal survival in spinal cord injury recovery.



مقایسه تأثیر دو نوع برنامه تمرین هوازی بر بیان ژن نروتروفین ۴ و عملکرد حرکتی رت‌های دچار ضایعه نخاعی

مهدی ضیایی بشیرزاد^۱ ID، صادق چراغ بیرجندی^{۲*} ID، محمد امین یونسی هروی^۳ ID، رضا سالاری نیا^۴ ID

^۱ گروه علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بجنورد، بجنورد، ایران
^۲ استادیار گروه علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بجنورد، بجنورد، ایران
^۳ استادیار گروه فیزیک پزشکی و رادیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران
^۴ استادیار گروه بیوتکنولوژی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران

* نویسنده مسئول: صادق چراغ بیرجندی، استادیار گروه علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بجنورد، بجنورد، ایران. ایمیل: s_birjandi2001@yahoo.com

DOI: 10.32592/nkums.15.3.11

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱	چکیده
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱	مقدمه: هدف از این مطالعه بررسی اثر چهار هفته تمرین منتخب بر عملکرد حرکتی و بیان ژن نروتروفین ۴ در هیپوکمپ رت‌های مبتلا به ضایعه نخاعی بود.
واژگان کلیدی: آسیب طناب نخاعی نروتروفین ۴ پروتکل تمرین عملکرد حرکتی	روش کار: این مطالعه که از نوع تجربی است، روی رت‌های نر بالغ و جوان انجام شد. حیوانات به صورت تصادفی به ۶ گروه (کنترل سالم، سالم با پروتکل تمرینی اول، سالم با پروتکل تمرین دوم، ضایعه نخاعی، ضایعه نخاعی با پروتکل تمرینی اول و ضایعه نخاعی با پروتکل تمرینی دوم، هر گروه ۷ سر) تقسیم شدند. ابتدا، حیوانات تحت بیهوشی عمومی و آسیب نخاعی قرار گرفتند. پس از دو هفته ریکاوری، رت‌ها به مدت ۴ هفته، دو نوع برنامه تمرین هوازی انجام دادند. پس از انجام تمرین‌ها، تست حرکتی و تست‌های مولکولی برای سنجش تغییرات بیان ژن فاکتور نروتروفین ۴ از هیپوکمپ حیوانات انجام شد. تجزیه و تحلیل اطلاعات توسط نرم‌افزار SPSS 20.0 انجام شد. سطح معناداری نیز ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.
	یافته‌ها: نمرات تست حرکتی در گروه دریافت‌کننده تمرین در مقایسه با نمرات تست حرکتی گروه آسیب، افزایش معناداری داشت. بیان ژن نروتروفین ۴ در مدل آسیب نخاعی نسبت به گروه کنترل کاهش معناداری داشت، همچنین، بیان این ژن در گروه آسیب نخاعی + تمرین ۱ و در گروه آسیب نخاعی + تمرین ۲ نسبت به گروه آسیب نخاعی افزایش داشت؛ اما این افزایش بیان بین دو گروه آسیب نخاعی + تمرین تفاوت معناداری را نشان نداد.
	نتیجه‌گیری: پروتکل‌های تمرینی در این مطالعه علاوه بر ایجاد بهبود حرکتی در حیوانات دچار ضایعه نخاعی، بر بیان ژن نروتروفین ۴ مؤثر هستند و می‌توانند عاملی برای رشد آکسونی و بقای نرونی در بهبودی ضایعه نخاعی باشند.

مقدمه

روزافزون مبتلایان به آن، تلاش‌های زیادی برای ترمیم این ضایعه انجام شده است. علی‌رغم تلاش‌های محققان و پیشرفت‌های درخور توجه در درمان و جراحی‌های بعد از ضایعه و ظهور روش‌های سلول‌درمانی با استفاده از سلول‌های بنیادی در این دسته از بیماران، تا کنون هیچ درمان نهایی و مؤثری برای ضایعات نخاعی ارائه نشده است. در حالت طبیعی، فرایند ترمیم‌پذیری غیرفعال نورون‌ها به‌وسیله بیان یک‌سری از ژن‌های وابسته به ترمیم توسط آکسون‌ها پس از ایجاد ضایعه فعال می‌شوند [۳-۵]. فرایند تحریک فعال‌سازی ترمیم توسط فاکتورهای رشد صورت می‌پذیرد. هنوز اثرهای اختصاصی فاکتورهای رشد متفاوت بر بافت‌های محیطی، مانند عضلات و انواع مختلف نورون‌ها، کاملاً مشخص نشده است. این احتمال وجود دارد که یک نروتروفین اثر زیادی روی نورونی خاص داشته باشد، در صورتی که تأثیری روی نورون دیگر نداشته باشد. همچنین، ممکن است

آسیب طناب نخاعی (SCI) شامل مجموعه پیچیده‌ای از اتفاقات پاتولوژیک است و بعد از آسیب اولیه رخ می‌دهد. اثر اولیه این آسیب صدمه مکانیکی به نورون‌ها و بافت‌های نرم اطراف و سلول‌های اندوتلیال عروق است؛ بنابراین، نکروز یا مرگ سلول ناشی از آسیب مکانیکی یا ایسکمی است [۱]. آسیب ثانویه در محدوده زمانی چند دقیقه تا هفته‌ها بعد از آسیب رخ می‌دهد و شامل مرگ سلولی در اثر التهاب، رهایش گلوتامات، اسیدآمین‌های تحریکی، تشکیل زخم گلیال و در نهایت، آپوپتوز سلول‌های نورونی است. علاوه بر این موارد، در محل ضایعه مولکول‌ها و فاکتورهای دیگری نیز ترشح می‌شوند که باعث مهار رشد آکسون در محل می‌شوند [۲]. از این رو، به روش‌های درمانی جدیدی نیاز است که بتوانند مکانیسم‌های آسیب ثانویه و آپوپتوز را مهار کنند و رشد آکسون را افزایش دهند. با توجه به وسعت معلولیت ناشی از آسیب‌های نخاعی و افزایش

سانتی گراد، رطوبت حدود ۴۵ درصد و چرخه روشنایی/تاریکی ۱۲ به ۱۲ ساعت نگهداری شدند. رت‌ها در قفس‌هایی از جنس پلکسی‌گلاس با درب توری به ابعاد $۲۵ \times ۲۷ \times ۴۳$ سانتی‌متر قرار گرفتند، به طوری که در دسترسی به آب و غذای استاندارد برای آن‌ها محدودیتی وجود نداشت. حیوانات به صورت تصادفی به ۶ گروه مساوی تقسیم شدند (گروه کنترل سالم، گروه سالم با پروتکل تمرینی اول، گروه سالم با پروتکل تمرینی دوم، گروه ضایعه نخاعی، گروه ضایعه نخاعی با پروتکل تمرینی اول و گروه ضایعه نخاعی با پروتکل تمرینی دوم). بر اساس متون مرتبط، در هر گروه ۷ رت قرار گرفت [۱۵]. تمامی مراحل نگهداری و انجام آزمایش‌های لازم حیوانات با رعایت کامل اصول اخلاقی کار با حیوانات آزمایشگاهی بر اساس پروتکل هلسینکی انجام شد. این مطالعه با تصویب در کمیته اخلاق معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی انجام شد (IR.NKUMS.1400.036).

نحوه ایجاد ضایعه نخاعی

ابتدا، رت‌ها به کمک تزریق صفاقی کتامین (mg/ Kg; Bremer Pharma) (۱۰۰ GMBH, Bremerhaven, Germany) - زایلازین (mg/ Kg) (۱۰ Alfasan Chemical Co., Woerden, Holland) بی‌هوش شدند. پس از بی‌هوش شدن حیوان، موهای موضعی تراشیده شد و تمام سطح پشتی حیوان با الکل ۷۰ درصد تمیز و ضد عفونی شد. پس از مشخص کردن محل برش (مهره T9 تا T11)، پوست به اندازه ۲/۵ سانتی‌متر به سمت سری و دمی حیوان و در امتداد ستون فقرات برش داده شد. پس از بریدن فاسیای سطحی و عمقی و کنار زدن عضلات مجاور زائده خاری مهره‌ها، برای برش لامینا از میکروفورز دندان پزشکی (MX-70 Micromax Co) استفاده شد. پس از لامینکتومی، مهره‌ها توسط دستگاه استریوتکس (SR-6R, Narishige group product) ثابت شدند و توسط وزنه ۱۰ گرمی یک ضربه بر نخاع از ارتفاع ۲۵ میلی‌متری با استفاده از استوانه توخالی اعمال شد [۱۶]. سپس، بلافاصله عضلات و فاسیا با استفاده از نخ جذب شماره ۴-۰ بخیه زده شدند. گروه‌های سالم فقط جراحی لامینکتومی شدند و آسیب نخاعی بر آن‌ها وارد نشد. پس از جراحی، هر حیوان جداگانه در یک قفس در دمای محیطی 22 ± 3 درجه سانتی‌گراد، رطوبت حدود ۴۵ درصد و چرخه روشنایی/تاریکی ۱۲ به ۱۲ ساعت نگهداری شد. شایان ذکر است که شرایط تغذیه‌ای مانند رت سالم بود، به طوری که حیوانات دچار ضایعه نخاعی در دسترسی به آب و غذای استاندارد محدودیتی نداشتند. برای هر حیوان بعد از ایجاد ضایعه نخاعی، اطمینان از حصول این ضایعه صورت گرفت. بر این اساس، میزان حرکت حیوان معیار ارزیابی بود. به منظور جلوگیری از تجمع طولانی مدت ادرار در مثانه، کشیده شدن بیش از حد آن و در شدیدترین حالت، پارگی دیواره آن که می‌تواند به مرگ حیوان منجر شود، تخلیه مثانه به صورت روزانه و دو بار در روز به مدت یک هفته انجام شد. همچنین، به منظور کاهش درد، تقویت سیستم ایمنی و

نورونی خاص پاسخ‌های متفاوتی به نوروپین‌های متفاوت بدهد [۶]. نوروپین‌ها برای تکوین و حفظ سیستم عصبی محیطی و مرکزی حیاتی هستند و بقاء، تمایز، توقف رشد و آپوپتوز نورون‌های حسی را کنترل می‌کنند [۷]. از خانواده نوروپین‌ها می‌توان به نوروپین ۴ اشاره کرد. در رت‌ها، بیان ژن نوروپین ۴ روی کروموزوم ۱ و در انسان‌ها، روی کروموزوم ۹ است [۸]. نوروپین ۴ از نظر تبادلی با فاکتور رشد عصب، ۴۸ درصد شباهت دارد و دارای دو زبرواحد ۱۳۰ اسید آمینه‌ای است. از نظر تکاملی، مشخصه غیرمتعارفی در مقایسه با سایر نوروپین‌ها دارد. در ناحیه گره سیستمین یک محل برای تحمل تغییرات بدون تأثیر بر ساختار نوروپین و برهم‌کنش آن با گیرنده است [۹]. نوروپین ۴ در هیپوکمپ، هیپوتالاموس، نورون‌های دوپامینرژیک مغز میانی و سیتوپلاسم نورون‌های گره پشتی و شاخه پشتی L3 و L6 گلیاها بیان می‌شود [۱۰]. به واسطه آسیب‌های وارد شده به سیستم عصبی مرکزی، همچون آسیب ضایعه نخاعی، میزان بیان ژن نوروپین‌های متفاوت تغییر می‌کند. نوروپین‌ها رشد آکسونی و بقای نورونی برای بهبود آسیب‌های دستگاه عصبی مانند ضایعه نخاعی را تعدیل می‌کنند [۱۱]. در صورتی که نوروپین‌ها به بخش طناب نخاعی انتقال یابند، می‌توانند عملکرد حسی و حرکتی را بهبود بخشند و همچنین، از تخریب نورون‌ها جلوگیری به عمل آورند. ورزش می‌تواند برخی از انتقال‌دهنده‌های عصبی و بیان نوروپین‌ها را تغییر دهد [۱۲]. مطالعات اثرهای مثبت فعالیت بدنی و ورزشی را بر مغز (وزن مغز، محتوای نوروترنسمیترها، شکل‌پذیری سیناپسی، نورونز هیپوکمپ در بزرگ‌سالی، آنژیوژنز، سیناپتوژنز، افزایش بقاء و تمایز سلول‌های عصبی و همچنین، افزایش نوروپین‌ها) نشان داده‌اند، این تغییرات با عملکرد رفتاری نیز مرتبط است [۱۳]. مکانیسم بیولوژیکی اختصاصی که در ترمیم نخاع وجود دارد، هنوز تا حد زیادی ناشناخته باقی مانده است؛ ولی این احتمال وجود دارد که ترکیباتی که در فاز ثانویه جراحی تولید می‌شوند، نقش مهمی در این ترمیم ایفا کنند [۱۴]؛ بنابراین، درک و شناخت چگونگی اثرهای مثبت فعالیت بدنی منظم و تمرینات ورزشی در فاز ثانویه ضایعه نخاعی، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، با توجه به اینکه درمان‌های مؤثر در آینده باید ترکیبی از چند روش برای بهبود بیماری باشند، بدین منظور باید اثر تمرینات منتخب بر فاکتورهای نوروپین‌ها که در بقاء و رشد نورون‌ها، باززایی آکسون‌ها، تنظیم رشد آکسون و دندریت‌ها، تشکیل سیناپس و بقای نورن‌های بالغ نقش مهمی دارند، بررسی شود. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر چهار هفته تمرین منتخب بر بیان ژن نوروپین ۴ در هیپوکمپ رت‌های مبتلا به ضایعه نخاعی بود.

روش کار

این مطالعه که از نوع تجربی است، روی رت‌های نژاد ویستار در آزمایشگاه حیوانات دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی انجام شد. رت‌های نر بالغ و جوان با وزن ۲۲۵ الی ۲۷۵ گرم و سن ۱۰ تا ۱۲ هفته وارد مطالعه شدند. حیوانات در دمای محیطی 22 ± 3 درجه

ضایعه نخاعی بود. برای انجام این تست، ابتدا هر رت به طور جداگانه در داخل محفظه باز (Open Field) قرار گرفت و دو مشاهده‌گر بی‌اطلاع (Blind) به مدت ۴ دقیقه به رت‌ها بر اساس سیستم نمره‌دهی BBB نمره دادند [۱۸]. در این تست، میزان حرکت سه مفصل اندام تحتانی و دم مدنظر است. این تست در ۴ هفته تمرین انجام شد.

۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه تمرین و در حالت ۱۲ ساعت ناشتایی، ابتدا رت‌ها با تزریق صفاقی کتامین (۱۰۰ mg/ Kg) - زایلازین (mg/ ۱۰ Kg) بی‌هوش شدند. سپس، رت‌ها به منظور جمع‌آوری نمونه بافتی جراحی شدند. بدین ترتیب که ابتدا، پس از شکستن جمجمه، مغز به صورت کامل و بدون آسیب خارج شد. سپس، دو نیم‌کره بدون تخریب به کمک تیغ بیستوری ۲۴ از هم جدا شدند، در آخر هم جداسازی هیپوکامپ از نیم‌کره روی مخ انجام گرفت و به میکروتیوب ml ۱.۵ حاوی بافر RNA-Later منتقل شد. در انتها، نمونه‌ها برای نگهداری، به فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. بقایای حیوانات در چاه سپتیک معدوم شد.

بررسی بیان ژن

تست‌های مولکولی به منظور سنجش تغییرات بیان ژن نروتروفین ۴، با استفاده از روش qRT-PCR انجام شدند. بر اساس کیت استخراج RNA (Addbio Co, Korea)، RNA استخراج و سنتز cDNA انجام شد و در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای ژن نروتروفین ۴، پرایمر به صورت Exon-Exon junction توسط نرم‌افزارهای PRIMER3 و نرم-افزار آنلاین IDT DNA طراحی شد و برای سنتز به شرکت ژن فناوریان مستقر در شهر اصفهان سفارش داده شد. توالی و مشخصات این پرایمرها در جدول ۱ بیان شده است. واکنش Real time qPCR برای ژن هدف نروتروفین ۴ مطابق با جدول ۲ انجام شد. برنامه دمایی شامل ۴ مرحله ذکرشده در جدول ۳ تنظیم شد. در انتها، داده‌های حاصل با استفاده از فرمول $2^{-\Delta\Delta Ct}$ محاسبه و میزان بیان ژن‌های هدف با نتیجه حاصل از ژن رفرنس $Actin \beta$ نرمالیزه شدند.

همچنین کنترل عفونت‌های ناشی از جراحی، استامینوفن (۵ سی‌سی شربت حل‌شده در ۲۵۰ سی‌سی آب) به مدت سه روز، ویتامین ب به صورت تزریق عضلانی (یک‌دهم سی‌سی) روزانه به مدت یک هفته و جنتامایسین (یک‌دهم سی‌سی) به صورت روزانه تا ۳ روز برای حیوانات در تمامی گروه‌ها در نظر گرفته شد. شکل ۱ مراحل ایجاد ضایعه نخاعی و انجام آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

تمرینات ورزشی

پس از اطمینان یافتن از حصول ضایعه نخاعی و دو هفته پس از ایجاد ضایعه در رت‌ها، پروتکل‌های تمرین هوازی که در مطالعات قبلی استفاده شده بودند، به صورت زیر انجام گرفت [۱۷].

پروتکل تمرینی اول شامل دویدن روی نوار گردان با سرعت ثابت ۹ متر در دقیقه در ۴ هفته و ۶ جلسه در هر هفته، صبح‌ها انجام شد. زمان تمرین در هفته اول ۱۰ دقیقه، هفته دوم ۱۵ دقیقه، هفته سوم ۲۰ دقیقه و در هفته چهارم ۳۰ دقیقه بود.

پروتکل تمرینی دوم ۱۲ جلسه در هفته (۶ جلسه صبح و ۶ جلسه عصر) به مدت چهار هفته انجام شد. تمامی جلسات تمرینی با سرعت ۸ متر بر دقیقه بود. زمان تمرین در هفته اول ۵ دقیقه، در هفته دوم ۵ تا ۱۰ دقیقه (با ۵ دقیقه آغاز شد و هر روز ۱ دقیقه افزایش یافت)، در هفته سوم ۱۰ تا ۱۵ دقیقه (با ۱۰ دقیقه آغاز شد و هر روز ۱ دقیقه افزایش یافت) و در هفته چهارم ۱۵ دقیقه بود. شایان ذکر است که در این گروه تمرینی، به هنگام صبح و عصر تمرینات با سرعت و مدت کاملاً یکسان انجام گرفت.

روش انجام تست حرکتی

به منظور ارزیابی بهبود حرکتی اندام تحتانی مدل‌های آسیب نخاعی رت، تست حرکتی BBB Score اجرا شد. ۲۴ ساعت بعد از جراحی، تست BBB انجام شد و حیواناتی که آسیب دیده بودند، در صورتی که نمره آسیب‌دیدگی‌شان از صفر کمتر بود، از مطالعه خارج شدند. شروع ارزیابی بهبود حرکتی بر اساس این تست نیز دو هفته پس از ایجاد



شکل ۱. مراحل ایجاد ضایعه نخاعی و انجام آزمایش‌ها، (۱) تراشیدن موهای پشت حیوان، (۲) انجام لامینکتومی، (۳) بخیه‌زدن پشت حیوان و ریکواری پس از جراحی، (۴) انجام تمرینات ورزشی در حیوان دارای ضایعه نخاعی.

جدول ۱. مشخصات پرایمرها

PCR Product (nt)	TM (°C)	Target	Primer
۲۰۰	۵۹/۵۶	Actin β	F: CGCGAGTACAACCTTCTTGC
	۵۹/۰۸		R: ATACCCACCATCACACCCTG
۱۸۲	۵۹/۳۰	NT4	F : AGCTCAGTCTGTGTGGAATG
	۶۰/۰۷		R: CTCTTGCCAGGGTAAGTCAGG

جدول ۲. مقادیر مورد نیاز از مواد لازم برای انجام واکنش Real-time PCR

مواد لازم	حجم مورد استفاده (میکرولیتر)
مسترمیکس سایبرگرین	۱۰
مخلوط جفت پرایمر	۲
DNase free H2O	۶
cDNA	۲

جدول ۳. برنامه دمایی برای انجام واکنش Real-time PCR

مرحله	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	سیکل
Hold	۹۵	۳	۱ بار
دنا تورا سیون	۹۵	۳۰	
اتصال پرایمر	۵۸	۲۰	۴۵ بار تکرار
طویل سازی	۷۲	۳۰	

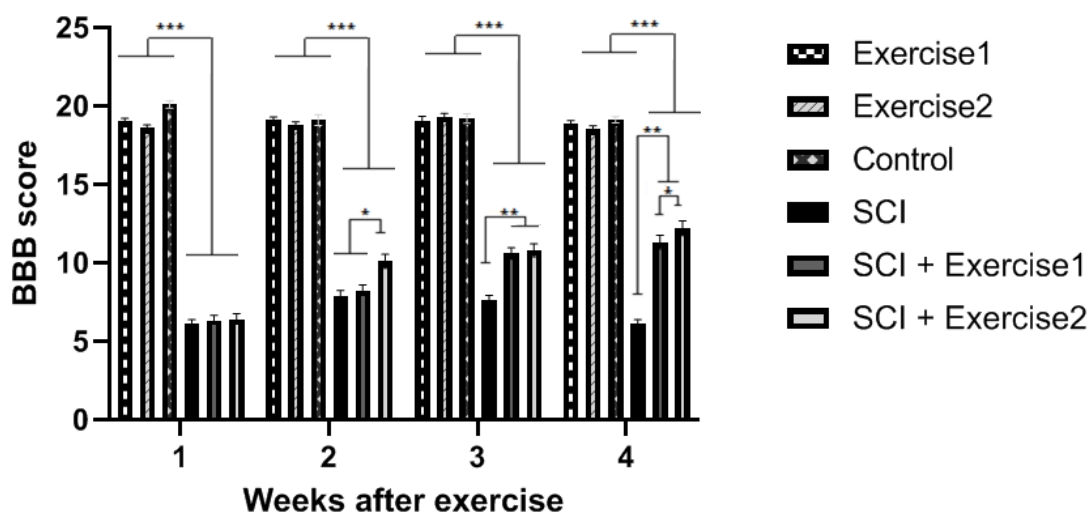
تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از استخراج نتایج، از آمار توصیفی برای تعیین شاخص‌های میانگین و انحراف معیار و همچنین، ترسیم جدول‌ها و نمودارها استفاده شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون شاپیروویلیک، برای پی‌بردن به صحت پیش‌فرض‌های تحقیق و تجزیه و تحلیل اطلاعات و بررسی معنی‌دار بودن تفاوت میانگین‌ها، از آمار استنباطی آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) برای مقایسه تغییرات واریانس بین گروهی استفاده شد. همچنین، به منظور مقایسه گروه‌ها با یکدیگر از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. تجزیه و تحلیل اطلاعات توسط نرم‌افزار SPSS 20.0 و ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار Graphpad prism انجام شد. همچنین، ملاک تصمیم‌گیری برای پذیرفتن یا نپذیرفتن فرضیه‌ها سطح $P \leq 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

از ۴۲ رت به کار گرفته شده در این مطالعه، ۳۳ رت تا پایان مطالعه زنده ماندند و بررسی شدند. در گروه سالم ۱ حیوان، در گروه سالم با تمرین

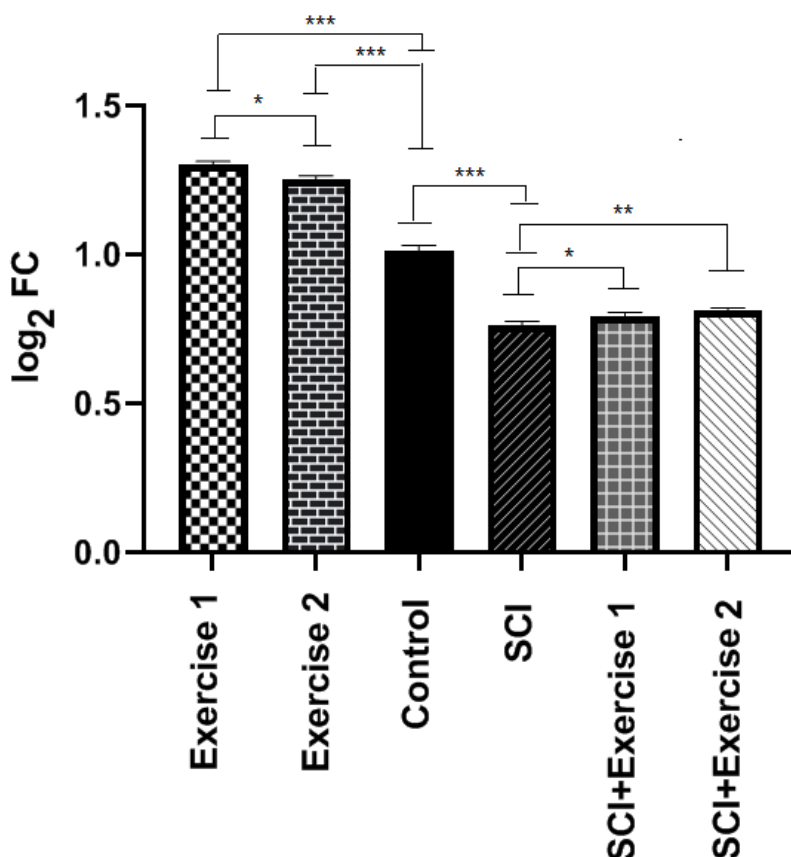
دوم ۱ حیوان، در گروه نخاعی ۲ حیوان و در گروه ضایعه نخاعی با تمرین اول ۳ حیوان و در گروه ضایعه نخاعی با تمرین دوم ۲ حیوان تلف شدند. ارزیابی تست حرکتی ۲۴ ساعت پس از جراحی و ایجاد ضایعه نخاعی، صفر بودن نمره را برای حیوانات نشان داد. میانگین نمرات تست حرکتی دوه‌دو گروه‌ها در هفته‌های بعد از آسیب ارزیابی شد. شکل ۲ نمودار مقایسه نمرات تست حرکتی را بین گروه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، میانگین نمرات تست حرکتی در گروه دریافت‌کننده تمرین دوم در هفته دوم بعد از آسیب و گروه تمرین اول در هفته سوم بعد از آسیب نخاعی، در مقایسه با نمرات تست حرکتی گروه آسیب، افزایش معناداری داشت ($P < 0.05$). همچنین، نمرات گروه سالم در همه هفته‌ها در مقایسه با سایر گروه‌ها تفاوت معنی‌داری داشت ($P < 0.001$). میانگین نمره حرکتی در هفته چهارم بعد از آسیب به ترتیب ۲۰/۵، ۲۰، ۲۱، ۸/۲، ۱۱/۵ و ۱۲/۲ در گروه‌های کنترل سالم، سالم با پروتکل تمرینی اول، سالم با پروتکل دوم، ضایعه نخاعی، ضایعه نخاعی با پروتکل تمرینی اول و ضایعه نخاعی با پروتکل تمرینی دوم بود.



شکل ۲. نمودار مقایسه نمرات تست حرکتی در بین گروه‌ها، $P < 0.05$ ، $P < 0.01$ ، $P < 0.001$ ، $P < 0.0001$ ، داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار ارائه شده‌اند. تعداد رت‌ها در گروه سالم ۶ سر، در گروه سالم با تمرین اول ۷ سر، در گروه سالم با تمرین دوم ۶ سر، در گروه ضایعه نخاعی با تمرین اول ۴ سر و در گروه ضایعه نخاعی با تمرین دوم ۵ سر بودند.

آسیب نخاعی + تمرین ۲ با ($P < 0/01$) نسبت به گروه آسیب نخاعی افزایش داشت؛ اما این افزایش بیان بین دو گروه آسیب نخاعی + تمرین تفاوت معناداری نداشت. از طرف دیگر، گروه تمرین ۱ (تمرین ۱ بدون آسیب نخاعی) نسبت به گروه سالم با ($P < 0/001$) افزایش بیان ژن نروتروفین ۴ را نشان داد و در گروه تمرین ۲ هم به صورت مشابهی نسبت به گروه کنترل، افزایش بیان ژن نروتروفین ۴ را مشاهده شد ($P < 0/001$). شایان ذکر است که نروتروفین ۴ در گروه تمرین ۱ نسبت به گروه تمرین ۲ افزایش معناداری را نشان داد ($P < 0/05$).

مطابق دستورالعمل ذکر شده در بخش قبل، استخراج RNA صورت گرفت و پس از بررسی غلظت و خلوص آن، یک نمونه RNA استخراج شده به ژل آگارز ۱/۵ درصد منتقل شد. مشاهده باندهای مربوط به 1AstrRNA (۱/۹ Kb) و 2AstrRNA (۵ Kb) صحت استخراج RNA را تأیید می‌کند. شکل ۳ نتایج بیان ژن نروتروفین ۴ را در گروه‌های مختلف نشان می‌دهد. بیان ژن نروتروفین ۴ در مدل آسیب نخاعی نسبت به گروه کنترل کاهش معناداری داشت ($P < 0/001$)، بیان نروتروفین ۴ در گروه آسیب نخاعی + تمرین ۱ با ($P < 0/05$) و در گروه



شکل ۳. نتایج بیان ژن نروتروفین ۴ در گروه‌های مورد مطالعه از بافت هیپوکمپ حیوانات. $P < 0/05$ ، * $P < 0/01$ ، ** $P < 0/001$ ، *** داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار ارائه شده‌اند. تعداد رت‌ها در گروه سالم ۶ سر، در گروه آسیب نخاعی ۶ سر، در گروه آسیب نخاعی + تمرین اول ۷ سر، در گروه سالم با تمرین دوم ۶ سر، در گروه نخاعی ۵ سر و در گروه ضایعه نخاعی با تمرین دوم ۵ سر بودند.

ممکن است شبیه به فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز (BDNF) باشد؛ زیرا هر دو با *trkB* تعامل دارند. Chung و همکاران، طی مطالعات خود نشان دادند که در مدل رت انسداد شریان میانی مغزی، ایسکمی باعث کاهش بیان *NT-4* و *trkB* می‌شود. ورزش تردمیل بیان *NT-4* را در نیم کره طرف مقابل در رت‌های مبتلا به آسیب ایسکمیک افزایش داده است. *TrkB* همچنین، الگوهای مشابه نروتروفین‌های خود را نشان داد [۱۹]. Fathi و همکاران، طی مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۱ نشان دادند که هشت هفته تمرین استقامتی موجب افزایش بیان ژن پروتئین *NT4/5* در عضلات رت‌های نر نژاد ویستار می‌شود [۲۰]. Yazdanian و همکاران،

بحث

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر دو نوع برنامه تمرینی بر بیان ژن نروتروفین ۴ و عملکرد حرکتی در مدل آسیب نخاعی بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیان ژن نروتروفین ۴ بافت هیپوکمپ در هر دو گروه تمرین ۱ و تمرین ۲ بر روی تردمیل در مقایسه با گروه کنترل و گروه آسیب نخاعی افزایش معناداری داشت. البته در گروه آسیب نخاعی، تفاوت بین دو نوع تمرین معنادار نبود. نروتروفین ۴ متعلق به خانواده فاکتورهای نوروتروفیک است و با گیرنده تیروزین کیناز B (*trkB*) تعامل دارد. *NT-4* دارای اثرهای محافظت‌کننده عصبی است. نقش *NT-4*

تست عملکرد حرکتی در کنار بررسی بیان ژن نروتروفین ۴ بود. از آنجایی که پروتکل‌های اصلی درمانی امروزه به سمت پروتکل‌های ترکیبی می‌روند، استفاده هم‌زمان از پروتکل‌های ورزشی همراه با پروتکل‌های دارویی و همچنین، پروتکل‌های تحریکی همچون استفاده از تحریک الکتریکی عملکردی می‌توانند ارزیابی‌ها را تکمیل کنند و راهکارهای مناسب‌تری را برای درمان آسیب نخاعی پیش روی محققان قرار دهند. همچنین، ارزیابی سایر مدل‌های نخاعی و بررسی سایر فاکتورهای مرتبط نیز می‌تواند به این مهم کمک کند.

انجام این تحقیق همراه با مشکلات زیادی از جمله تلف شدن رت‌ها در مراحل متعدد لامینکتومی، ضایعه نخاعی و نگهداری پس از آن بود. به طوری که از مجموع ۴۲ سر رت مورد آزمایش، ۳۳ سر زنده ماندند. مهم‌ترین مشکل نگهداری رت‌های دارای ضایعه نخاعی به مدت ۶ هفته بود. بیشترین تلفات به گروه‌های ضایعه نخاعی، به خصوص در دو هفته اول بعد از عمل جراحی مربوط بود که علت آن زخم شدن و خوردن پنجه‌های پا بر اثر بی‌حسی و در نتیجه، عفونت شدید یا پاره شدن مثانه به‌طور خودبه‌خود بر اثر احتباس ادراری یا پاره شدن آن در حین تخلیه بر اثر فشار بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که میانگین نمرات تست حرکتی در گروه دریافت‌کننده تمرین دوم در هفته دوم بعد از آسیب و گروه تمرین اول در هفته سوم بعد از آسیب نخاعی، در مقایسه با نمرات تست حرکتی گروه آسیب، افزایش معناداری داشت ($P < 0.05$). بیان ژن نروتروفین ۴ در مدل آسیب نخاعی نسبت به گروه کنترل کاهش معناداری داشت، همچنین، نروتروفین ۴ در گروه آسیب نخاعی + تمرین ۱ و در گروه آسیب نخاعی + تمرین ۲ نسبت به گروه آسیب نخاعی افزایش داشت؛ اما این افزایش بیان بین دو گروه آسیب نخاعی + تمرین، تفاوت معناداری نداشت؛ بنابراین، پروتکل‌های تمرینی در این مطالعه، علاوه بر ایجاد بهبود حرکتی در حیوانات دچار ضایعه نخاعی، بر بیان ژن نروتروفین ۴ مؤثر بودند و می‌توانند عاملی برای رشد آکسونی و بقای نورونی در بهبودی ضایعه نخاعی باشند.

سپاسگزاری

نویسندگان از کارکنان محترم آزمایشگاه حیوانات و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی کمال تشکر را دارند.

تعارض منافع

در رابطه با انتشار مقاله تسلیمی تعارض منافی وجود ندارد.

در سال ۲۰۱۹ نشان دادند که ایسکمی مغزی با مرگ نورونی درخور توجهی در ناحیه CA1 هیپوکامپ همراه است؛ اما ورزش به‌طور معنی‌داری مرگ سلولی ناشی از ایسکمی را کاهش می‌دهد. بیان *NT-4* در گروه کنترل + ایسکمی و در گروه ورزش + ایسکمی در مقایسه با گروه کنترل + سالم به‌طور معنی‌داری کمتر بوده است؛ اما از نظر بیان *NT-4* بین گروه کنترل + ایسکمی و گروه ورزش + ایسکمی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است [۲۱]. در این مطالعه، با به‌کارگیری پروتکل‌های ورزشی، افزایش کارایی حرکتی در رت‌های دارای آسیب نخاعی مشاهده شد. نتایج ارزیابی‌های حرکتی نیز بهبود حرکتی حیوان دچار ضایعه نخاعی را نسبت به گروه آسیب نخاعی و گروه‌های سالم نشان می‌دهد. فعالیت بدنی برنامه‌ریزی‌شده، ساختاریافته و تکراری طراحی‌شده موجب تشکیل شبکه‌های نخاعی و ماهیچه‌های اسکلتی می‌شود که اثرهای مفید درخور توجهی بر مجموعه‌ای از سیستم‌های عملکردی می‌گذارد [۲۲]. ورزش به‌سرعت و به‌طور برجسته بر جوانه‌زدن دندرتیک، اتصالات سیناپسی، تولید و تنظیم انتقال‌دهنده‌های عصبی و هموستاز یونی تأثیر می‌گذارد. طبق مطالعات اخیر، افزایش نروتروفین‌های ناشی از ورزش به‌عنوان سنگ بنای پیونددهنده بسیاری از این اثرها به هم مرتبط است [۲۳]. ورزش ترمیم به‌طور گسترده‌ای، راهبردی مؤثر برای بازیابی عملکرد حرکتی پس از آسیب نخاعی در نظر گرفته می‌شود. با این حال، شدت تمرینی خاص که ریکواری را بهینه می‌کند، مبنای مکانیکی زیربنایی‌اش نامشخص است؛ از این‌رو، در این مطالعه به بررسی تأثیر دو نوع تمرین با شدت‌های مختلف روی ترمیم در رت‌های دچار ضایعه نخاعی از طریق ارزیابی مولکولی بافت هیپوکامپ پرداخته شد. همراهی پروتکل ورزش با ترمیم با دریافت داروهای رایج در درمان آسیب نخاعی، سنجش میزان نوروژنز نخاعی در گروه‌های مورد مطالعه و سنجش RNAهای غیرکدکننده و miRNAهای مسیر PI3K/AKT نیز می‌توانند در تحقیقات بعدی بررسی شوند.

مدل آسیب طناب نخاعی استفاده‌شده در این مطالعه از نوع له‌شدگی است که با توجه به مطالعات قبلی، بعد از ایجاد آسیب برای تأیید صحت ایجاد مدل، ۲۴ ساعت بعد تست حرکتی انجام شد و نمره رت‌های آسیب‌دیده صفر بود. نحوه ایجاد مدل آسیب طناب نخاعی از نوع رهاکردن وزنه بود که در مطالعات قبلی برای ایجاد آسیب از نوع له‌شدگی از این روش استفاده شده و تأیید شده بود [۱۵]. به ارزیابی سایر مدل‌های آسیب نخاعی نیز می‌تواند در تحقیقات بعدی توجه شود. از جمله نقاط قوت این مطالعه ارزیابی مدل آسیب نخاعی بر اساس

References

- Maier IC, Schwab ME. Sprouting, regeneration and circuit formation in the injured spinal cord: factors and activity. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2006;361:1611-1634. DOI: 10.1098/rstb.2006.1890 PMID: 16939978
- Lim PA, Tow AM. Recovery and regeneration after spinal cord injury: a review and summary of recent literature. *Ann Acad Med Singap*. 2007;36(1):49-57. PMID: 17285186
- Schirò G, Iacono S, Ragonese P, Aridon P, Salemi G, Balistreri CRA. A brief overview on BDNF-Trk pathway in the nervous system: a potential biomarker or possible target in treatment of multiple sclerosis?. *Front Neurol*. 2022;13:1-14. DOI: 10.3389/fneur.2022.917527 PMID: 35911894

4. Hallbook F, Ibanez CF, Persson H. Evolutionary studies of the nerve growth factor family reveal a novel member abundantly expressed in *Xenopus* ovary. *Neuron*. 1991;**6**(5):845-858. DOI: [10.1016/0896-6273\(91\)90180-8](https://doi.org/10.1016/0896-6273(91)90180-8) PMID: 2025430
5. Harada C, Harada T, Quah HM, Namekata K, Yoshida K, Ohno S. Role of neurotrophin-4/5 in neural cell death during retinal development and ischemic retinal injury in vivo. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005;**46**(2):669-673.
6. Ying Z, Roy RR, Zhong H, Zdanowski S, Edgerton VR, Gomez-Pinilla F. BDNF-exercise interactions in the recovery of symmetrical stepping after a cervical hemisection in rats. *Neuroscience*. 2008;**155**(4):1070-1078. DOI: [10.1016/j.neuroscience.2008.06.057](https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.06.057) PMID: 18672032
7. Barker PA, Mantyh P, Arendt-Nielsen L, Viktrup L, Tive L. Nerve growth factor signaling and its contribution to pain. *J Pain Res*. 2020;**13**:1223-1241. DOI: [10.2147/JPR.S247472](https://doi.org/10.2147/JPR.S247472) PMID: 32547184
8. Hibbert AP, Morris SJ, Seidah NG, Murphy RA. Neurotrophin-4, alone or heterodimerized with brain-derived neurotrophic factor, is sorted to the constitutive secretory pathway. *J Biol Chem*. 2003;**278**(48):48129-48136. DOI: [10.1074/jbc.M300961200](https://doi.org/10.1074/jbc.M300961200) PMID: 12970359
9. Jung SY, Seo TB, Kim DY. Treadmill exercise facilitates recovery of locomotor function through axonal regeneration following spinal cord injury in rats. *J Exerc Rehabil*. 2016;**12**(4):284-292. DOI: [10.12965/jer.1632698.349](https://doi.org/10.12965/jer.1632698.349) PMID: 27656624
10. Lessmann V, Gottmann K, Malcangio M. Neurotrophin secretion: current facts and future prospects. *Prog Neurobiol*. 2003;**69**(5):341-374. DOI: [10.1016/s0301-0082\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/s0301-0082(03)00019-4) PMID: 12787574
11. Chao T, Askari S, De Leon R, Won D. A system to integrate electrical stimulation with robotically controlled treadmill training to rehabilitate stepping after spinal cord injury. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2012;**20**(5):730-737. DOI: [10.1109/TNSRE.2012.2202292](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2012.2202292) PMID: 22692941
12. Barde YA, Edgar D, Thoenen H. Purification of a new neurotrophic factor from mammalian brain. *EMBO J*. 1982;**1**(5):549-553. DOI: [10.1002/j.1460-2075.1982.tb01207.x](https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1982.tb01207.x) PMID: 7188352
13. Voss MW, Vivar C, Kramer AF, van Praag H. Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity. *Trends Cogn Sci*. 2013;**17**(10):525-544. DOI: [10.1016/j.tics.2013.08.001](https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.08.001) PMID: 24029446
14. Silva NA, Sousa N, Reis RL, Salgado AJ. From basics to clinical: a comprehensive review on spinal cord injury. *Prog Neurobiol*. 2014;**114**:25-57. DOI: [10.1016/j.pneurobio.2013.11.002](https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.11.002) PMID: 24269804
15. Salarinia R, Sadeghnia HR, Alamdari DH, Hoseini SJ, Mafinezhad A, Hosseini M. Platelet rich plasma: Effective treatment for repairing of spinal cord injury in rat. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2017;**51**(3):254-257. DOI: [10.1016/j.aott.2017.02.009](https://doi.org/10.1016/j.aott.2017.02.009) PMID: 28462801
16. Rodrigues NR, Letaif OB, Cristante AF, Marcon RM, Oliveira RP, Barros Filho TE. Standardization of spinal cord injury in Wistar rats. *Acta Ortop Bras*. 2010;**18**(4):182-186.
17. 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 Physiol Biochem*. 2011;**67**(2):235-241. DOI: [10.1007/s13105-010-0068-9](https://doi.org/10.1007/s13105-010-0068-9) PMID: 21207218
18. Barros Filho TE, Molina AE. Analysis of the sensitivity and reproducibility of the Basso, Beattie, Bresnahan (BBB) scale in Wistar rats. *Clinics*. 2008;**63**(1):103-108. DOI: [10.1590/s1807-59322008000100018](https://doi.org/10.1590/s1807-59322008000100018) PMID: 18305873
19. Chung JY, Kim MW, Bang MS, Kim M. Increased expression of neurotrophin 4 following focal cerebral ischemia in adult rat brain with treadmill exercise. *PLoS One*. 2013;**8**(3):e52461. DOI: [10.1371/journal.pone.0052461](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052461) PMID: 23526925
20. Fathi M, Ahmadabadi S. The effect of endurance training on increase of myoD gene expression in rat slow and fast-twitch muscles. *Armaghane Danesh*. 2021;**26**(4):634-645.
21. Yazdani M, Moazami M, Shabani M, Cheragh Birjandi S. Effects of exercise preconditioning on neurotrophin-4 and tropomyosin receptor kinase B expression in the hippocampal CA1 region following transient global cerebral ischemia/reperfusion in Wistar rats. *Med Lab J*. 2019;**13**(6):23-28. DOI: [10.29252/mlj.13.6.23](https://doi.org/10.29252/mlj.13.6.23)
22. Legg Ditterline BE, Aslan SC, Randall DC, Harkema SJ, Castillo C, Ovechkin AV. Effects of respiratory training on heart rate variability and baroreflex sensitivity in individuals with chronic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018;**99**(3):423-432. DOI: [10.1016/j.apmr.2017.06.033](https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.06.033) PMID: 28802811
23. Bilchak JN, Caron G, Côté MP. Exercise-induced plasticity in signaling pathways involved in motor recovery after spinal cord injury. *Int J Mol Sci*. 2021;**22**(9):48-58. DOI: [10.3390/ijms22094858](https://doi.org/10.3390/ijms22094858) PMID: 34064332