

## Does Movement Training Enable Patients with Complete Thoracolumbar Spinal Cord Injury to Walk? A Preliminary Trial

Jalil Arabkheradmand<sup>1</sup>, Mohsen Ghassami<sup>2</sup>, Mahsa Asheghan<sup>3</sup>, Parisa Rashidzadeh<sup>4</sup>,  
Sohrab Hashemi Fesharaki<sup>5</sup>, Mohammad Taghi Holisaz<sup>6</sup>, Mina Arab Baniasad<sup>7</sup>,  
Soghra Faghihzadeh<sup>8</sup>, Rashid Zargari Marandi<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Defense Health Research Center, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Occupational Therapist Rehabilitation Hiva Rehabilitation Center, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Khatam al-Anbia Hospital in Tehran, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Rehabilitation Research & Development, Department of Red Crescent Society of Iran, Tehran, Iran

<sup>5</sup> Epilepsy Comprehensive Group, Pars Hospital, Tehran, Iran

<sup>6</sup> Baqyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>7</sup> Mechanical Engineering Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

<sup>8</sup> Zanzan University of Medical Sciences (ZUMS), Zanzan, Iran

Received: 22 October 2022 Accepted: 20 November 2022

### Abstract

**Background and Aim:** The purpose of this study was to evaluate the potential benefits of motor training in patients with complete thoracolumbar spinal cord injury.

**Methods:** In an outpatient physical medicine and rehabilitation clinic in Tehran, a preliminary clinical trial was conducted on an available sample. Twenty-five patients with complete spinal cord injury were included in this study. All patients were paraplegic and complete spinal cord injury was proven for them by para clinical methods. All patients participated in a comprehensive rehabilitation training program that was personalized. This program included a combination of the Swiss ball and the use of ankle orthosis, as well as ankle and knee long leg orthosis and the use of a parallel bar.

**Results:** Fourteen of the participants were men and 11 were women. The age of the participants was between 19 and 52 years with an average of 31.54 years. Gait information, somatosensory evoked potential response and magnet motor evoked potential were recorded from all of them. Our study showed that individualized exercise program enables patients with complete spinal cord injury to move. After receiving movement intervention, the patients were able to walk and continued.

**Conclusion:** Movement training can stimulate the production of response in complete spinal cord injury. At the same time, motor training does not improve neurological deficits in patients with complete spinal cord injury.

**Keywords:** Spinal Cord Injury, Thoracolumbar, Movement Training.

\* Corresponding Author: Jalil Arabkheradmand

Address: Defense Health Research Center, Tehran, Iran.

E-mail: arabkheradmand@gmail.com



## آیا تمرین حرکتی به بیماران مبتلا به ضایعه نخاعی کامل تورا کولومبار قابلیت راه رفتن می دهد؟ یک کارآزمایی مقدماتی

جلیل عرب خردمند<sup>۱</sup>، محسن قسامی<sup>۲</sup>، مهسا عاشقان<sup>۳</sup>، پریسا رشیدزاده<sup>۴</sup>، سید سهراب هاشمی فشارکی<sup>۵</sup>،  
محمدتقی حلی ساز<sup>۶</sup>، مینا عرب بنی اسد<sup>۷</sup>، سقراط فقیه زاده<sup>۸</sup>، رشید زرگری مرندي<sup>۶</sup>

<sup>۱</sup> مرکز تحقیقات سلامت دفاعی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> مرکز توانبخشی هیوا، تهران، ایران

<sup>۳</sup> بیمارستان فوق تخصصی خاتم الانبیاء، تهران، ایران

<sup>۴</sup> اداره تحقیق و توسعه توانبخشی هلال احمر جمهوری اسلامی ایران، تهران، ایران

<sup>۵</sup> بیمارستان پارس، تهران، ایران

<sup>۶</sup> دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

<sup>۷</sup> گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

<sup>۸</sup> دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

### چکیده

**زمینه و هدف:** هدف از انجام پژوهش حاضر ارزیابی مزایای بالقوه آموزش حرکتی در بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی تورا کولومبار بود.

**روش ها:** در یک کلینیک سرپایی طب فیزیکی و توانبخشی در تهران یک کارآزمایی بالینی اولیه روی یک نمونه در دسترس انجام گردید. ۲۵ بیمار مبتلا به ضایعه کامل نخاعی به این مطالعه وارد شدند. همه بیماران پارالیزیک بوده و با روش های پاراکلینیکی، ضایعه کامل نخاعی برای آن ها اثبات شده بود. همه بیماران در یک برنامه کامل آموزشی توانبخشی که شخصی سازی شده بود شرکت کردند. این برنامه شامل ترکیبی از توپ سوئیسی و کاربرد ارتز مچ پا و نیز ارتز ساق بلند مچ پا و زانو و استفاده از میله پارالل بود.

**یافته ها:** از کل شرکت کنندگان ۱۴ نفر مرد و ۱۱ زن بودند. سن شرکت کنندگان بین ۱۹ تا ۵۲ سال با میانگین ۳۱/۵۴ سال بود. اطلاعات راه رفتن، پاسخ پتانسیل برانگیخته حسی-تنی و پتانسیل برانگیخته مغناطیسی حرکتی از همه آن ها ثبت شد. این مطالعه نشان داد که برنامه تمرین فردی، بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی را قادر می سازد تا حرکت کنند. بیماران پس از دریافت مداخله حرکتی توانایی راه رفتن را احراز و ادامه دادند.

**نتیجه گیری:** تمرین حرکتی می تواند تولید پاسخ را در ضایعه کامل نخاعی تحریک کند. در عین حال، تمرین حرکتی باعث بهبود نقایص عصبی بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی نمی شود.

**کلیدواژه ها:** ضایعه نخاعی، تورا کولومبار، تمرین حرکتی.

## مقدمه

آسیب نخاعی بسته به شدت و سطح ضایعات ممکن است تأثیر فاجعه باری بر کیفیت زندگی بیماران داشته باشد. صدمات می‌توانند عملکردهای حسی- حرکتی و خودمختار دمی (caudal) نسبت به محل آسیب را برای همیشه از بین ببرند. بازبایی عملکردهای حرکتی چالش فعلی برنامه‌های توانبخشی است (۱،۲). گزارش شده است که فعالیت فیزیکی باعث ایجاد انعطاف پذیری عصبی شده و احتمال بازبایی عملکرد را افزایش می‌دهد (۳). بر اساس تئوری وابستگی به فعالیت (activity-dependent theory)، روش‌های درمانی مختلفی، به تنهایی یا به صورت ترکیبی، برای به حداکثر رساندن احتمال ترمیم عملکردهای حرکتی پیشنهاد شده است (۳-۵).

برخی از مطالعات بر روی انسان یا مدل‌های حیوانی نشان داد که تمرین با ترمیم توانایی راه رفتن را پس از آسیب نخاعی بهبود می‌بخشد (۸-۶). محققان گزارش کردند که مشارکت فعال بیماران در برنامه آموزشی، راه رفتن روی زمین را تسریع می‌کند (۸،۹). تحریک الکتریکی عملکردی (۱۰،۱۱) و آموزش خودکار با کمک ربات نیز برای طولانی کردن دوره تمرین (۱۲،۱۳) و برای اندازه‌گیری پیامدهای وابسته به دز مداخلات (۱۴) پیشنهاد شده است. به نظر می‌رسد زمانی که اطلاعات حسی منجر به پاسخ‌های حرکتی در غیاب ایمپالس‌های ورودی از ساختارهای فوقانی نخاع می‌شود، الگوی مرکزی تولید پاسخ ارتقاء می‌یابد (۱۵). به طور کلی، برای لزوم توانبخشی بیماران با آسیب نخاعی ناقص از طریق تمرین روی ترمیم با حمایت جزئی وزن بدن، بین صاحب‌نظران اتفاق نظر وجود دارد (۱۶).

یک تجربه روی موش‌های نخاعی نشان داد که تحریک‌پذیری پایدار در مدارهای حرکتی پس از آسیب نخاعی برای ایجاد انعطاف پذیری وابسته به فعالیت درموش‌های فلج مورد نیاز است. موش‌هایی که به کمک تحریک الکتریکی اپیدورال و آگونیست‌های مونوآمین تمرین کرده بودند، در غیاب ورودی‌های فوقانی نخاع، بهبود تحمل وزن را نشان دادند (۱۷). مطالعه دیگری بر روی یک دختر ۱۵ ساله با آسیب نخاعی کامل حرکتی مزمن (T6) انجام شد. پس از ۲ ماه آموزش راه رفتن به کمک ربات و تحریک الکتریکی، بیمار با کمک یک فیزیوتراپ توانایی راه رفتن به میزان ۲۰۰ متر را دوباره به دست آورد (۱۸).

در حالی که مطالعات متعدد بر روی توانبخشی بیماران مبتلا به آسیب نخاعی ناقص متمرکز شده‌اند، تعداد کمی از مطالعات حیوانی تأثیر تمرین حرکتی بر آسیب نخاعی کامل را بررسی کرده‌اند. با این حال، نتایج یک مطالعه حیوانی و یک گزارش موردی، شواهد کافی برای تجویز و کاربرد تمرین حرکتی برای آسیب نخاعی کامل را به دست نمی‌دهد. مطالعه‌ای که تنها با یک شرکت کننده انجام شده باشد، عدم قطعیت قابل توجهی در مورد نتایج به همراه خواهد داشت. مزایای بالینی برنامه‌های توانبخشی در آسیب نخاعی کامل نیاز به ارزیابی دقیق با حجم نمونه بزرگتر دارد (۲،۱۹).

به منظور ارزیابی و بهینه‌سازی برنامه‌های توانبخشی مجروحان جنگ ایران و عراق، یک کارگاه بین رشته‌ای ضایعات نخاعی در مرکز تحقیقات علوم اعصاب شفا (ایران، تهران) برگزار شد. اجماع حاضرین بر استفاده بیشتر از برنامه‌های توانبخشی جهت آسیب نخاعی کامل و بر همکاری روانپزشکان و مددکاران اجتماعی برای تشویق بیماران به پیگیری برنامه‌ها قرار گرفت. به طور مشخص، هدف از انجام این مطالعه بررسی مزایای بالقوه تمرین حرکتی در بیماران با آسیب نخاعی کامل بود. فرض ما بر این بود که تمرین حرکتی باعث تحریک تولید پاسخ عصبی در آسیب نخاعی کامل می‌گردد.

## روش‌ها

تحقیق حاضر یک کار آزمایی بالینی غیرتصادفی مقدماتی (pilot) بود که بر روی یک گروه انجام گردید. کلیه شرکت کنندگان نمونه در دسترس بودند که به یک کلینیک سرپایی طب فیزیکی و توانبخشی در تهران فراخوان شدند. از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ به تعداد ۲۵ بیمار که بر اساس نمره مقیاس اختلالات انجمن آسیب نخاعی آمریکا مبتلا به ضایعه نخاعی کامل توراکولومبار (T10-L1) تشخیص داده شده بودند، در مطالعه ما وارد شدند. کلیه بیماران به مدت ۳ تا ۵ ماه تحت توانبخشی قرار گرفتند. سه عضو هیئت علمی جراحی مغز و اعصاب، بیماری‌های مغز و اعصاب، و طب فیزیکی و توانبخشی، شرح حال پزشکی بیماران را تکمیل، و معاینات فیزیکی موردنظر را انجام داده و ارزیابی‌های بعدی را هدایت کردند. نماهای MRI توسط یک نفر عضو هیئت علمی رادیولوژی بررسی شد. اطلاعات دموگرافیک و تاریخچه دقیق آسیب در اولین ویزیت ارزیابی شد. بیماران مرد یا زن بالغ پاراپلژیک با تشخیص ضایعه نخاعی کامل که با تصویر برداری تأیید شده بود، برای شرکت در این مطالعه دعوت شدند. این مطالعه بر اساس اعلامیه هلسینکی انجام شد و پروتکل تحقیق به تأیید شورای اخلاق دانشگاه علوم پزشکی تهران رسید. منطق مطالعه برای شرکت کنندگان توضیح داده شد و آن‌ها قبل از مداخله رضایت نامه کتبی را امضاء کردند و به آن‌ها اطلاع داده شد که در هر زمانی می‌توانند از مطالعه خارج شوند.

### مداخله توانبخشی

بیماران سه بار در هفته در یک برنامه توانبخشی تمرین کردند. در این برنامه ابتدا تعادل تنه، تون عضلات شکم و قدرت مرکزی با استفاده از توپ سوئیسی بهبود یافت. سپس با کمک یک ارتز ساق بلند مچ پا و زانو، شرکت کنندگان جهت حفظ تعادل روی یک صفحه آموزش دیدند. مداخله با انتقال بیماران به میله پارالل ادامه یافت و بیماران به تدریج از واکر و بریس ساق کوتاه استفاده کردند. البته ما از اورتوز اصلاح شده مچ پا قابل حمل، با وزن کم (کمتر از یک پوند) و کم هزینه، نیمه سخت و به راحتی قابل پوشیدن بود (تصویر ۱). هر گونه ورود به مرحله بعدی مبتنی بر



تصویر-۱. ارتز تغییر یافته مچ پا

(سمت چپ، به جز عضله ارکتور اسپاین) از ۱۶ عضله اندام فوقانی و تحتانی با استفاده از جفت الکترودهای سطحی Ag/AgCl با فاصله مرکز تا مرکز ۲۵ میلی‌متر در پیکربندی دوقطبی، موازی با فیبرهای عضلانی ثبت شد. سیگنال‌ها از طریق تله متری WLAN در پهنای باند ۱۵ تا ۵۰۰ هرتز به سیستم جمع‌کننده داده منتقل می‌شدند. تمامی داده‌ها با سرعت ۱۲۰۰ هرتز با وضوح ۱۴ بیت نمونه برداری و دیجیتالی شدند. پوست تراشیده و با الکترولیت تمیز شد. لایه مرده با استفاده از یک کاغذ سنباده خراشیده شد تا امپدانس به زیر ۵ MΩ کاهش یابد.

#### انتخاب محل الکترودها

جهت‌گیری الکترودها به صورت زیر تنظیم شد: عضله دوسر فموریس درفاصله ۳۵ صد از توپروزیته ایسکیال به سمت جانبی حفره پوپلیته (۲۰)، رکتوس فموریس، تقریباً ۸ سانتی‌متر زیر رباط اینگوینال روی توده عضله (۲۱، ۲۲)، واستوس مدیالیس در فاصله ۵ سانتی‌متری از سمت داخلی فوقانی کشکک با زاویه ۵۰ درجه داخلی نسبت به خار قدامی فوقانی ایلیاک (۲۰)، گلوئوس ماکسیموس در ۳۰ درصد اول خط اتصال مهره دوم خاجی به تروکانتر بزرگتر (۲۰)، مایل داخلی در بالای رباط اینگوینال و بین خار قدامی فوقانی ایلیاک و خط وسط (۲۳)، مایل خارجی در سطح عرضی ناف و ۱۵ سانتی‌متر جانبی از ناف (۲۲) و رکتوس ابدومینیس در جهت سفالوترال و در نیمه راه بین ناف و سمفیز پوبیس نزدیک به خط وسط (۲۴). در خصوص کوادراتوس لومبروم نشان داده شده است که با قرار دادن الکترودها بر روی اکستانسورهای کمری در سطح L3 و ۳ سانتی‌متر جانبی خط وسط (محل الکترود عضله صاف کننده ستون فقرات- ارکتور اسپاین)، داده‌های ثبت شده می‌توانند به اندازه کافی سیگنال میوالکتریک

بهبود فعالیت بدنی و توانایی راه رفتن بیماران بود. در مرحله بعد، بیماران اورتوز اصلاح شده مچ پا را روی میله پارالل استفاده نمودند و سپس با واکر و اورتوز اصلاح شده مچ پا روی زمین تمرین کردند. بیماران از اورتوز اصلاح شده مچ پا از جنس پلاستیکی نیمه سخت در ۱۰ و ۱۵ درجه خم استفاده کردند. زاویه‌ها بر اساس وزن و قد بیمار تنظیم شده بود. در پایان برنامه، مسیرهای حسی و حرکتی با استفاده از پتانسیل برانگیخته حسی-تنتی (somatosensory evoked potential - SSEP) و پتانسیل برانگیخته مغناطیسی حرکتی (magnetic-motor evoked potential - MMEP) ارزیابی شدند. پتانسیل‌ها در اندام تحتانی قابل ثبت نبود، در حالی که اندام‌های فوقانی پاسخ طبیعی نشان دادند. اگرچه، مطالعات الکترومیوگرافی با سوزن هم مرکز، پتانسیل عمل واحد حرکتی (motor unit action potentials) نرمال را در عضلات عصب‌دهی شده از بالای ضایعه نخاعی نشان داد، اما هیچ فعالیت واحد حرکتی ارادی را در عضلات اندام تحتانی (گلوئوس مدیوس، ایلیوسواس، رکتوس فموریس، تیپالیس قدامی و گاستروکنمیوس) نشان نداد.

#### روش اندازه‌گیری و آنالیز گیت

برای ارزیابی بهتر نتایج، داده‌های سینماتیک و الکترومیوگرافی را به صورت همزمان از بیماران ثبت کردیم. از آزمودنی‌ها خواسته شد تا با سرعت دلخواه، روی یک مسیر راه بروند. داده‌های تحلیل حرکت با استفاده از یک سیستم هشت دوربینی (Vicon Motion Systems، آکسفورد، انگلستان) در ۱۲۰ هرتز که شامل شش دوربین مرجع (T40S) و دو دوربین فیلمبرداری (Bonita 720c) است، ثبت شد. سیگنال‌های الکترومیوگرافی (Myon Ltd، سوئیس) به صورت یک طرفه

شده بود (۲۹)، و سر دلتوئید خلفی، روی توده عضلانی (۳۰).

## نتایج

از ۲۵ شرکت‌کننده حاضر در مطالعه، ۱۴ نفر مرد و ۱۱ زن بودند. اطلاعات راه رفتن، پاسخ SSEP و MMEP از همه آن‌ها ثبت شد. سن شرکت‌کنندگان بین ۱۹ تا ۵۲ سال با میانگین ۳۱/۵۴ سال بود. جدول ۱ مشخصات بیماران را نشان می‌دهد. تصویر ۲ چرخه راه رفتن یک بیمار را نشان می‌دهد و تصویر ۳ سیگنال الکترومیوگرافی را در طول چرخه راه رفتن نشان می‌دهد. همانطور که در تصویر ۲ نشان داده شده است، حرکات لگن و قفسه سینه در طول راه رفتن و همچنین فعالیت عضلات اندام فوقانی و تنه قابل توجه است. برخلاف راه رفتن طبیعی، در اینجا اندام تحتانی وظیفه راه رفتن را بر عهده دارد، در بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی عضلات اندام فوقانی و تنه نقش مهمی در تولید نیروی پیشران دارند. در همه بیماران، SSEP در عصب مدیان طبیعی و در عصب تیبیال خلفی وجود نداشت (تصویر ۳). MMEP تأخیرهای طبیعی از قشر مغز تا اندام فوقانی داشتند و در اندام تحتانی غایب بودند (تصویر ۴). به‌طور کلی در یک سال پیگیری، هیچ بهبود عصبی در بیماران مشاهده نشد، اما پس از دوره درمان، کلیه آن‌ها قادر بودند با واکر و اورتوز اصلاح شده میچ پا حرکت کنند.

داخل عضلانی را حداکثر با ۱۵ درصد خطا در وظایف مختلف نشان دهند (۲۲). بنابر این ما داده‌ها را از ارکتور اسپاین سمت راست ثبت کردیم. از آنجایی که محل توسط الکترودهای کوادراتوس لومبروم اشغال شده بود، داده‌ها را از راست ارکتور اسپاین در ۳ سانتی‌متر جانبی از زائده شوکی L3 ثبت کردیم. ارکتور اسپاین (ایلیوکوستالیس) در سطح مهره دوم کمری و در فاصله ۱ سانتی‌متری از خط اتصال دهنده اسپاین ایلپاک خلفی بالاتر از نقطه تحتانی دنده پایینی قرار گرفت (۲۵) و دوزنقه تحتانی، در نیمه راه بین زائده شوکی T7 و حاشیه مهره‌ای استخوان کتف در محل اتصال ستون خار کتف به موازات جهت فیبرهای عضلانی مکان‌یابی شد (۲۶). همچنین سایر الکترودها به‌صورت زیر قرار گرفتند: لاتیسموس دورسی، تقریباً ۴ سانتی‌متر زیر نوک تحتانی کتف و وسط خط بین ستون فقرات و لبه جانبی تنه. الکتروود پس از اداکشن شانه، اکستنشن و چرخش داخلی در وضعیت نشسته روی عضله شکم قرار داده شد (۲۷)، سر طویل و بلند عضله سه سر، بین کریستای خلفی آکرومیون و اولکرانون به ترتیب در ۲/۵ سانتی‌متر میانی و جانبی خط مفروض (۲۸)، سینه‌ای ماژور (بخش جناغ سینه‌ای)، در ۱۵٪ از فاصله بین ابتدای عضله و اتصال آن در امتداد یک خط منحنی که در سمت ابتدای عضله روی جناغ کشیده

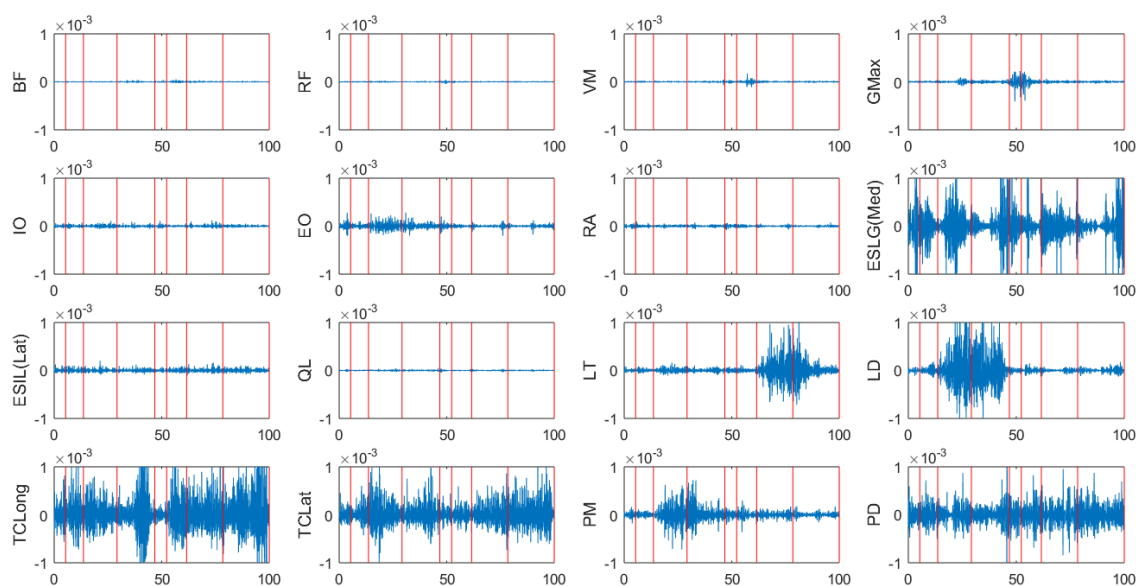
جدول-۱. خصوصیات بیماران مورد مطالعه

| پیگیری (ماه) | ارتز    | زمان شروع توانبخشی | زمان ضایعه | محل ضایعه | دلیل ضایعه    | سن (سال) | جنسیت | شماره |
|--------------|---------|--------------------|------------|-----------|---------------|----------|-------|-------|
| 12           | 2012/04 | 2011/12            | 2011/06    | T12       | تصادف اتومبیل | 32       | زن    | 1     |
| 13           | 2012/09 | 2012/05            | 2012/01    | T12       | تصادف اتومبیل | 22       | زن    | 2     |
| 21           | 2013/02 | 2011/06            | 2011/04    | T12       | تصادف اتومبیل | 35       | زن    | 3     |
| 15           | 2013/10 | 2013/07            | 2013/01    | T12       | تصادف اتومبیل | 30       | زن    | 4     |
| 17           | 2013/10 | 2013/06            | 2013/01    | T12       | تصادف اتومبیل | 28       | زن    | 5     |
| 14           | 2014/02 | 2013/09            | 2013/04    | T10       | تصادف اتومبیل | 25       | زن    | 6     |
| 12           | 2014/03 | 2013/12            | 2013/06    | T12       | تصادف اتومبیل | 25       | مرد   | 7     |
| 23           | 2013/03 | 2012/09            | 2012/04    | T12       | تصادف اتومبیل | 25       | زن    | 8     |
| 29           | 2013/02 | 2012/09            | 2012/06    | T12       | تصادف اتومبیل | 42       | زن    | 9     |
| 13           | 2014/02 | 2013/09            | 2013/04    | T12       | تصادف اتومبیل | 30       | زن    | 10    |
| 16           | 2014/06 | 2014/02            | 2013/08    | T12       | تصادف اتومبیل | 19       | زن    | 11    |
| 27           | 2012/06 | 2012/03            | 2012/02    | T12 – L1  | تصادف اتومبیل | 21       | مرد   | 12    |
| 25           | 2012/06 | 2012/01            | 2011/06    | T10 – T11 | سقوط          | 52       | مرد   | 13    |
| 12           | 2012/07 | 2012/06            | 2011/07    | T12       | سقوط          | 29       | مرد   | 14    |
| 24           | 2012/09 | 2012/07            | 2011/08    | T12       | تصادف اتومبیل | 30       | مرد   | 15    |
| 24           | 2012/09 | 2011/11            | 2011/05    | T10       | تصادف اتومبیل | 24       | مرد   | 16    |
| 36           | 2012/11 | 2011/05            | 2011/04    | T12       | تصادف اتومبیل | 27       | مرد   | 17    |
| 12           | 2012/11 | 2012/07            | 2011/07    | T12       | تصادف اتومبیل | 20       | مرد   | 18    |
| 26           | 2013/03 | 2012/11            | 2012/02    | T12       | تصادف اتومبیل | 22       | مرد   | 19    |
| 24           | 2013/06 | 2012/02            | 2011/08    | T12       | تصادف اتومبیل | 24       | مرد   | 20    |
| 22           | 2013/07 | 2012/12            | 2011/06    | T12       | تصادف اتومبیل | 19       | مرد   | 21    |
| 24           | 2013/08 | 2013/04            | 2012/09    | T12       | تصادف اتومبیل | 30       | مرد   | 22    |
| 14           | 2013/09 | 2013/06            | 2012/07    | T12       | تصادف اتومبیل | 24       | مرد   | 23    |
| 12           | 2013/09 | 2013/06            | 2013/03    | T12       | تصادف اتومبیل | 25       | زن    | 24    |
| 12           | 2014/02 | 2013/10            | 2013/03    | T10       | سقوط          | 28       | مرد   | 25    |





تصویر-۲. چرخه راه رفتن یک بیمار ضایعه کامل نخاعی با استفاده از ارتز و واکر سفارشی



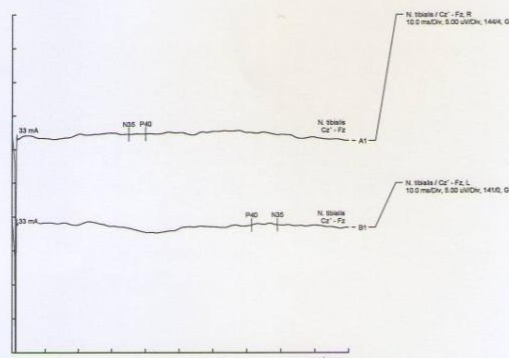
تصویر-۳. فعالیت الکترومیوگرافی. تمام دالدهای الکترومیوگرافی به جز ES\_LG و ESIC به صورت یک طرفه از سمت چپ جمع‌آوری شدند خط قرمز مراحل راه رفتن را نشان می‌دهد. BF (Biceps Femoris), RF (Rectus Femoris), VM (Vastus Medialis), G\_Max (Gluteus Maximus), IO (Internal Oblique), EO (External Oblique), RA (Rectus Abdominis), ES\_LG (Med) (Erector Spine Longitus), ESIC (Erector Spine Iliocostalis), QL (Quadratus Lumbarus), LT (Lower Trapezius), LD (Latissimus Dorsi), TC\_Long (Triceps Long Head), TC\_Lat (Triceps Lateral Head), PM (Pectoralis Major), PD (Posterior Deltoid).

### PATIENTENDATEN

|                 |                                                             |                  |      |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|------------------|------|
| Patienten Name: | rasool Mohammadipoor                                        | Geschlecht:      | male |
| Id1:            | H91/11/15-1                                                 | Größe:           |      |
| Id2:            |                                                             | Telefon Privat.: |      |
| Geburtsdatum:   | 1993/01/01                                                  | Telefon Arbeit:  |      |
| Adresse:        |                                                             |                  |      |
| Kommentar:      | spinal cord injury at 1385 level of T11, Now paraplegic, am |                  |      |

### SEP / lower extremities 1 ch3

|                |            |               |              |
|----------------|------------|---------------|--------------|
| Aufnahmedatum: | 2013/02/03 | Aufnahmezeit: | 04:09:40 ب.ظ |
|----------------|------------|---------------|--------------|



#### SEP

| Recording               | N35  | P40  | A N35-P40 |
|-------------------------|------|------|-----------|
|                         | ms   | ms   | μV        |
| N. tibialis stim. right | 35.0 | 40.0 | -0.1      |
| N. tibialis stim. left  | 79.0 | 71.4 | 0.0       |

#### Parameter

| Recording               | Current | Height | Temperature |
|-------------------------|---------|--------|-------------|
|                         | mA      | cm     | °C          |
| N. tibialis stim. right | 33      | 0.0    | 0.0         |
| N. tibialis stim. left  | 33      | 0.0    | 0.0         |

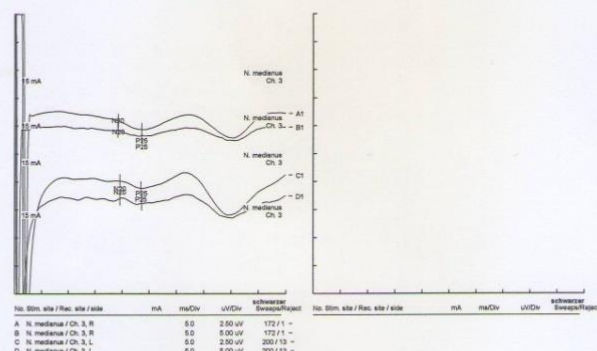
FINDINGS: Absent latencies of SSEP by stimulation of Tibial post. nerve

### PATIENTENDATEN

|                 |                                                             |                  |      |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|------------------|------|
| Patienten Name: | rasool Mohammadipoor                                        | Geschlecht:      | male |
| Id1:            | H91/11/15-1                                                 | Größe:           |      |
| Id2:            |                                                             | Telefon Privat.: |      |
| Geburtsdatum:   | 1993/01/01                                                  | Telefon Arbeit:  |      |
| Adresse:        |                                                             |                  |      |
| Kommentar:      | spinal cord injury at 1385 level of T11, Now paraplegic, am |                  |      |

### SEP / SEP UPPER 3

|                |            |               |              |
|----------------|------------|---------------|--------------|
| Aufnahmedatum: | 2013/02/03 | Aufnahmezeit: | 04:23:10 ب.ظ |
|----------------|------------|---------------|--------------|



#### SEP

| Recording         | N20  | P25  | A N20-P25 |
|-------------------|------|------|-----------|
|                   | ms   | ms   | μV        |
| N. medianus right | 19.2 | 23.6 | 0.9       |
| N. medianus left  | 19.6 | 23.6 | 0.9       |

#### Parameter

| Recording         | Current | Height | Temperature |
|-------------------|---------|--------|-------------|
|                   | mA      | cm     | °C          |
| N. medianus right | 15      | 0.0    | 0.0         |
| N. medianus left  | 15      | 0.0    | 0.0         |

FINDINGS: Normal latencies of SSEP by stimulation of median nerves



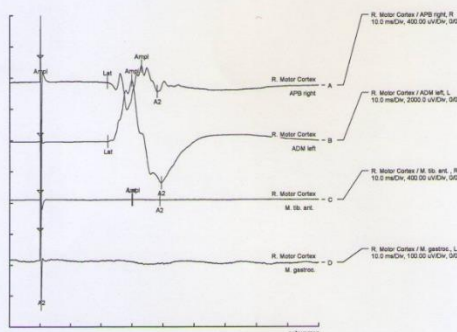
FINDINGS: Normal latencies of MMEP in upper extremities. Absent in lowers.

#### PATIENTENDATEN

|                 |                                                             |                  |      |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|------------------|------|
| Patienten Name: | rasool Mohammadipoor                                        | Geschlecht:      | male |
| Id1:            | H91/11/15-1                                                 | Größe:           |      |
| Id2:            |                                                             | Telefon Privat.: |      |
| Geburtsdatum:   | 1993/01/01                                                  | Telefon Arbeit:  |      |
| Adresse:        |                                                             |                  |      |
| Kommentar:      | spinal cord injury at 1385 level of T11, Now paraplegic, am |                  |      |

#### MAG / left arm

|                |            |               |              |
|----------------|------------|---------------|--------------|
| Aufnahmedatum: | 2013/02/03 | Aufnahmezeit: | 04:29:31 ب.ظ |
|----------------|------------|---------------|--------------|



#### Mags Arms

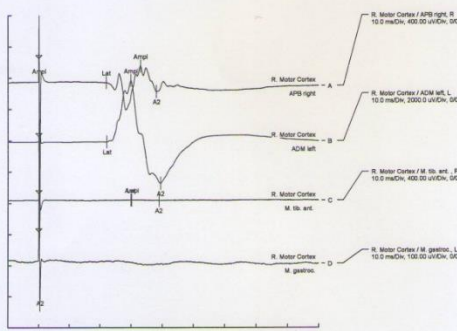
| Stim            | Recording    | Lat  | Ampl. |
|-----------------|--------------|------|-------|
|                 |              | ms   | mV    |
| R. Motor Cortex | APB right    | 22.0 | 0.3   |
| R. Motor Cortex | ADM left     | 22.2 | 6.6   |
| R. Motor Cortex | M. tib. ant. | 29.9 | 0.0   |
| R. Motor Cortex | M. gastroc.  | ---  | 0.7   |

#### PATIENTENDATEN

|                 |                                                             |                  |      |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|------------------|------|
| Patienten Name: | rasool Mohammadipoor                                        | Geschlecht:      | male |
| Id1:            | H91/11/15-1                                                 | Größe:           |      |
| Id2:            |                                                             | Telefon Privat.: |      |
| Geburtsdatum:   | 1993/01/01                                                  | Telefon Arbeit:  |      |
| Adresse:        |                                                             |                  |      |
| Kommentar:      | spinal cord injury at 1385 level of T11, Now paraplegic, am |                  |      |

#### MAG / left arm

|                |            |               |              |
|----------------|------------|---------------|--------------|
| Aufnahmedatum: | 2013/02/03 | Aufnahmezeit: | 04:29:31 ب.ظ |
|----------------|------------|---------------|--------------|



#### Mags Arms

| Stim            | Recording    | Lat  | Ampl. |
|-----------------|--------------|------|-------|
|                 |              | ms   | mV    |
| R. Motor Cortex | APB right    | 22.0 | 0.3   |
| R. Motor Cortex | ADM left     | 22.2 | 6.6   |
| R. Motor Cortex | M. tib. ant. | 29.9 | 0.0   |
| R. Motor Cortex | M. gastroc.  | ---  | 0.7   |

FINDINGS: Normal latencies of MMEP in upper extremities. Absent in lowers.

تصویر-۴. در همه بیماران، SSEPها در عصب مدیان طبیعی بود، اما در عصب تیبیال خلفی وجود نداشت



## بحث

ما مزایای تمرین حرکتی را در بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی ارزیابی کردیم و دریافتیم که تمرین حرکتی می‌تواند تولید پاسخ را در این بیماران تحریک کند. مطالعه ما نشان داد که یک برنامه شخصی‌سازی شده توانبخشی سریال، بیماران پاراپلژیک را قادر می‌سازد تا پیاده‌روی کنند. توانبخشی سریال شامل ترکیبی از توپ سوئیسی، برنامه استفاده از ارتز مچ پا و نیز ارتز ساق بلند مچ پا و زانو و میله پارالل بود. در این مطالعه تست‌های الکترودیگنوستیک عینی برای تأیید وضعیت بیماران پاراپلژیک، مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس مطالعات حیوانی، گزارش شده است که حرکت کردن می‌تواند یک خروجی عصبی شبیه راه رفتن ایجاد کند. این پدیده به فعال شدن مدارهای عصبی نخاعی با فیدبک‌های آوران نسبت داده می‌شود. با این وجود، این فرضیه مطرح شده است که اختلال عملکرد عصبی در ضایعه کامل نخاعی، دمی (caudal) نسبت به ضایعه مانع از موفقیت برنامه‌های تمرین حرکتی می‌شود (۱). به نظر می‌رسد مکانیسم‌های پاتوفیزیولوژیک توصیف شده برای اثرات ضایعه ناقص نخاعی و همچنین نظریه‌های فیزیولوژیکی ارائه شده برای تقویت نوروپلاستیسته حرکتی، موجب شده است که منافع تمرین حرکتی برای بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی نادیده گرفته شود.

ضایعه کامل نخاعی باعث تخریب سلولی و آسیب غیرقابل برگشت آکسون می‌شود. علاوه بر این، تغییرات بیوشیمیایی بیشتر، به صورت موضعی آسیب را تشدید می‌کند. با این حال، محققان دیگری نیز هستند که معتقدند سازگاری و ماهیت توزیع شده سیستم عصبی امکان بازیابی عملکرد را فراهم می‌کند. تحریکات وابسته به فعالیت در قالب تمرین حرکتی، انعطاف پذیری و عملکرد نورون‌ها را تسریع می‌کند (۳). تا آنجا که ما می‌دانیم هیچ مطالعه‌ای در مورد کاربرد تمرین حرکتی در بیماران انسانی با ضایعه کامل نخاعی انجام نشده است. با این حال، مزایای مشابهی در مقالات برای تمرین حرکتی در مطالعات با ضایعه نخاعی ناقص گزارش شده است (۵).

طیف گسترده‌ای از مداخلات از جمله تحریک الکتریکی دارویی، رباتیک و عملکردی برای بهبود عملکرد پس از ضایعه کامل مورد بررسی قرار گرفته است. این روش‌ها به طور مستقل یا به عنوان کمکی به همراه تردمیل برای بهبود راه رفتن روی زمین در ضایعه نخاعی استفاده شده است. در یک مطالعه متقاطع، ۱۰ بیمار با ضایعه نخاعی ناقص به طور تصادفی به دو گروه تخصیص یافتند و با استفاده از سیستم رباتیک کابلی، یک ماه تمرین کمکی و یک ماه تمرین مقاومتی دریافت کردند. سرعت راه رفتن و مسافت نتیجه اصلی مطالعه بودند. این مطالعه نشان داد که بهبود قابل توجهی در توانایی‌های راه رفتن بعد از برنامه مشاهده می‌شود و تمرین مقاومتی به‌ویژه برای شرکت‌کنندگان با عملکرد بالاتر، مؤثرتر بود (۳۱).

به عنوان مثال دیگر، تحریک الکتریکی اپیدورال و داخل نخاعی به طور موفقیت‌آمیزی در حیوانات برای کاهش درد و اسپاستیسیته و بهبود ایستادن و راه رفتن استفاده شده است (۳۲). نتایج نشان می‌دهد که می‌توان ویژگی‌های حرکتی و عضلانی را تقریباً پس از چندین هفته درمان پزشکی و تمرین منظم در حیوانات کاملاً پاراپلژیک به طور کامل بازیابی کرد (۳۳). متغیرهای مورد مطالعه عبارت بودند از: سطح مقطع کانال نخاعی، آسیب به عنصر خلفی مهره آسیب دیده، و نقایص و بهبود عصبی. این مطالعه نشان داد که اختلال کانال در بیماران مبتلا به نقص عصبی شایع‌تر است و اختلال در عناصر خلفی با میزان اختلال و بهبود نورولوژیک مطابقت دارد.

در گزارشی از ارزیابی چهار بیمار، نویسندگان بیمارانی را با شکستگی‌های خرد شدگی L1 و اختلال عملکرد مخروط مدولاریس به عنوان تنها آسیب عصبی بدون ضعف اندام تحتانی یا تغییرات حسی معرفی کردند (۳۴). بیماران ما دچار ضایعه تروماتیک نخاعی و پاراپلژی بودند، اما اسپاستیسیته نداشتند. مطالعات تصویربرداری نشان داد که در هر دو مطالعه سطح تروما حداقل به ارتفاع یک مهره بالاتر از مخروط بود. سایر روش‌های درمانی در ترکیب با توانبخشی استفاده شده است. در یک مطالعه، برای ۳۳ بیمار مبتلا به ضایعه نخاعی (۲۴ سینه‌ای و ۹ گردنی) که یک برنامه توانبخشی ۶ ماهه را تکمیل کردند، پیوند سلول شوان داخل مدولاری انجام شد (۳۵). محققان تنها به این نتیجه رسیدند که این روش از نظر ریسک عفونت عمیق، تغییر شکل ناشی از پروسجر و وخامت عصبی بی‌خطر است. همچنین، آن‌ها گزارش دادند که نتایج اولیه بررسی از نظر ایمن بودن این روش می‌تواند برای آزمایشات آینده امیدوارکننده باشد. علاوه بر این، ما معتقدیم که هر گونه بهبود در کیفیت زندگی می‌تواند به برنامه توانبخشی مرتبط باشد. به هر حال، به نظر می‌رسد پیوند سلول‌های بنیادی راه درازی برای استفاده روزمره دارد. مطالعه ما می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای مطالعات دیگر با هدف طراحی مراحل تصمیم‌گیری بالینی کارآمد و ارائه پروتکل‌های استاندارد برای بازگرداندن عملکرد در ضایعه کامل نخاعی در نظر گرفته شود. علاوه بر این، طراحی کارآزمایی‌های بالینی با حجم نمونه بزرگ‌تر برای بررسی اثربخشی تمرینات حرکتی در بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی مورد نیاز است.

## نتیجه‌گیری

هدف از انجام مطالعه حاضر بررسی مزایای بالقوه تمرین حرکتی در بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی بود. مطالعه ما نشان داد که تمرین حرکتی می‌تواند تولید پاسخ را در بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی تحریک کند. تقویت عضلاتی که از بالای سطح آسیب‌دیده عصب‌دهی شده‌اند موجب کسب قابلیت تحرک در بیمار گردید. به عبارت دیگر، آن‌ها توانستند با کمک اندام فوقانی

**تشکر و قدردانی:** از جناب آقای پروفسور مجید سمیعی مؤسس و رئیس مؤسسه بین‌المللی علوم اعصاب (INI) هانوفر و جناب آقای دکتر وفا رحیمی موقر استاد جراحی مغز و اعصاب دانشگاه علوم پزشکی تهران به جهت راهنمایی‌های ارزشمند صمیمانه قدردانی می‌شود.

**تضاد منافع:** بدین وسیله نویسندگان تصریح می‌نمایند که هیچ‌گونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

وزن بدن را تحمل و با چرخش لگنی نیروی پیشران ایجاد کنند. ما اعتقاد داریم که اگرچه آموزش حرکتی تقایص عصبی بیماران مبتلا به ضایعه کامل نخاعی را بهبود نمی‌بخشد، اما می‌تواند به آن‌ها قابلیت جابجایی بدهد. ما بهبود نورولوژیک که با مطالعات الکترودیالکتوستیک قابل شناسایی باشد را پیدا نکردیم. با این حال، برنامه توانبخشی، بیماران را قادر به راه رفتن کرده، و موجب بهبود کیفیت زندگی، و افزایش اعتماد به نفس و استقلال در بیماران گردیده است.

## منابع

- Hubli M, Dietz V. The physiological basis of neurorehabilitation-locomotor training after spinal cord injury. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2013;10(1):5. doi:10.1186/1743-0003-10-5
- Shah M, Peterson C, Yilmaz E, Halalmeh DR, Moisi M. Current advancements in the management of spinal cord injury: A comprehensive review of literature. *Surgical Neurology International*. 2020; 11:2. doi:10.25259/SNI\_568\_2019
- Hillen BK, Abbas JJ, Jung R. Accelerating locomotor recovery after incomplete spinal injury. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2013;1279(1):164-74. doi:10.1111/nyas.12061
- Behrman AL, Ardolino EM, Harkema SJ. Activity-based therapy: from basic science to clinical application for recovery after spinal cord injury. *Journal of neurologic physical therapy*. 2017;41 (Suppl 3 IV STEP Spec Iss):S39-S45. doi:10.1097/NPT.0000000000000184
- Lucas K, King M, Ugiliweneza B, Behrman A. Durability of improved trunk control following activity-based locomotor training in children with acquired spinal cord injuries. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*. 2022;28(1):53-63. doi:10.46292/sci21-00040
- Martinez M, Delivet-Mongrain H, Rossignol S. Treadmill training promotes spinal changes leading to locomotor recovery after partial spinal cord injury in cats. *Journal of Neurophysiology*. 2013;109(12): 2909-22. doi:10.1152/jn.01044.2012
- Mehrholtz J, Kugler J, Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2012(11). doi:10.1002/14651858.CD006676.pub3
- Yen SC, Schmit BD, Landry JM, Roth H, Wu M. Locomotor adaptation to resistance during treadmill training transfers to overground walking in human SCI. *Experimental Brain Research*. 2012;216:473-82. doi:10.1007/s00221-011-2950-2
- Fritz S, Merlo-Rains A, Rivers E, Brandenburg B, Sweet J, Donley J, et al. Feasibility of intensive mobility training to improve gait, balance, and mobility in persons with chronic neurological conditions: a case series. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2011;35(3):141-7. doi:10.1097/

NPT.0b013e31822a2a09

- Ibitoye MO, Hamzaid NA, Hasnan N, Abdul Wahab AK, Davis GM. Strategies for rapid muscle fatigue reduction during FES exercise in individuals with spinal cord injury: a systematic review. *PloS One*. 2016;11(2):e0149024. doi:10.1371/journal.pone.0149024
- Johnston TE, Marino RJ, Oleson CV, Schmidt-Read M, Leiby BE, Sendek J, et al. Musculoskeletal effects of 2 functional electrical stimulation cycling paradigms conducted at different cadences for people with spinal cord injury: a pilot study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2016;97(9): 1413-22. doi:10.1016/j.apmr.2015.11.014
- Tefertiller C, Pharo B, Evans N, Winchester P. Efficacy of rehabilitation robotics for walking training in neurological disorders: a review. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2011; 48(4):387-416. doi:10.1682/jrrd.2010.04.0055
- Wirz M, Bastiaenen C, de Bie R, Dietz V. Effectiveness of automated locomotor training in patients with acute incomplete spinal cord injury: a randomized controlled multicenter trial. *BMC Neurology*. 2011;11:60. doi:10.1186/1471-2377-11-60
- Nessler JA, Moustafa-Bayoumi M, Soto D, Duhon J, Schmitt R. Assessment of hindlimb locomotor strength in spinal cord transected rats through animal-robot contact force. *Journal of Biomechanical Engineering*. 2011;133(12):121007. doi:10.1115/1.4005408
- Roy RR, Harkema SJ, Edgerton VR. Basic concepts of activity-based interventions for improved recovery of motor function after spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2012;93(9):1487-97. doi:10.1016/j.apmr.2012.04.034
- Field-Fote EC, Roach KE. Influence of a locomotor training approach on walking speed and distance in people with chronic spinal cord injury: a randomized clinical trial. *Physical Therapy*. 2011;91 (1):48-60. doi:10.2522/ptj.20090359
- Musienko P, Heutschi J, Friedli L, Van Den Brand R, Courtine G. Multi-system neurorehabilitative strategies to restore motor functions following severe spinal cord injury. *Experimental Neurology*. 2012;

- 235(1):100-9. doi:10.1016/j.expneurol.2011.08.025
18. Murillo N, Kumru H, Opisso E, Padullés JM, Medina J, Vidal J, et al. Recovery of assisted overground stepping in a patient with chronic motor complete spinal cord injury: a case report. *NeuroRehabilitation*. 2012;31(4):401-7. doi:10.3233/NRE-2012-00810
19. Musselman KE, Shah M, Zariffa J. Rehabilitation technologies and interventions for individuals with spinal cord injury: translational potential of current trends. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2018;15:40. doi:10.1186/s12984-018-0386-7
20. Ekstrom RA, Soderberg GL, Donatelli RA. Normalization procedures using maximum voluntary isometric contractions for the serratus anterior and trapezius muscles during surface EMG analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2005; 15(4):418-28. doi:10.1016/j.jelekin.2004.09.006
21. Cibulka MT, Weissenborn D, Donham M, Rammacher H, Cuppy P, Ross AS. A new manual muscle test for assessing the entire trapezius muscle. *Physiotherapy Theory and Practice*. 2013;29(3):242-8. doi:10.3109/09593985.2012.718856
22. McGill S, Juker D, Kropf P. Appropriately placed surface EMG electrodes reflect deep muscle activity (psoas, quadratus lumborum, abdominal wall) in the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*. 1996;29(11): 1503-7. doi:10.1016/0021-9290(96)84547-7
23. Vera-Garcia FJ, Moreside JM, McGill SM. MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2010;20(1):10-6. doi:10.1016/j.jelekin.2009.03.010
24. Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy*. 1997;77(2):132-42. doi:10.1093/ptj/77.2.132
25. The SENIAM project. Available from: <http://www.seniam.org/>
26. Rainoldi A, Melchiorri G, Caruso I. A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. *Journal of Neuroscience Methods*. 2004;134(1):37-43. doi:10.1016/j.jneumeth.2003.10.014
27. Park SY, Yoo WG. Comparison of exercises inducing maximum voluntary isometric contraction for the latissimus dorsi using surface electromyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013;23(5):1106-10. doi:10.1016/j.jelekin.2013.05.003
28. Bogey RA, Perry J, Gitter AJ. An EMG-to-force processing approach for determining ankle muscle forces during normal human gait. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2005;13(3):302-10. doi:10.1109/TNSRE.2005.851768
29. Paton ME, Brown JM. An electromyographic analysis of functional differentiation in human pectoralis major muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 1994;4(3):161-9. doi:10.1016/1050-6411(94)90017-5
30. Sakaki Y, Kaneko F, Watanabe K, Kobayashi T, Katayose M, Aoki N, et al. Effects of different movement directions on electromyography recorded from the shoulder muscles while passing the target positions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013;23(6):1362-9. doi:10.1016/j.jelekin.2013.08.010
31. Skiadopoulos A, Famodimu GO, Solomon SK, Agarwal P, Harel NY, Knikou M. Priming locomotor training with transspinal stimulation in people with spinal cord injury: study protocol of a randomized clinical trial. *Trials*. 2023;24(1):145. doi:10.1186/s13063-023-07193-4
32. Verhaagen J, McDonald JW, editors. *Spinal cord injury*. Newnes; 2012.
33. Ung RV, Rouleau P, Guertin PA. Functional and physiological effects of treadmill training induced by buspirone, carbidopa, and L-DOPA in clenbuterol-treated paraplegic mice. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2012;26(4):385-94. doi:10.1177/1545968311427042
34. Chou D, Hartl R, Sonntag VK. Conus medullaris syndrome without lower-extremity involvement in L-1 burst fractures: report of four cases. *Journal of Neurosurgery: Spine*. 2006;4(3):265-9. doi:10.3171/spi.2006.4.3.265
35. Derakhshanrad N, Saberi H, Shafiee S, Yekaninejad MS, Hadian MR, Sheikhrezai A, et al. Safety of intramedullary autologous peripheral nerve grafts for post-rehabilitated complete motor spinal cord injuries: a phase I study. *Acta Medica Iranica*. 2013;842-54.