

Improving Muscle Strength and Neuroplasticity in Multiple Sclerosis Patients: Combined Effects of Electromyographic Biofeedback, Isometric Exercises, and EEG Monitoring

Mahdi Miri¹, Ehsan Tahami^{1*}, Gelareh Veisi²

¹Department of Biomedical Engineering, Ma.C., Isamic Alzad University, Mashhad, Iran

²Department of Computer Engineering, Ma.C., Isamic Alzad University, Mashhad, Iran

Article Info:

Received: 9 May 2025

Revised: 24 July 2025

Accepted: 28 July 2025

ABSTRACT

Introduction: This randomized controlled study aimed to investigate the effectiveness of electromyographic biofeedback (EMG-BF) as an adjunct therapy alongside isometric exercises and electroencephalography (EEG) monitoring for patients with multiple sclerosis (MS). **Materials and Methods:** In this study, 20 patients with MS were randomly divided into two groups: the EMG-BF group (n = 10) and the control group (n = 10). The exercise program was implemented for six weeks, five days a week. The control group performed isometric exercises only, while the EMG-BF group received isometric exercises combined with EMG-BF and EEG monitoring. The evaluation indicators included pain intensity (VAS), quadriceps strength (with ISOMOVE dynamometer), knee function (Kujala questionnaire), and EEG beta wave signal strength (μV^2) in the motor areas of the brain. Measurements were made at five stages (baseline, weeks 2, 4, 6, and 12). **Results:** The results showed that in the EMG-BF group, pain intensity significantly improved from 6.5 ± 1.2 to 6.0 ± 1.2 , muscle strength from 125.3 ± 18.7 N to 185.7 ± 23.4 N, and knee function from 45.2 ± 5.8 to 8.72 ± 8.9 , while the control group improved to 9.3 ± 0.8 , 158.6 ± 20.7 N, and 59.3 ± 7.1 , respectively, at week 12. EEG analysis also showed a significant increase in beta signal power in the EMG-BF group from 14.8 ± 0.1 to 2.20 ± 1.2 versus 14.6 ± 0.9 to 3.16 ± 0.1 in the control group. **Conclusion:** These findings suggest that the addition of EMG-BF and EEG to isometric exercises not only reduces pain and improves muscle strength and knee function, but also enhances neuromuscular coordination and neuroplasticity in MS patients.

Keywords:

1. Electroencephalography
2. Pain Measurement
3. Quadriceps Muscle
4. Motor Cortex
5. Movement Disorders

*Corresponding Author: Ehsan Tahami

Email: tahami59@iau.ac.ir

بهبود قدرت عضلانی و نوروپلاستیسیته در بیماران MS: اثرات ترکیبی بیوفیدبک الکترومایوگرافی، تمرینات ایزومتریک و پایش EEG

مهدی میری^۱، احسان تهامی^{۱*}، گلاره ویسی^۲

^۱گروه مهندسی پزشکی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
^۲گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله:

پذیرش: ۶ مرداد ۱۴۰۴

اصلاحیه: ۲ مرداد ۱۴۰۴

دریافت: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۴

چکیده

مقدمه: این کارآزمایی بالینی تصادفی شده با هدف بررسی اثربخشی بیوفیدبک الکترومایوگرافی (EMG-BF) به عنوان درمان کمکی در کنار تمرینات ایزومتریک و پایش الکتروانسفالوگرافی (EEG) در بیماران مبتلا به مولتیپل اسکلروزیس (MS) انجام شد. **مواد و روش‌ها:** در این مطالعه، ۲۰ بیمار مبتلا به MS به صورت تصادفی به دو گروه تقسیم شدند: گروه (EMG-BF 10=n) و گروه کنترل (n=10). برنامه تمرینی به مدت شش هفته و پنج روز در هفته اجرا شد. گروه کنترل تنها تمرینات ایزومتریک انجام داد، در حالی که گروه EMG-BF تمرینات ایزومتریک همراه با EMG-BF و پایش EEG دریافت کرد. شاخص‌های ارزیابی شامل شدت درد (VAS)، قدرت عضله چهارسر ران با دینامومتر ISOMOVE، عملکرد زانو (پرسشنامه کوجالا) و توان سیگنال موج بتا EEG (μV^2) در نواحی حرکتی مغز بود. اندازه‌گیری‌ها در پنج نوبت انجام شد: خط پایه و هفته‌های ۲، ۴، ۶ و ۱۲. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد در گروه EMG-BF، شدت درد از $1/2 \pm 6/5$ به $1/2 \pm 6/0$ ، قدرت عضلانی از $125/3 \pm 18/7$ نیوتن به $185/7 \pm 23/4$ نیوتن و عملکرد زانو از $45/2 \pm 5/8$ به $8/9 \pm 8/72$ بهبود یافت؛ در حالی که در گروه کنترل به ترتیب تا هفته دوازدهم به $9/3 \pm 0/8$ ، $158/6 \pm 20/7$ نیوتن و $59/3 \pm 7/1$ رسید. تحلیل EEG نیز نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار توان موج بتا در گروه EMG-BF از $14/8 \pm 0/1$ به $2/20 \pm 1/2$ در مقایسه با $14/6 \pm 0/9$ به $3/16 \pm 0/1$ در گروه کنترل بود. **نتیجه‌گیری:** یافته‌ها حاکی از آن است که افزودن EMG-BF و پایش EEG به تمرینات ایزومتریک، افزون بر کاهش درد و بهبود قدرت عضلانی و عملکرد زانو، هماهنگی عصبی-عضلانی و نوروپلاستیسیته را نیز در بیماران MS ارتقاء می‌دهد.

واژه‌های کلیدی:

- ۱- الکتروانسفالوگرافی
- ۲- اندازه‌گیری درد
- ۳- عضله چهار سر ران
- ۴- قشر حرکتی
- ۵- اختلالات حرکتی

*نویسنده مسئول: احسان تهامی

پست الکترونیک: tahami59@iaui.ac.ir

مقدمه

اسکلروز چندگانه^۱ یا MS یک بیماری مزمن و پیش‌رونده سیستم عصبی مرکزی است که با تخریب میلین-پوشش محافظتی اطراف رشته‌های عصبی، همراه است (۱-۳). این بیماری می‌تواند منجر به طیف وسیعی از علائم از جمله ضعف عضلانی، اسپاسم، خستگی و اختلال در هماهنگی حرکتی شود (۴). ضعف عضلانی به‌ویژه در اندام‌ها یکی از شایع‌ترین مشکلات افراد مبتلا به MS است که کیفیت زندگی آن‌ها را به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳-۴). MS به دلیل ماهیت پیش‌رونده و ناتوان‌کننده‌اش، چالش‌های فراوانی را برای بیماران و سیستم‌های درمانی ایجاد می‌کند. ضعف عضلانی و کاهش توانایی حرکتی از جمله مشکلاتی هستند که نه‌تنها عملکرد جسمانی بیماران را مختل می‌کنند، بلکه بر سلامت روانی و اجتماعی آن‌ها نیز تأثیر می‌گذارند.

در خصوص علت این بیماری، تاکنون دلیل دقیق این اتفاق مشخص نیست، اما ممکن است به دلیل ترکیبی از عوامل ژنتیکی و محیطی باشد (۶، ۷). در واقع، این یک بیماری واسطه‌ای ایمنی است که در آن سیستم ایمنی بدن به بافت‌های خود حمله کرده و مواد چربی که اعصاب مغز و نخاع را پوشانده و محافظت می‌کند (میلین) را تخریب می‌کند (۸). هیچ درمان قطعی برای MS وجود ندارد و درمان عمدتاً بر کاهش عودهای جدید رادیولوژیک و بالینی، تأخیر در پیشرفت بیماری و کنترل علائم MS متمرکز است (۹، ۱۰). بیماران MS اغلب دچار از دست دادن حجم و قدرت عضلات، بخصوص عضله چهارسر ران می‌شوند که در آن تعداد فیبرهای اکسیداتیو کاهش می‌یابد اما فیبرهای بی‌هوازی افزایش می‌یابد (۱۱، ۱۲). اگرچه تعداد فیبرهای سفید با افزایش سن افزایش می‌یابد، اما آتروفی بیشتر منجر به افزایش چربی و فیروز داخل عضلانی می‌شود (۱۳). قدرت عضله چهارسر ران برای عملکرد اندام تحتانی ضروری است. تغییرات در نحوه راه رفتن و سینماتیک فرد به ضعف عضله چهارسر ران مرتبط است (۱۴). بهینه‌سازی توانایی تولید نیروی عضله چهارسر ران یکی از اهداف رایج درمان‌های ورزشی پس از آسیب مفصل زانو و برنامه‌هایی است که به بهبود عملکرد ورزشی در افراد سالم می‌پردازند (۱۵، ۱۶). به منظور بهینه‌سازی فواید برنامه‌های تقویت عضله چهارسر ران، از روش‌های مختلفی در ترکیب با ورزش استفاده شده است (۱۷، ۱۸).

در این زمینه، استفاده از روش‌های نوین درمانی مانند بیوفیدبک الکترومایوگرافیکی^۲ می‌تواند در بهبود عملکرد عضلات و تقویت فعالیت‌های فیزیولوژیک عضلانی در بیماران مبتلا به اسکلروز چندگانه مفید باشد (۱۹).

بیوفیدبک الکترومایوگرافیکی به‌عنوان یک ابزار نوین در توانبخشی، با ارائه اطلاعات دقیق و آنی از فعالیت‌های عضلانی به بیمار، کمک می‌کند تا بیمار بتواند به‌طور فعال و آگاهانه فعالیت‌های عضلانی خود را کنترل کرده و به‌ویژه در برنامه‌های تقویت ایزومتریک از آن بهره‌برداری کند. این نوع بازخورد می‌تواند نقش مؤثری در افزایش هماهنگی عضلات، تقویت توان عضلانی و کاهش اثرات منفی ضعف عضلانی در این بیماران ایفا کند (۲۰، ۲۱). علاوه بر این، تحقیقات قبلی استفاده از EMG-BF را در ترکیب با تمرینات سنتی عضله چهارسر ران برای بهبود علائم و قدرت عضله چهارسر ران در افراد مبتلا به MS تأیید کرده‌اند (۲۲-۲۴). با این حال، در حال حاضر هیچ شواهدی وجود ندارد که نشان دهد استفاده از EMG-BF به‌عنوان یک روش کمکی می‌تواند ناراحتی، قدرت یا وضعیت عملکردی افراد مبتلا به MS را بهبود بخشد. به منظور تعیین اینکه کدام برنامه برای رژیم توانبخشی بهتر است، این تحقیق بر آن است که فواید تقویت ایزومتریک عضله چهارسر ران هدایت‌شده با EMG-BF را با ورزش ایزومتریک تنها در بیماران MS را مورد مقایسه قرار دهد. تحقیقات متعددی به بررسی استفاده از EMG-BF به‌عنوان یک روش درمانی اضافی در ترکیب با برنامه‌های ورزشی منظم برای افزایش قدرت عضلانی پرداخته‌اند. مک‌کلورج^۳ اثربخشی تمرین عضلات کف لگن، EMG-BF و تحریک الکتریکی عصبی-عضلانی را برای اختلالات مثانه در افراد مبتلا به MS بررسی کرد و نتایج نشان داد که این درمان‌ها، هنگام استفاده ترکیبی، ممکن است علائم ادراری در MS را کاهش دهند. لوچیو^۴ و همکاران اثربخشی تمرین عضلات کف لگن به تنهایی یا در ترکیب با EMG-BF را در درمان اختلالات جنسی در زنان مبتلا به MS مطالعه کردند و نتایج نشان داد که تمرین عضلات کف لگن به تنهایی یا در ترکیب با EMG-BF به بهبود اختلالات جنسی کمک می‌کند (۲۰، ۲۳). برای دفع نامنظم مدفوع، رائو^۵ و همکاران یک آزمایش کنترل‌شده تصادفی انجام دادند که EMG-BF، بازخورد جعلی و درمان سنتی را مقایسه کرد و نشان داد که EMG-BF یبوست و ویژگی‌های فیزیولوژیک عملکرد روده را در بیماران مبتلا به دیسینرژی بهبود می‌بخشد (۲۵).

ضرورت این تحقیق به دلیل نیاز به روش‌های درمانی مؤثرتر برای مدیریت مشکلات حرکتی و عضلانی بیماران مبتلا به اسکلروز چندگانه است. همچنین، با توجه به اینکه روش‌های درمانی موجود ممکن است نتایج محدودی به‌همراه داشته باشند، ارزیابی اثربخشی EMG-BF در برنامه‌های تقویت ایزومتریک می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل نوآورانه، کم‌هزینه و

^۱ Multiple Sclerosis^۲ EMG-BF^۳ McClurg^۴ Lúcio^۵ Rao

هفته‌های دوم و چهارم، هفته ششم و هفته دوازدهم جمع‌آوری شدند. برای انجام فرآیند تصادفی‌سازی، از اعداد تصادفی تولید شده توسط رایانه استفاده شد (۲۷). شرکت‌کنندگان بر اساس این اعداد تصادفی و با استفاده از اعداد زوج و فرد به دو گروه آزمایش و کنترل تقسیم شدند (۲۸). هر گروه شامل ده نفر بود. گروه A (گروه تجربی) تحت مداخله‌ای شامل ورزش ایزومتریک همراه با بیوفیدبک EMG-BF یا EMG و همچنین گرمای مرطوب قرار گرفتند. گروه B (گروه کنترل) علاوه بر انجام تمرینات ایزومتریک و دریافت گرمای مرطوب، بیوفیدبک EMG ساختگی دریافت کردند. معیارهای نهایی مورد بررسی در این مطالعه شامل حداکثر انقباض ایزومتریک ارادی (MVIC) عضله چهارسر ران، شدت درد و وضعیت عملکردی شرکت‌کنندگان بود.

شرکت‌کنندگان

گروه مطالعه شامل بیماران مبتلا به MS با زیرگروه‌های مختلف این بیماری، به ویژه MS عودکننده-فروکش‌کننده (RRMS) و MS پیشرونده ثانویه (SPMS) بود. همه این بیماران با شکایت اولیه از درد زانو به مراکز درمانی مراجعه کرده و پس از آن مورد ارزیابی دقیق قرار گرفتند. به دلیل محدودیت‌های عملی، از جمله در دسترس نبودن تعداد کافی از بیماران واجد شرایط در طول دوره مطالعه، محاسبه رسمی اندازه نمونه از قبل انجام نشد. با این حال، یک تحلیل توان تعقیبی (Post-hoc power analysis) با استفاده از نرم‌افزار G*Power نسخه ۳،۱،۹،۷؛ دانشگاه هاینریش-هاینه دوسلدورف، آلمان انجام شد. این تحلیل نشان داد که با سطح آلفای ۰،۰۵، توان آماری مطالعه ۷۹ درصد بود، که نشان‌دهنده کافی بودن حجم نمونه برای تشخیص اثرات مشاهده‌شده در مطالعه است. در ابتدای مطالعه، در مجموع ۳۵ بیمار وارد فرآیند پژوهش شدند. از این تعداد، ۲۳ بیمار (شامل ۵ مرد و ۱۸ زن) موفق به تکمیل دوره کارآزمایی شدند. همه بیماران در ابتدا بر اساس معیارهای ورود و خروج مورد غربالگری دقیق قرار گرفتند. همان‌طور که در نمودار ۱ نشان داده شده است، شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی و با استفاده از اعداد تولید شده توسط کامپیوتر به دو گروه آزمایش و کنترل تقسیم شدند. گروه بیوفیدبک شامل ۱۱ بیمار و گروه کنترل شامل ۱۲ بیمار بود. این مطالعه به‌صورت یک کارآزمایی یک‌سوکور (single-blind) طراحی شده بود، به این معنی که ارزیاب از تخصیص گروه‌ها آگاه بود، اما شرکت‌کنندگان از این موضوع اطلاعی نداشتند. در طول مطالعه، به دلیل بروز مسائل پزشکی، یک بیمار در گروه بیوفیدبک و دو بیمار در گروه

قابل دسترس برای ارتقاء کیفیت زندگی این بیماران در نظر گرفته شود. اثرات مثبت تمرین EMG-BF در بیماران MS با مشکلات عضله چهارسر ران تاکنون در تحقیقات بررسی نشده است. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر تعیین این بود که آیا EMG-BF هنگام استفاده به‌عنوان مکمل ورزش منظم می‌تواند به تقویت عضله چهارسر ران در بیماران MS کمک کند.

مواد و روش‌ها

طراحی مطالعه

برای آزمون فرضیه‌های پژوهش، از یک طرح کارآزمایی کنترل‌شده تصادفی‌سازی شده استفاده شد. در این طرح، داده‌های مربوط به خواندن پایه (پیش‌آزمون) قبل از انجام مداخله و همچنین داده‌های مربوط به خواندن پس‌آزمون در پایان هفته‌های دوم، چهارم، ششم و دوازدهم جمع‌آوری شدند. سپس این اندازه‌گیری‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند تا تأثیر مداخله بر متغیر وابسته بررسی شود. لازم به ذکر است که این پژوهش در دو مرکز اصلی، یعنی موسسات فیزیوتراپی و توانبخشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد و همچنین دانشگاه علوم پزشکی تهران، انجام شد. شرایط ورود به مطالعه به این صورت بود که همه شرکت‌کنندگان می‌بایست بین ۲۱ تا ۶۰ سال سن داشته باشند. علاوه بر این، شرکت‌کنندگان نباید سابقه‌ای از آسیب یا بیماری زانو (به جز MS)، سوء مصرف الکل یا مواد مخدر، و یا بیماری‌های روانپزشکی گزارش کرده باشند. همچنین، شرکت‌کنندگان می‌بایست بینایی کافی برای خواندن یا دیدن مطالب مطالعه داشته باشند و فارسی را به عنوان زبان اول صحبت کنند. در این مطالعه، بیمارانی که بر اساس معیارهای تشخیصی مک‌دونالد توسط متخصصان مغز و اعصاب دارای گواهی هیئت مدیره و متخصص در زمینه مولتیپل اسکلروزیس (MS) تشخیص داده شده بودند، وارد مطالعه شدند (۲۶).

این بیماران می‌بایست دارای نمره‌ای بین ۳ تا ۴ در مقیاس وضعیت ناتوانی گسترده (EDSS) باشند، که نشان‌دهنده سطوح متوسط تا پیشرفته ناتوانی است. همچنین، همه افراد مبتلا به MS می‌بایست حداقل به مدت یک ماه در مرحله تشدید بیماری باشند و از استروئیدهای کورتیکوئیدی استفاده نکنند. شرکت‌کنندگان بر اساس سن و سطح مهارت قبلی آن‌ها در استفاده از اینترنت و رایانه همسان‌سازی شدند. جذب شرکت‌کنندگان مبتلا به MS از طریق دانشگاه‌های محلی، آگهی‌های پزشکان و گروه‌های حمایت از بیماران MS انجام شد. داده‌های مربوط به پیش‌آزمون و پس‌آزمون در زمان‌های مختلف، شامل ابتدای مطالعه، پایان

⁶ Maximum Voluntary Isometric Contration

گروه کنترل همان رژیم تمرین ایزومتریک را همراه با بیوفیدبک ساختگی EMG دریافت کرد. قبل از شروع هر جلسه تمرین، هر دو گروه به مدت ۲۰ دقیقه از گرمای مرطوب استفاده کردند که از طریق یک بسته هیدروکلاتور تأمین می‌شد. گرمای مرطوب در حالت خوابیده به پشت و قبل از شروع جلسه تمرین اعمال می‌شد.

برای آموزش بیوفیدبک، از دستگاه Myomed 932 (ساخته شده توسط Enraf Nonius، روتردام، هلند) استفاده شد. این دستگاه یک دستگاه EMG دو کاناله بود که برای ثبت و ارائه بازخورد فعالیت عضلانی به کار گرفته شد (تصویر ۱). این دستگاه به شرکت‌کنندگان کمک می‌کرد تا با دریافت بازخورد دقیق از فعالیت عضلات خود، تمرینات را به صورت مؤثرتری انجام دهند.

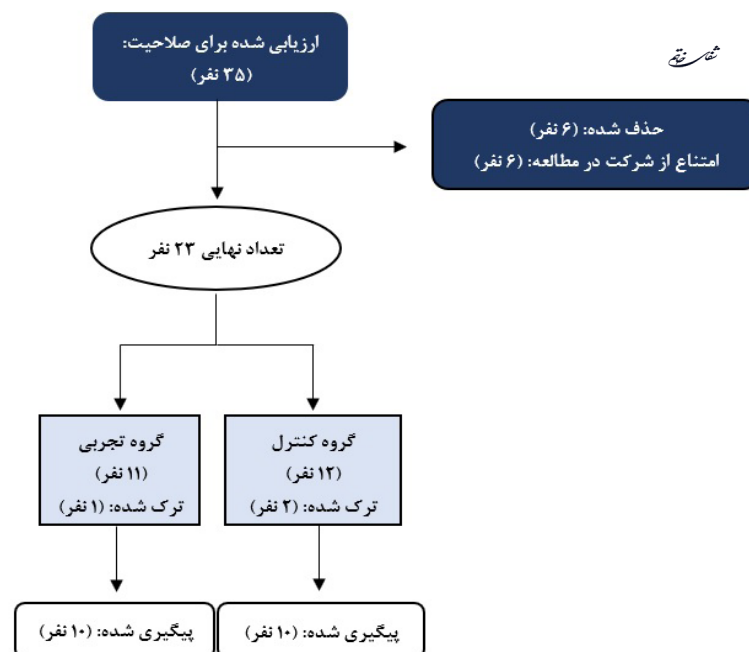
دستگاه بیوفیدبک EMG مورد استفاده، سیگنال‌های EMG را به صورت واضح و تمام‌صفحه نمایش می‌داد

کنترل نتوانستند مداخله را دریافت کنند. در نهایت، این آزمایش توسط ده بیمار در هر گروه به‌طور کامل تکمیل شد. همه بیماران پیش از مشارکت در مطالعه، رضایت آگاهانه خود را ارائه دادند.

کمیته اخلاق پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی مشهد این مطالعه را مورد تأیید قرار داد کد اخلاق IR.IAU.MSHD.REC.1402.139. پیش از شروع مطالعه، ما به‌طور کامل خطرات و مزایای احتمالی پژوهش را مطابق با اصول اعلامیه هلسینکی برای شرکت‌کنندگان توضیح دادیم. همه شرکت‌کنندگان پس از دریافت این اطلاعات، یک فرم رضایت‌نامه کتبی را امضا کردند تا مشارکت آگاهانه و داوطلبانه خود را در مطالعه تأیید کنند.

آزمایش تمرین درمانی با کمک بیوفیدبک

در این مطالعه، برنامه تمرین ایزومتریک هدایت‌شده با بیوفیدبک EMG به گروه آزمایش ارائه شد. در مقابل،



نمودار ۱- نمودار استانداردهای تلفیقی از گزارش کارآزمایی‌ها (CONSORT) که جریان شرکت‌کنندگان را در هر مرحله از یک کارآزمایی تصادفی نشان می‌دهد.

تصویر ۱- ابزار بیوفیدبک الکترومیوگرافیک (۹۳۲ Myomed؛ Enraf؛ نونیوس)



تمرینات تقویتی

گروه A (گروه تجربی): تمرین ایزومتریک با هدایت EMG-BF و گرمای مرطوب

این گروه چهار مجموعه تمرین پنج روز در هفته به مدت پنج هفته دریافت کردند. به بیماران توضیح داده شد که چگونه فعالیت عضلانی خود را تحت نظر داشته باشند و هدف آن‌ها افزایش سطح فعالیت عضلات VMO و RF در حین انجام تمرینات بود. به بیماران توصیه شد پس از هر ۵ ثانیه انقباض، به مدت ۱۰ ثانیه استراحت کنند. جلسات تمرینی پنج روز در هفته به مدت پنج هفته انجام شد. قبل از هر جلسه، از بیماران خواسته شد تا حداکثر سه بار عضله چهارسر ران را منقبض کنند، در حالی که سطح فعالیت VMO و RF با استفاده از دستگاه بیوفیدبک EMG ثبت می‌شد. برای محاسبه مقادیر آستانه، میانگین این سه انقباض حداکثر برای هر عضله ۲۰ درصد کاهش یافت. در طول جلسه تمرینی، بیماران به مدت ۵ ثانیه عضلات VMO و RF را روی سطح آستانه خود منقبض کردند و سیگنال صوتی دستگاه را حفظ کردند.

هر شرکت‌کننده چهار تمرین تقویتی برای عضله چهارسر ران انجام داد:

- ۱- تمرین ایزومتریک عضله چهارسر ران: بیماران در حالت خوابیده به پشت قرار گرفتند و یک رول حوله زیر زانو قرار دادند. از آن‌ها خواسته شد عضلات چهارسر ران خود را بیش از سطح آستانه منقبض کنند تا زانوهای خود را صاف کرده و انقباض را به مدت ۵ ثانیه حفظ کنند. این تمرین در سه ست ده تکراری انجام شد.
- ۲- تمرین اکستنشن انتهایی زانو: بیماران در حالت نشسته با زانوهای خم شده از ۶۰ درجه تا ۰ درجه قرار گرفتند. از آن‌ها خواسته شد عضلات ران خود را بیش از سطح آستانه منقبض کنند تا زانوهای خود را صاف کرده و انقباض را به مدت ۵ ثانیه حفظ کنند. این تمرین نیز در سه ست ده تکراری انجام شد.

و منحنی‌هایی برای هر دو عضله واستوس مدیالیس اوبلیک (VMO) و رکتوس فموریس (RF) ارائه می‌کرد. بیماران و فیزیوتراپیست‌ها از یک دستگاه الکترومیوگرافی سطحی (EMG) بیوفیدبک استفاده کردند که فعالیت الکتریکی عضلات را در زمان واقعی ثبت و به صورت بازخورد کمی ارائه می‌داد. این بازخورد به بیماران کمک می‌کرد تا انقباضات ایزومتریک عضلانی را با شدت کافی انجام دهند و همزمان پیشرفت خود را روی صفحه نمایش دستگاه مشاهده کنند. برای ثبت فعالیت عضله VMO، دو الکتروود ۴ سانتی‌متری بالاتر و ۳ سانتی‌متری میانی به مرز سوپرومدیال کشکک قرار داده شدند. برای عضله RF، الکتروودها در تقاطع یک‌سوم میانی و تحتانی ران، کمی به سمت وسط و پایین (یعنی در نیمه راه بین خط کشیده‌شده بین قاعده کشکک و ستون فقرات ایلپاک فوقانی قدامی) قرار گرفتند. دو الکتروود فعال از هر کانال تا حد امکان در جهت فیبرهای عضلانی و نزدیک به هم قرار داده شدند. الکتروود مرجع نیز در زیر توبرکل تیپا قرار گرفت. حساسیت سیگنال EMG روی ۲۰۰ ولت تنظیم شد تا دید مطلوبی از فعالیت الکتریکی عضله بر روی صفحه نمایش دستگاه فراهم شود. این تنظیمات به بیماران اجازه می‌داد تا تصویری گرافیکی و مناسب از فعالیت عضلانی خود را مشاهده کنند. دستگاه پس از ثبت حداکثر انقباض ایزومتریک بیمار، آستانه‌ای را تعیین می‌کرد که توسط فیزیوتراپیست مسئول تنظیم می‌شد. این آستانه نشان‌دهنده حداکثر مقدار انقباض عضلانی فعال بود که بیمار باید در طول تمرین به آن دست می‌یافت. آستانه در ۸۰ درصد از بالاترین انقباض ایزومتریک ثبت‌شده در ابتدای جلسه تعیین شد. بیماران موظف بودند این آستانه را در طول تمرین تجاوز کنند. برنامه تمرینی شامل ۱۵ دقیقه انقباضات ایزومتریک عضله چهارسر ران بود (۱۰ ثانیه انقباض و ۱۰ ثانیه استراحت). محل قرارگیری الکتروودها برای عضلات VMO و RF در طول تمرین بیوفیدبک EMG در تصویر ۲ نشان داده شده است.

تصویر ۲- محل قرارگیری الکتروود برای VMO و RF در طول بیوفیدبک EMG



می‌شود، که مقادیر پایین‌تر نشان‌دهنده آسیب کمتر است.

اندازه‌گیری قدرت ایزومتریک

قدرت ایزومتریک عضلات چهارسر ران در ابتدا (قبل از درمان) و در پایان هفته‌های دوم، چهارم، ششم و دوازدهم بررسی شد. این اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دینامومتر ISOMOVE (تولید TecnoBody، ایتالیا) انجام شد. بیماران در حالت نشسته با زانوهای خم شده در ۶۰ درجه قرار گرفتند و سه آزمایش ۵ ثانیه‌ای متوالی انجام دادند. میانگین قرائت‌ها برای تحلیل استفاده شد.

ارزیابی فعالیت مغزی با EEG (موج بتا)

فعالیت مغزی با استفاده از الکتروانسفالوگرافی (EEG) و تمرکز بر قدرت سیگنال موج بتا (فرکانس ۱۳-۳۰ هرتز) در نواحی حرکتی قشر مغز اندازه‌گیری شد. موج بتا به‌عنوان شاخصی از هماهنگی عصبی-عضلانی و فعالیت حرکتی انتخاب شد، زیرا با کنترل عضلانی و پردازش حرکتی مرتبط است. این ارزیابی در ابتدا (قبل از درمان) و در پایان هفته‌های دوم، چهارم، ششم و دوازدهم انجام شد. برای ثبت داده‌ها، از دستگاه-Brain Products acti-CHamp با الکترودهای قرارگرفته در موقعیت‌های C3 و C4 (مطابق سیستم ۱۰-۲۰ بین‌المللی) استفاده شد، که نواحی حرکتی مرتبط با اندام تحتانی را پوشش می‌دهند. شرکت‌کنندگان در حالت نشسته و در حین انجام تمرینات ایزومتریک تحت مانیتورینگ قرار گرفتند. سیگنال‌های خام EEG با نرخ نمونه‌برداری ۲۵۶ هرتز ثبت و سپس با استفاده از تحلیل طیفی (Fast Fourier Transform) به قدرت سیگنال بتا (μV^2) تبدیل شدند. میانگین قدرت سیگنال بتا در سه بازه ۵ ثانیه‌ای متوالی محاسبه شد و برای تحلیل آماری استفاده گردید.

ارزیابی آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) تحلیل شدند. از آزمون t مستقل برای مقایسه اطلاعات دموگرافیک و از ANOVA دوطرفه با اندازه‌گیری مکرر برای مقایسه نتایج بین گروه‌ها استفاده شد. سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

اطلاعات جمعیتی از جمله سن، وزن، قد و شاخص توده بدنی (BMI) جمع‌آوری شد. جدول ۱ میانگین و انحراف معیار این مقادیر را نشان می‌دهد. داده‌های جمعیتی تفاوت آماری معنی‌داری بین دو گروه نشان نداد (همه $P < 0/05$).

۳- تمرین بلند کردن پاهای مستقیم: بیماران در حالت خوابیده به پشت قرار گرفتند. قبل از شروع تمرین، از آن‌ها خواسته شد حداکثر انقباض ایزومتریک عضله چهارسر ران را انجام دهند. سپس پای خود را بالا آورده و سیگنال صوتی را به مدت ۵ ثانیه حفظ کنند. این تمرین در سه ست ده تکراری انجام شد. ۴- تمرین اداکشن ایزومتریک لگن: بیماران حوله کوچکی را بین زانوهای خود قرار دادند و در حالت نشسته صاف قرار گرفتند. از آن‌ها خواسته شد سه ست ده تکراری از تمرین اداکشن ایزومتریک لگن را انجام دهند. این تمرین شامل قرار دادن یک بالش بین زانو، درگیر کردن تمام عضلات تا حد امکان، انقباض بیش از سطح آستانه برای صاف کردن زانو و حفظ انقباض به مدت ۵ ثانیه بود.

گروه B (گروه کنترل): مداخله بیوفیدبک ساختگی EMG همراه با تمرین ایزومتریک و گرمای مرطوب

این گروه همان سری تمرینات و فعالیت‌های گروه آزمایش را انجام دادند، اما با این تفاوت که الکترودها دور از عضلات VMO و RF قرار گرفتند و الکتروود مرجع در زیر توربوزیته تبیبا قرار داده شد تا از ثبت فعالیت عضلانی VMO و RF جلوگیری شود. دستگاه بیوفیدبک روشن بود تا تجربه بیوفیدبک واقعی را تقلید کند و اطمینان حاصل شود که بیماران گروه کنترل شرایط مشابهی با گروه آزمایش درک کنند. به بیماران این گروه آموزش داده شد که تمرینات را با هدف به‌کارگیری و تقویت عضلات VMO و RF انجام دهند، اما بدون دریافت بازخورد هدفمند.

پارامترهای ارزیابی شدت درد

شدت درد با استفاده از مقیاس بینایی آنالوگ (VAS) ۱۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. این مقیاس روشی معتبر برای ارزیابی ناراحتی زانو است. از هر شرکت‌کننده خواسته شد تا سطح فعلی ناراحتی خود را در مقیاس ۱۰ سانتی‌متری بین دو نقطه مرجع ارزیابی کند: (بدون درد) و ۱۰ (حداکثر درد).

عملکرد زانو

عملکرد زانو با استفاده از پرسشنامه کوجالا پاتلوفمورال (KPK) ارزیابی شد. این پرسشنامه سطح اختلال زانو را بین ۴۵ تا ۷۰ نمره می‌دهد. امتیاز کلی از ۰ تا ۱۰۰ محاسبه

جدول ۱- آمار توصیفی

گروه	تعداد بیماران	سن	وزن	قد	BMI
EMG-BF	۱۰	۴۹/۶±۱/۵	۶۶/۳±۳/۴	۱۵۸/۲±۰/۵	۲۶/۵±۱/۳
کنترل	۱۰	۵۰/۱±۲/۳	۶۵/۶±۲/۵	۱۵۷/۸±۱/۸	۲۶/۳±۲/۲
مقدار P	-	P=۰/۶۵	P=۰/۱	P=۰/۰۹	P=۰/۰۵

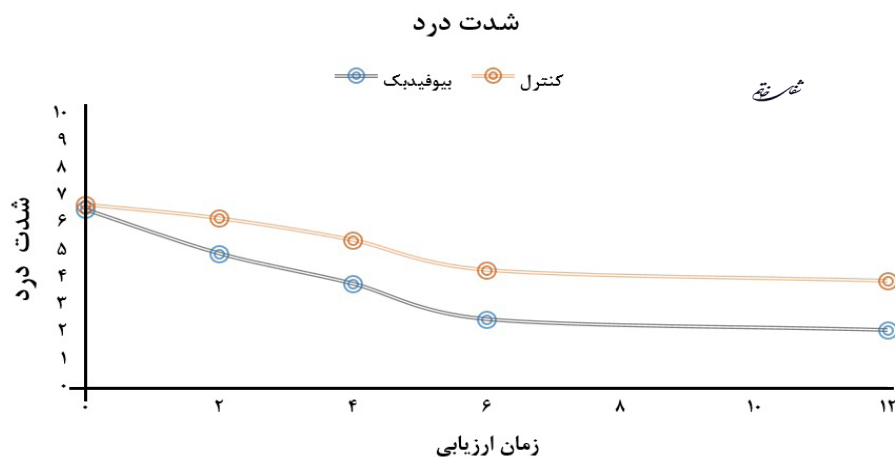
شماره

جدول ۳ و نمودار ۳، مقایسه قدرت عضله چهارسر بین دو گروه را نشان می‌دهد. در هفته‌های ۲ و ۴، تفاوت معنی‌داری بین دو گروه در قدرت عضله چهارسر مشاهده نشد. (مقادیر P ، به ترتیب ۰/۵ و ۰/۱). با این حال، گروه تجربی در هفته‌های ۶ و ۱۲ قدرت عضله چهارسر به‌طور قابل‌توجهی بالاتری نسبت به گروه کنترل (مقادیر P ، به ترتیب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۰۱).

جدول ۲ و نمودار ۲، مقایسه نمرات مقیاس آنالوگ بصری (VAS) بین دو گروه را نشان می‌دهد. در هفته‌های ۲، ۴ و ۶، گروه تجربی نمرات VAS به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر از گروه کنترل داشت (مقادیر P ، به ترتیب ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۰۱). در پیگیری هفته دوازدهم، این نمرات در گروه تجربی نسبت به گروه کنترل به‌طور معنی‌داری پایین‌تر بود ($P > ۰/۰۰۰۱$).

جدول ۲- مقایسه نمرات مقیاس آنالوگ بصری (VAS) بین دو گروه تحقیق
*تفاوت معنی‌دار درون‌گروهی نسبت به پیش‌آزمون ($P > ۰/۰۵$)

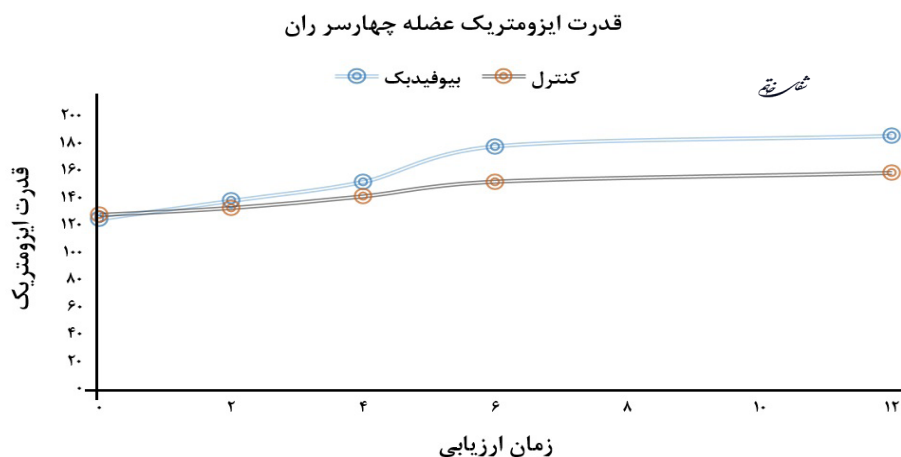
زمان ارزیابی	گروه تجربی (n=10)	گروه کنترل (n=10)	P-Value	درصد بهبودی گروه تجربی	درصد بهبودی گروه کنترل
پیش‌آزمون	۶/۵±۱/۲	۶/۷±۱/۱	۰/۷۲۱	-	-
هفته ۲	۴/۹±۱/۱*	۶/۲±۱/۰	۰/۰۰۶	۲۴/۶ درصد	۷/۵ درصد
هفته ۴	۳/۸±۰/۹*	۵/۴±۰/۸*	۰/۰۰۲	۴۱/۵ درصد	۱۹/۴ درصد
هفته ۶	۲/۵±۰/۷*	۴/۳±۰/۹*	۰/۰۰۰۱	۶۱/۵ درصد	۳۵/۸ درصد
هفته ۱۲	۲/۱±۰/۶*	۳/۹±۰/۸*	۰/۰۰۰۱	۶۷/۷ درصد	۴۱/۸ درصد



نمودار ۲- مقایسه نمرات مقیاس آنالوگ بصری درد (VAS) بین دو گروه تحقیق

جدول ۳- مقایسه قدرت ایزومتریک عضله چهارسر ران (بر حسب نیوتن) بین دو گروه تحقیق
*تفاوت معنی‌دار درون‌گروهی نسبت به پیش‌آزمون ($P > ۰/۰۵$)

زمان ارزیابی	گروه تجربی (n=10)	گروه کنترل (n=10)	P-Value	درصد افزایش قدرت گروه تجربی	درصد افزایش قدرت گروه کنترل
پیش‌آزمون	۱۲۵/۳±۱۸/۷	۱۲۸/۱±۲۰/۲	۲/۷۴۲	-	-
هفته ۲	۱۳۸/۶±۲۰/۶*	۱۳۳/۲±۹/۳	۰/۱	۱۰/۶ درصد	۴/۰ درصد
هفته ۴	۱۵۲/۴±۲۲/۹*	۱۴۱/۶±۲۱/۵*	۰/۵	۲۲/۱ درصد	۱۰/۵ درصد
هفته ۶	۱۷۸/۲±۲۵/۸*	۱۵۲/۳±۲۳/۱*	۰/۰۰۲	۴۲/۳ درصد	۱۸/۹ درصد
هفته ۱۲	۱۸۵/۷±۲۳/۴*	۱۵۸/۶±۲۰/۷*	۰/۰۰۰۱	۴۸/۳ درصد	۲۳/۸ درصد



نمودار ۳- مقایسه قدرت ایزومتریک عضله چهارسر ران (بر حسب نیوتن) بین دو گروه تحقیق

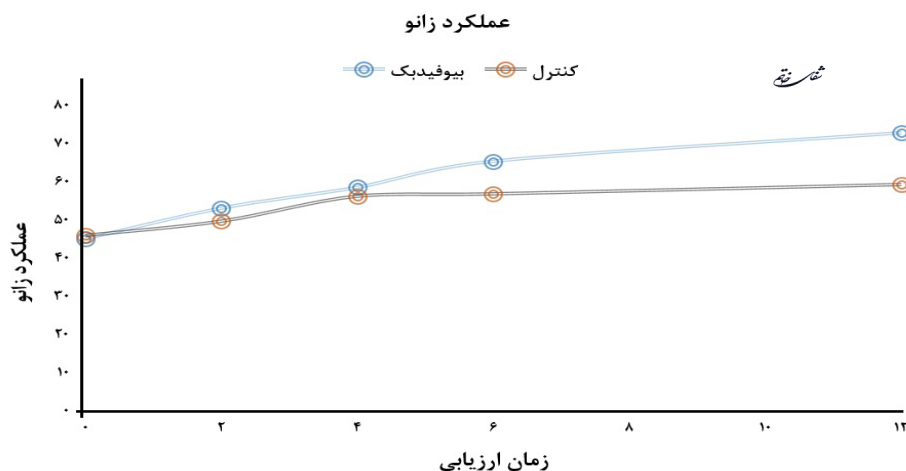
μV^2 در هفته ششم و $1/0 \pm 16/3 \mu V^2$ در هفته دوازدهم رسیدند. این نتایج حاکی از آن است که افزودن EEG به برنامه درمانی EMG-BF می‌تواند فعالیت عصبی-مغزی را به‌طور قابل‌توجهی تقویت کند. همچنین، همان‌گونه که در تصویر ۳ مشاهده می‌شود، ثبت سیگنال‌های EMG و EEG پیش و پس از مداخله تفاوت‌های قابل‌توجهی را در الگوی فعالیت عصبی و عضلانی شرکت‌کنندگان نشان می‌دهد. در ثبت EMG، دامنه سیگنال‌ها پس از مداخله به‌ویژه در فاز انقباضی افزایش یافته است که نشان‌دهنده بهبود در کنترل عضلانی و افزایش هدفمند می‌باشد. همچنین در سیگنال EEG، افزایش نسبی در قدرت باندهای مرتبط با تمرکز (مانند بتا) پس از مداخله مشهود است که نشان‌دهنده بهبود در تنظیم عصبی عضلات در پاسخ به بازخورد EMG بوده است.

جدول ۴ و نمودار ۴، مقایسه عملکرد زانو بین دو گروه را نشان می‌دهد. در هفته‌های ۲ و ۴، تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها در عملکرد زانو مشاهده (مقادیر P، به ترتیب ۰/۵ و ۰/۰۸). با این حال، گروه تجربی در هفته دوازدهم عملکرد زانو به‌طور معنی‌داری بهبود یافته نسبت به گروه کنترل داشت ($P=0/0001$).

جدول ۵ و نمودار ۵، مقایسه قدرت سیگنال بتا EEG بین دو گروه را نشان می‌دهد. گروه EMG-BF که از بیوفیدبک و مانیتورینگ EEG استفاده کردند، افزایش معناداری در قدرت سیگنال بتا از $1/0 \pm 14/8 \mu V^2$ در مبنای $1/3 \pm 20/8 \mu V^2$ در هفته ششم و $1/2 \pm 20/2 \mu V^2$ در هفته دوازدهم نشان دادند ($P=0/0001$). در مقابل، گروه کنترل تنها از $0/9 \pm 14/6 \mu V^2$ به $1/1 \pm 16/5 \mu V^2$

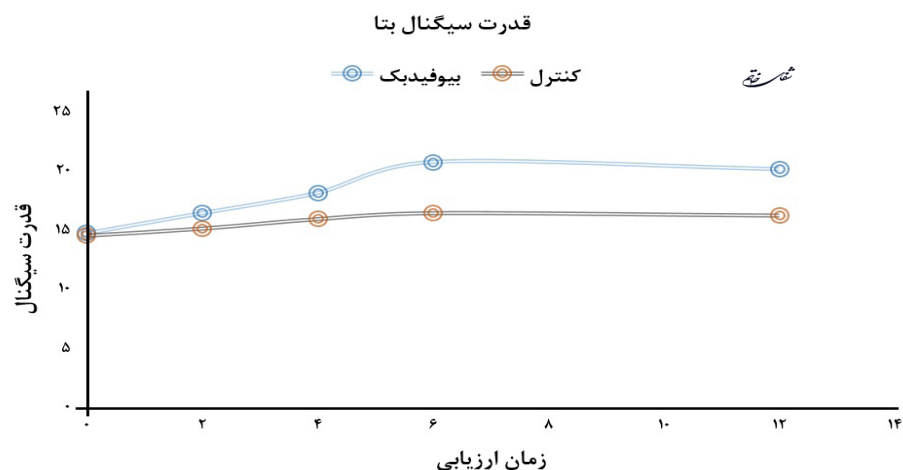
جدول ۴- مقایسه عملکرد زانو بین دو گروه تحقیق
*تفاوت معنی‌دار درون‌گروهی نسبت به پیش‌آزمون ($P>0/05$)

زمان ارزیابی	گروه تجربی (n=10)	گروه کنترل (n=10)	P-Value	درصد بهبودی گروه تجربی	درصد بهبودی گروه کنترل
پیش‌آزمون	۴۵/۲±۵/۸	۴۶/۱±۶/۳	۰/۷۲	-	-
هفته ۲	۴۹/۸±۵/۳	۵۳/۲±۶/۵	۰/۵	۱۷/۷ درصد	۸ درصد
هفته ۴	۵۸/۶±۶/۸*	۵۶/۳±۶/۷*	۰/۰۸	۲۹/۶ درصد	۲۲/۱ درصد
هفته ۶	۶۵/۴±۷/۲*	۵۶/۹±۶/۷*	۰/۰۰۳	۴۴/۷ درصد	۲۳/۴ درصد
هفته ۱۲	۷۲/۸±۸/۹*	۵۹/۳±۷/۱*	۰/۰۰۰۱	۶۱/۱ درصد	۲۸/۶ درصد



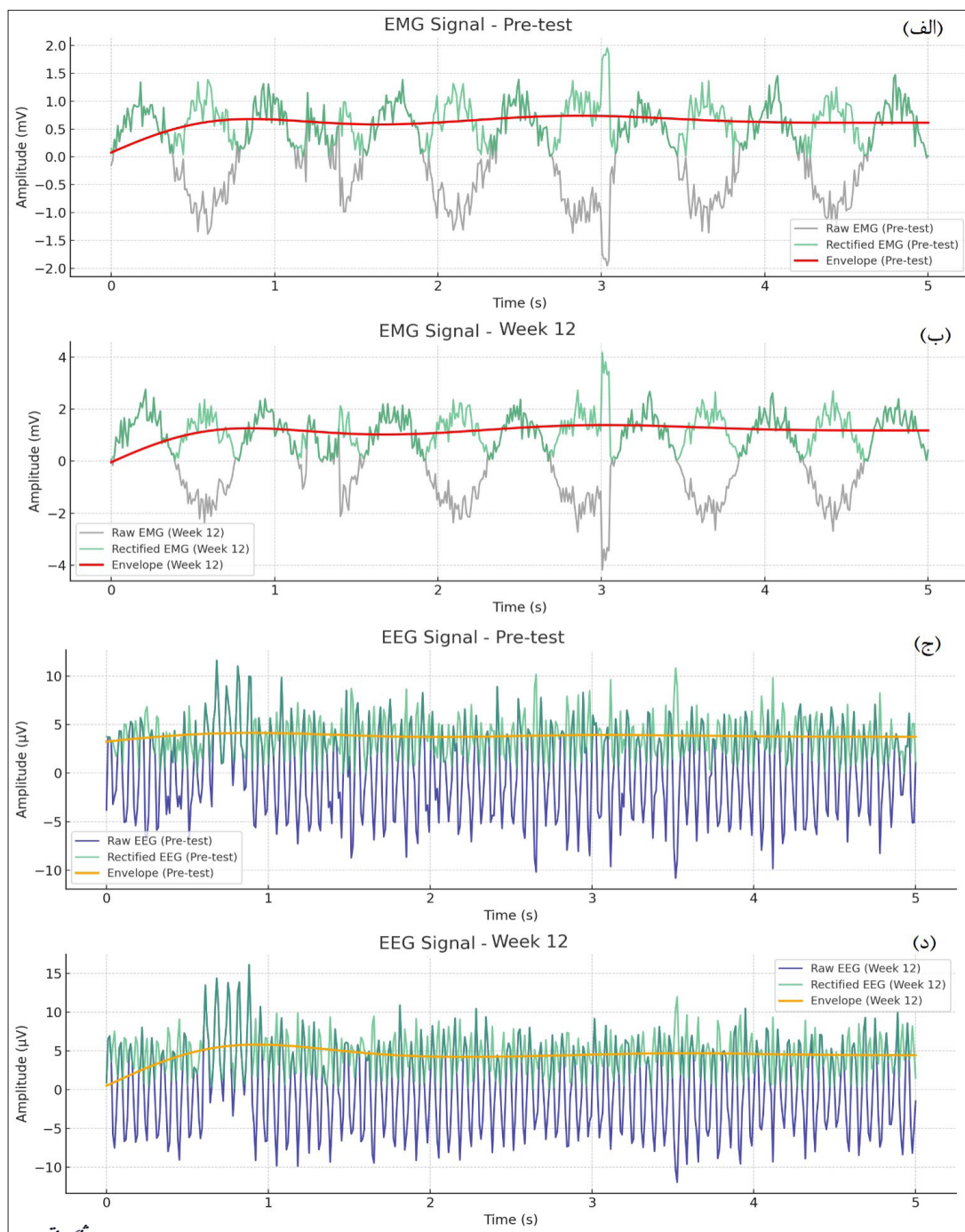
جدول ۵- مقایسه قدرت سیگنال بتا EEG بین دو گروه تحقیق

زمان ارزیابی	گروه تجربی (EMG-BF)	گروه کنترل	P-Value	درصد بهبودی گروه تجربی	درصد بهبودی گروه کنترل
پیش‌آزمون	۱۴/۸±۱/۰	۱۴/۶±۰/۹	$P=0/7$	-	-
هفته ۲	۱۶/۵±۱/۲	۱۵/۲±۱/۱	$P=0/08$	۱۱/۵ درصد	۴/۱ درصد
هفته ۴	۱۸/۲±۱/۴	۱۶/۰±۱/۲	$P=0/01$	۲۳/۰ درصد	۹/۶ درصد
هفته ۶	۲۰/۸±۱/۳	۱۶/۵±۱/۱	$P=0/0001$	۴۰/۵ درصد	۱۳/۰ درصد
هفته ۱۲	۲۰/۲±۱/۲	۱۶/۳±۱/۰	$P=0/0001$	۳۶/۵ درصد	۱۱/۶ درصد



نمودار ۵- مقایسه قدرت سیگنال بتا EEG بین دو گروه تحقیق

تصویر ۳- نمونه‌ای از ثبت سیگنال‌های EMG و EEG پیش و پس از مداخله: (الف) EMG پیش از مداخله: (ب) EMG پس از مداخله: (ج) EEG پیش از مداخله: (د) EEG پس از مداخله



را مورد تأکید قرار داده‌اند، هم‌راستا می‌باشد (۱۹). این یافته‌ها با داده‌های جداول ۲، ۳ و ۴ (VAS، قدرت عضله چهارسر و عملکرد زانو) هم‌خوانی دارد. گروه EMG-BF در تمام این متغیرها بهبود بیشتری نسبت به گروه کنترل نشان داد. افزایش قدرت سیگنال بتا EEG می‌تواند به‌عنوان شاخصی از مکانیسم زیربنایی این بهبودها (یعنی تقویت ارتباط عصبی-عضلانی) تفسیر شود. بر اساس تحلیل EEG، استفاده از بیوفیدبک الکترومایوگرافیکی به همراه مانیتورینگ EEG نه‌تنها مؤثر است، بلکه به‌طور قابل‌توجهی فعالیت مغزی را در بیماران MS بهبود می‌بخشد. این رویکرد می‌تواند به‌عنوان یک مداخله مکمل مؤثر در کنار تمرینات ایزومتریک توصیه شود، به‌ویژه برای تقویت نوروپلاستیسته و عملکرد حرکتی.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر اثربخشی آموزش بیوفیدبک الکترومایوگرافیک در بهبود قدرت عضلانی چهارسر، کاهش درد و بهبود ساختار زانو در یک فرد مبتلا به مولتیپل اسکلروزیس را نشان داد. این یک آزمایش یک سو کور بود، به این معنا که ارزیاب از تخصیص گروه‌ها مطلع بود اما شرکت‌کنندگان از آن بی‌خبر بودند. چون درمان بیوفیدبک بر بهبود ادراک بدنی و افزایش تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی متمرکز است، اطلاعات ذهنی از شرکت‌کنندگان و داده‌های ویدئویی، علاوه بر ارزیابی‌های کمی، ابزارهای مهمی برای ارزیابی روش درمانی به‌شمار می‌آیند. یافته‌ها نشان داد که شش هفته آموزش، با پیگیری در هفته دوازدهم، منجر به بهبود قابل‌توجهی در هر دو گروه بیوفیدبک و کنترل در هفته‌های دوم، چهارم، ششم و دوازدهم شد. با این حال، یافته‌های مطالعه نشان داد که ترکیب بیوفیدبک الکترومایوگرافیک و تمرینات ایزومتریک منجر به بهبود بیشتر در تمامی شاخص‌های خروجی شد. اکثر اثرات در پیگیری هفته دوازدهم دوره درمان مشاهده شد. این مطالعه نشان داد که شش هفته تمرین ایزومتریک عضله چهارسر، هدایت‌شده با بیوفیدبک الکترومایوگرافیک، به‌طور معناداری در کاهش سطح درد و افزایش قدرت عضله چهارسر در بیماران مبتلا به MS مؤثرتر بود. اگرچه عملکرد زانو بلافاصله پس از شش هفته مداخله تفاوت معنی‌داری بین گروه تجربی و کنترل نشان نداد، گروه تجربی در ارزیابی پیگیری ۱۲ هفته‌ای بهبود عملکرد زانو را نشان داد. بیوفیدبک الکترومایوگرافیک یک روش فیزیوتراپی است که اغلب با برنامه‌های تمرینی، مانند تمرینات تقویت عضلانی، برای کاهش درد و تقویت عضلات در افرادی با شرایطی مانند MS و آرتروز زانو ترکیب می‌شود. این روش مشارکت فعال بیمار را ترویج می‌کند و به آن‌ها این امکان را می‌دهد که نقش فعالی در رسیدن به اهداف توانبخشی درمانی خود در طول فرآیند آموزش داشته

استفاده از بیوفیدبک الکترومایوگرافیکی (EMG-BF) به همراه تمرینات ایزومتریک در بیماران مبتلا به اسکلووز چندگانه (MS) اثربخشی قابل‌توجهی در مقایسه با تمرینات ایزومتریک به‌تنهایی نشان می‌دهد. در جدول ۲ (مقیاس آنالوگ بصری یا VAS)، شدت درد در گروه EMG-BF از ۶/۵ در حالت مبنا به ۲/۱ در هفته دوازدهم کاهش یافت، در حالی که گروه کنترل تنها به ۳/۹ بهبود یافت. در جدول ۳ (قدرت عضله چهارسر ران)، گروه EMG-BF از میانگین $18/7 \pm 12/3$ نیوتن در پیش‌آزمون به $23/4 \pm 18/7$ نیوتن در هفته دوازدهم رسید ($48/3\%$ درصد افزایش)، در حالی که گروه کنترل از $20/2 \pm 12/1$ نیوتن به $20/7 \pm 15/6$ نیوتن افزایش یافت ($23/8\%$ درصد افزایش). تفاوت بین دو گروه از هفته ششم $P=0/002$ و به‌ویژه هفته دوازدهم ($P=0/001$). معنی‌دار بود، که نشان‌دهنده اثربخشی بیشتر ترکیب EMG-BF و تمرینات ایزومتریک است. در جدول ۴ (عملکرد زانو)، گروه EMG-BF از میانگین $45/2 \pm 5/8$ در پیش‌آزمون به $72/8 \pm 8/9$ در هفته دوازدهم بهبود یافت ($61/1\%$ درصد بهبود)، در حالی که گروه کنترل از $6/3 \pm 46/1$ به $7/1 \pm 59/3$ رسید ($28/6\%$ درصد بهبود). تفاوت معنی‌دار از هفته ششم آغاز شد و در هفته دوازدهم به اوج خود ($P=0/0001$) رسید، که بیانگر برتری عملکردی گروه EMG-BF است. در نهایت، جدول ۵ (قدرت سیگنال بتا EEG)، نشان داد که در گروه EMG-BF قدرت سیگنال از $14/8 \pm 1/0$ در مبنا به $1/25 \pm 16/5$ در هفته دوم، $1/4 \pm 18/2$ در هفته چهارم، $20/8 \pm 1/3$ در هفته ششم و $1/2 \pm 20/2$ در هفته دوازدهم افزایش یافت، در مقابل گروه کنترل که از $14/6 \pm 0/9$ به $1/1 \pm 15/2$ ، $1/2 \pm 16/0$ ، $1/1 \pm 16/5$ و $1/0 \pm 16/3$ رسید، با تفاوت معنی‌دار از هفته چهارم ($P=0/01$) و به اوج در هفته ششم و دوازدهم ($P=0/0001$). این نتایج به‌طور یکپارچه نشان می‌دهند که افزودن EMG-BF نه‌تنها در کاهش درد، افزایش قدرت عضلانی و بهبود عملکرد زانو مؤثر است، بلکه با تقویت فعالیت عصبی-مغزی می‌تواند به بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی و نوروپلاستیسته کمک کند. بنابراین، این رویکرد درمانی در مقایسه با تمرینات تنها، اثرات پایدارتر و جامع‌تری در بیماران MS دارد، هرچند برای تأیید تأثیرات مغزی، مطالعات بیشتری با داده‌های EEG می‌تواند مفید باشد. تصویر ۳ (الف) و (ب) تأییدکننده تأثیرات فیزیولوژیکی مداخله مبتنی بر بازخورد EMG است. افزایش دامنه سیگنال EMG پس از مداخله را می‌توان به بهبود توانایی فعال‌سازی عضلات درگیر نسبت داد. از سوی دیگر، در تصویر ۲ (ج) و (د)، تغییرات الگوی سیگنال EEG، به‌ویژه افزایش فعالیت در نواحی مربوط به تمرکز و کنترل حرکتی، نشان می‌دهد که فرایندهای مغزی نیز در پاسخ به تمرینات همراه با بیوفیدبک، دستخوش سازگاری عصبی شده‌اند. این یافته‌ها با نتایج مطالعات قبلی که نقش بیوفیدبک در اصلاح مسیرهای عصبی-عضلانی

مطالعه با نتایج والی^۹ و همکاران که مکانیسم‌های فیزیولوژیکی پشت افزایش قدرت عضلانی از مداخلات بازخورد را بررسی کردند، هماهنگ است (۴۲). آن‌ها سه عامل اصلی را که باعث افزایش قدرت عضلانی می‌شود، شناسایی کردند: (۱) افزایش میزان متوسط آتش کردن واحدهای حرکتی، (۲) افزایش استخدام واحدهای حرکتی و (۳) بهبود هماهنگی واحدهای حرکتی فعال. این تغییرات در فعالیت واحدهای حرکتی چه از نظر نرخ آتش کردن و چه الگوهای استخدام احتمالاً مسئول افزایش قدرت مشاهده شده در تمرینات با بازخورد هستند. نتایج همچنین با یافته‌های انور و همکاران که تأثیر آموزش بیوفیدبک الکترومایوگرافیک در بهبود قدرت عضله چهارسر در بیماران با آرتروز زانو را ارزیابی کردند، همخوانی دارد (۳۵). این مطالعه نتیجه‌گیری کرد که آموزش بیوفیدبک الکترومایوگرافیک ابزاری مؤثر در توانبخشی برای بهبود قدرت عضله و کاهش علائم در بیماران آرتروز زانو است و می‌تواند به‌عنوان یک روش جایگزین یا تکمیلی برای درمان‌های سنتی مطرح باشد. تحقیقات ما محدودیت‌هایی از نظر استفاده درمانی دارد. اگرچه بیوفیدبک الکترومایوگرافیک برای درمان طیف وسیعی از شرایط پزشکی مانند سکنه مغزی و سردرد استفاده شده است، اما توجه کمتری در زمینه مشکلات اسکلتی عضلانی داشته است. تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از بیوفیدبک الکترومایوگرافیک در ترکیب با تمرینات می‌تواند یک روش درمانی امیدوارکننده برای کاهش درد و بهبود قدرت عضلانی و عملکرد در بیماران MS باشد. همچنین، تمرینات تقویت عضلات با استفاده از بیوفیدبک الکترومایوگرافیک در ترکیب با تمرینات عملی مؤثر است و می‌تواند پتانسیل بهبودی در درمان MS را بهینه کند. علاوه بر این، در صورت وجود نگرانی‌هایی در مورد انجام تمرینات قدرتی پویا، توصیه می‌شود آموزش‌های تخصصی و زود هنگام آغاز گردد. گنجاندن بیوفیدبک الکترومایوگرافیک در برنامه تمرینی ایزومتریک ۶ هفته‌ای باعث تقویت قدرت عضله چهارسر در بیماران MS نسبت به برنامه تمرینی تنها شد. با این حال، یافته‌ها باید با احتیاط در نظر گرفته شوند، زیرا محدودیت‌هایی در طراحی تحقیق وجود دارد. تحقیقات آینده با دوره‌های پیگیری بلندمدت، مانند پیگیری‌های ۶ ماهه، برای بررسی تأثیرات بلندمدت این درمان‌ها در بیماران MS ضروری است.

باشند. تمرینات تقویت عضلانی هدایت‌شده با بیوفیدبک از دستگاه‌های بیوفیدبک خاص استفاده می‌کند که فعالیت عضلانی را با شناسایی تنش و تون عضلانی در میکروولت‌ها نظارت می‌کنند و از الکترودهای سطحی یا سوزنی استفاده می‌کنند. بیماران ممکن است بازخورد صوتی یا بصری در مورد تغییرات تنش عضلانی (افزایش یا کاهش) دریافت کنند. در نتیجه، بیماران می‌توانند از دستگاه بیوفیدبک برای تنظیم و تعدیل تنش عضلانی خود استفاده کنند. تمرینات تقویت عضلانی تحت نظارت دستگاه بیوفیدبک که تنش عضلانی را در میکروولت‌ها اندازه‌گیری می‌کند، انجام می‌شود. بیماران می‌توانند با استفاده از این روش تغییرات تنش عضلانی خود را با بازخورد صوتی یا بصری دریافت کنند. تحقیقات کمی تأثیر آموزش بازآموزی عصبی، مانند بیوفیدبک الکترومایوگرافیک، را در بیماران MS بررسی کرده‌اند، اما مطالعاتی وجود دارد که تأثیر روش‌های بیوفیدبک یا درمان‌های کمکی را در بیماران MS نشان داده‌اند. مک‌کلورگ و همکاران تأثیر آموزش عضله کف لگن، بیوفیدبک الکترومایوگرافیک و تحریک الکتریکی عصبی برای اختلالات مثانه در افراد مبتلا به MS را بررسی کردند و نتایج نشان می‌دهد که این درمان‌ها در ترکیب ممکن است علائم ادراری در MS را کاهش دهند. گو^۷ و همکاران تأثیر آموزش بیوفیدبک الکترومایوگرافیک بر عملکرد موتور عضله چهارسر در بیماران با آسیب نخاعی ناقص را بررسی کردند (۳۷، ۲۰). نتایج نشان داد که گروه بیوفیدبک الکترومایوگرافیک به‌طور معنی‌داری بهبود بیشتری در قدرت عضله چهارسر، هماهنگی حرکتی و عملکرد اندام تحتانی تجربه کردند. این مطالعه نتیجه‌گیری کرد که آموزش بیوفیدبک الکترومایوگرافیک به بهبود بازتوانی عصبی در آسیب نخاعی ناقص کمک می‌کند و به‌عنوان یک روش مؤثر در استراتژی‌های توانبخشی قابل استفاده است. هشیپرانگ^۸ تأثیر آموزش دوچرخه‌سواری با بیوفیدبک بصری بر بهبود راه رفتن در بیماران MS، شرایطی که معمولاً با اختلالات حرکتی همراه است، را بررسی کرد (۴۱). نتایج نشان داد که گروه بیوفیدبک دوچرخه‌سواری به‌طور معنی‌داری بهبود بیشتری در عملکرد راه رفتن نسبت به گروه کنترل داشتند، که نشان‌دهنده پتانسیل بیوفیدبک دوچرخه‌سواری به‌عنوان ابزاری مؤثر در توانبخشی برای اختلالات راه رفتن مرتبط با MS است. یافته‌های

^۷ Guo^۸ Hochsprung^۹ Waly

1. Dobson R, Giovannoni G. Multiple sclerosis—a review. *European Journal of Neurology* 2019; 26: 27–40.
2. Bidadian M, Rasoolzadeh Tabatabaei K, Naser Moghadasi A, Ahmadi F. Exploring the psychological antecedent factors of the transition to secondary progressive multiple sclerosis: A qualitative study. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2020; 8(4): 29–38.
3. Walton C, King R, Rechtman L, Kaye W, Leray E, Marrie RA, et al. Rising prevalence of multiple sclerosis worldwide: Insights from the Atlas of MS. *Multiple Sclerosis Journal* 2020; 26: 1816–1821.
4. Belgian M, Sherri Giger M, Director M, Pfohl DC, MSCN MJ, IMSIF. Multiple Sclerosis International Federation (MSIF). Multiple Sclerosis International Federation 2023.
5. Feinstein A. The neuropsychiatry of multiple sclerosis. *The Canadian Journal of Psychiatry*. 2004; 49: 157–163.
6. Samifar F, Samifar S, Vafae F, Gorji A. The use of artificial intelligence in the evaluation of multiple sclerosis brain lesions through the processing of MRI images. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2023; 12(1): 67–84.
7. Brownlee WJ, Hardy TA, Fazekas F, Miller DH. Diagnosis of multiple sclerosis: progress and challenges. *The Lancet*. 2017; 389: 1336–1346.
8. Behroozi Z, Atefimanesh P, Karimzadeh F. Structural and metabolic biomarkers in multiple sclerosis. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2018; 6(2): 94–108.
9. McGinley MP, Goldschmidt CH, Rae-Grant AD. Diagnosis and treatment of multiple sclerosis: a review. *JAMA*. 2021; 325: 765–779.
10. Leray E, Moreau T, Fromont A, Edan G. Epidemiology of multiple sclerosis. *Revue Neurologique*. 2016; 172: 3–13.
11. Ghorbanian B, Saberi Y, Rasouli M. The effect of Pilates training and electrical stimulation on motor and cognitive function of women with multiple sclerosis. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2019; 8(1): 63–76.
12. Allaire J, Maltais F, Doyon J, Noel M, LeBlanc P, Carrier G, et al. Peripheral muscle endurance and the oxidative profile of the quadriceps in patients with COPD. *Thorax*. 2004; 59: 673–678.
13. Howard J, Trevick S, Younger DS. Epidemiology of multiple sclerosis. *Neurologic Clinics*. 2016; 34: 919–939.
14. Kobelt G, Thompson A, Berg J, Gannedahl M, Eriksson J, Group MS, et al. New insights into the burden and costs of multiple sclerosis in Europe. *Multiple Sclerosis Journal*. 2017; 23: 1123–1136.
15. Glaviano NR, Saliba SJ. Can the use of neuromuscular electrical stimulation be improved to optimize quadriceps strengthening? *Sports Health*. 2016; 8: 79–85.
16. Grindstaff TL, Palimenio MR, Franco M, Anderson D, Bagwell JJ, Katsavelis D. Optimizing between-session reliability for quadriceps peak torque and rate of torque development measures. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019; 33: 1840–1847.
17. Spector P, Laufer Y, Gabizon ME, Kittelson A, Lapsley JS, Maffiuletti NA, et al. Neuromuscular electrical stimulation therapy to restore quadriceps muscle function in patients after orthopaedic surgery: a novel structured approach. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2016; 98: 2017–2024.
18. Kus G, Yeldan I. Strengthening the quadriceps femoris muscle versus other knee training programs for the treatment of knee osteoarthritis. *Rheumatology International*. 2019; 39: 203–218.
19. Duarte-Moreira RJ, Castro KV-F, Luz-Santos C, Martins JVP, Sá KN, Baptista AF. Electromyographic biofeedback in motor function recovery after peripheral nerve injury: an integrative review of the literature. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2018; 43: 247–257.
20. McClurg D, Ashe RG, Marshall K, Lowe-Strong AS. Comparison of pelvic floor muscle training, electromyography biofeedback, and neuromuscular electrical stimulation for bladder dysfunction in people with multiple sclerosis: a randomized pilot study. *Neurourology and Urodynamics*. 2006; 25: 337–348.
21. Norozian B, Arabi S, Marashipour SM, Kalantari KK, Baghban AA, Kazemi SM, et al. Recovery of quadriceps strength and knee function using adjuvant EMG-BF after primary ACL reconstruction. *Journal of Laser in Medical Sciences*. 2023; 14.
22. Kersten S, Fuchs B, Liebherr M. EMG supported biofeedback training in a person with multiple sclerosis – a case study. *Journal of Neurological Sciences*. 2017; 7: 00268.

23. Lúcio A, D'Ancona C, Lopes M, Perissinotto M, Damasceno B. The effect of pelvic floor muscle training alone or in combination with electrostimulation in the treatment of sexual dysfunction in women with multiple sclerosis. *Journal of Sexual Medicine*. 2014; 20: 1761–1768.
24. Ng G, Zhang A, Li C. Biofeedback exercise improved the EMG activity ratio of the medial and lateral vasti muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2008; 18: 128–133.
25. Rao SS, Seaton K, Miller M, Brown K, Nygaard I, Stumbo P, et al. Randomized controlled trial of biofeedback, sham feedback, and standard therapy for dyssynergic defecation. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*. 2007; 5: 331–338.
26. Thompson AJ, Banwell BL, Barkhof F, Carroll WM, Coetzee T, Comi G, et al. Diagnosis of multiple sclerosis: 2017 revisions of the McDonald criteria. *The Lancet Neurology*. 2018; 17: 162–173.
27. Kim J, Shin W. How to do random allocation (randomization). *Clinics in Orthopedic Surgery*. 2014; 6: 103–109.
28. Thompson D, Nijhuis CA. Even the odd numbers help: failure modes of SAM-based tunnel junctions probed via odd-even effects revealed in synchrotrons and supercomputers. *Advanced Optical Materials*. 2016; 49: 2061–2069.
29. Jenkinson CM, Doherty M, Avery AJ, Read A, Taylor MA, Sach TH, et al. Effects of dietary intervention and quadriceps strengthening exercises on pain and function in overweight people with knee pain: randomised controlled trial. *BMJ Journals*. 2009; 339.
30. Alghadir AH, Anwer S, Iqbal A, Iqbal ZA. Test–retest reliability, validity, and minimum detectable change of visual analog, numerical rating, and verbal rating scales for measurement of osteoarthritic knee pain. *Journal of Physical Rehabilitation*. 2018; 851–856.
31. Hawker GA, Mian S, Kendzerska T, French MJ. Measures of adult pain: visual analog scale for pain (VAS pain), numeric rating scale for pain (NRS pain), McGill pain questionnaire (MPQ), short-form McGill pain questionnaire (SF-MPQ), chronic pain grade scale (CPGS), short form-36 bodily pain scale (SF-36 BPS), and measure of intermittent and constant osteoarthritis pain (ICOAP). *Arthritis Care & Research*. 2011; 63: S240–S252.
32. Kujala UM, Jaakkola LH, Koskinen SK, Taimela S, Hurme M, Nelimarkka O. Scoring of patellofemoral disorders. *The American Journal of Sports Medicine*. 1993; 9: 159–163.
33. Yılmaz OO, Senocak O, Sahin E, Baydar M, Gulbahar S, Bircan C, et al. Efficacy of EMG-biofeedback in knee osteoarthritis. *Rheumatology International*. 2010; 30: 887–892.
34. Krepkovich E, Kaur M, Mangum LC, Saliba S, Lichter M, Olowin A, et al. Feasibility of a novel video game-based electromyography biofeedback system in patients with knee osteoarthritis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2022; 31: 937–942.
35. Anwer S, Quddus N, Miraj M, Equebal A. Effectiveness of electromyographic biofeedback training on quadriceps muscle strength in osteoarthritis of knee. *Hong Kong Physiotherapy Journal*. 2011; 29: 86–93.
36. Choi YL, Kim BK, Hwang YP, Moon OK, Choi WS. Effects of isometric exercise using biofeedback on maximum voluntary isometric contraction, pain, and muscle thickness in patients with knee osteoarthritis. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015; 27: 149–153.
37. Guo Y, Gao F, Li J, Yang M, Li J, Yang D, et al. Effect of electromyographic biofeedback training on motor function of quadriceps femoris in patients with incomplete spinal cord injury: A randomized controlled trial. *Neurosciences*. 2021; 48: 345–351.
38. Mackay AM, Buckingham R, Schwartz RS, Hodgkinson S, Beran RG, Cordato DJ. The effect of biofeedback as a psychological intervention in multiple sclerosis: a randomized controlled study. *International Journal of MS Care*. 2015; 17: 101–108.
39. Santos-Filho SD. Physical therapy in multiple sclerosis: A new strategy of treatment. *Physiotherapy Today*. 2019; 2.
40. McClurg D, Ashe RG, Marshall K, Lowe-Strong AS. Comparison of pelvic floor muscle training, electromyography biofeedback, and neuromuscular electrical stimulation for bladder dysfunction in people with multiple sclerosis: a randomized pilot study. *Neurourology and Urodynamics*. 2006; 25: 337–348.
41. Hochsprung A, Domínguez AG, Magni E, Uribe SE, García AM. Effect of visual biofeedback cycling training on gait in patients with multiple sclerosis. *Neurologia*. 2020; 35: 89–95.
42. Waly S, Ozdomar O, Kline J, Asfour S, Khalil T. The role of feedback information in isometric muscle training. *Proceedings of the 39th Annual Conference on Engineering in Medicine and Biology*, Baltimore, Maryland; 1986.