

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., Islamic Azad University, Mashhad, Iran

²Department of Computer Engineering, Ma.C., Islamic Azad 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 الکترومایوگرافیکی، تمرینات ایزومتریک و پایش EEG

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

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

اطلاعات مقاله:

پذیرش: ۱۴۰۴ مرداد ۶

اصلاحیه: ۱۴۰۴ مرداد ۲

دریافت: ۱۴۰۴ اردیبهشت ۱۹

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=10) 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 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 (μV²) در نواحی حرکتی مغز بود. اندازه‌گیری‌ها در پنج نوبت انجام شد: خط پایه و هفت‌های ۲، ۴، ۶ و ۱۲. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد در گروه EMG-BF، شدت درد از $6/5 \pm 1/2$ به $6/0 \pm 1/2$ ، قدرت عضلانی از $125/3 \pm 18/7$ به $185/2 \pm 23/4$ نیوتون و عملکرد زانو از $5/8 \pm 45/2$ به $8/9 \pm 8/72$ یافت؛ در حالی که در گروه کنترل به ترتیب تا هفته دوازدهم به $0/8 \pm 9/3$ ، $158/6 \pm 20/7$ نیوتون و $7/1 \pm 59/3$ رسید. تحلیل EEG نیز نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار توان موج بتا در گروه EMG-BF از $14/8 \pm 0/1$ به $1/2 \pm 2/20$ 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:

- الکتروانسفالوگرافی
- اندازه گیری درد
- عضله چهار سر ران
- قشر حرکتی
- اختلالات حرکتی

*نویسنده مسئول: احسان تهامی

پست الکترونیک: tahami59@iau.ac.ir

مقدمه

بیوفیدبک الکتروموایوگرافیکی به عنوان یک ابزار نوین در توانبخشی، با ارائه اطلاعات دقیق و آنی از فعالیت‌های عضلانی به بیمار، کمک می‌کند تا بیمار بتواند به طور 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 به عنوان یک روش کمکی می‌تواند MS 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 به عنوان 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 کنترل شده تصادفی انجام دادند که EMG-BF، بازخورد جعلی و درمان سنتی را مقایسه کرد و نشان داد که EMG-BF بیوست و ویژگی‌های فیزیولوژیک عملکرد رو 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 به همراه داشته باشند، ارزیابی اثربخشی EMG-BF در برنامه‌های تقویت ایزومتریک می‌تواند به عنوان یک راه حل نوآورانه، کم‌هزینه و

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 (۳-۴). 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 به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴-۶). 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 نه تنها 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 (۷، 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 وجود ندارد و درمان عمده‌ای 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 بی‌هوایی افزایش می‌یابد (۱۱، ۱۲). اگرچه تعداد فیبرهای سفید با افزایش سن افزایش می‌یابد، اما آتروفی بیشتر منجر به افزایش چربی و فیبروز 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 الکتروموایوگرافیکی^۲ می‌تواند در بهبود عملکرد عضلات و تقویت فعالیت‌های فیزیولوژیک عضلانی در بیماران مبتلا به اسکلروز چندگانه مفید باشد (۱۹).

¹ Multiple Sclerosis

² EMG-BF

³ McClurg

⁴ Lúcio

⁵ Rao

شناخت

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). شرکت کنندگان 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 ایزومنتریک همراه با بیوفیدبک EMG-BF یا EMG و همچنین گرمای مرطوب قرار گرفتند. گروه B (گروه کنترل) علاوه بر انجام تمرینات ایزومنتریک و دریافت گرمای مرطوب، بیوفیدبک EMG ساختگی دریافت کردند. معیارهای نهایی مورد بررسی در این مطالعه شامل حداکثر انقباض ایزومنتریک ارادی (MVIC) (عضله^۶ چهارسر ران)، شدت درد و وضعیت عملکردی شرکت کنندگان بود.

شرکت کنندگان

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 تعییبی (Post-hoc power analysis) با استفاده از نرم‌افزار G*Power^۷ (نخه ۳,۱,۹,۷) داشتگاه هاینریش-هاینه دولسلدورف، آلمان) انجام شد. این تحلیل نشان ۷۹ داد که با سطح آلفای ۰,۰۵، توان آماری مطالعه درصد بود، که نشان‌دهنده کافی بودن حجم نمونه برای تشخیص اثرات مشاهده شده 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 ابتدای این مطالعه ایجادهای ورود و خروج موردن غربالگری دقیق قرار گرفتند. همان‌طور که در نمودار ۱ نشان داده شده است، شرکت کنندگان به صورت 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 به صورت یک کارآزمایی یک‌سوکور (single-blind) طراحی شده بود، به این معنی که ارزیاب از تشخیص گروه‌ها آگاه بود، اما شرکت کنندگان از این موضوع اطلاعی نداشتند. در طول مطالعه، به دلیل بروز مسائل پژوهشی، 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 شده است. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر تعیین این بود که آیا EMG-BF هنگام استفاده به عنوان 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 کنترل شده 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 شرکت کنندگان می‌باشند بین ۲۱ تا ۶۰ سال سن داشته باشند. علاوه بر این، شرکت کنندگان نباید سابقه‌ای از آسیب یا بیماری زانو (به جز MS)، سوء مصرف الکل یا مواد مخدر، و یا بیماری‌های روانپزشکی گزارش کرده باشند. همچنین، شرکت کنندگان می‌باشند 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 می‌باشند دارای نمره‌ای بین ۳ تا ۴ در مقیاس وضعیت ناتوانی گستردگی (EDSS) (باشند)، که نشان‌دهنده سطوح متوسط تا پیشرفته ناتوانی است. همچنین، همه افراد مبتلا به MS می‌باشند حداقل به مدت یک ماه در مرحله تشدید بیماری باشند و از استرتوئیدهای کورتیکوئیدی استفاده نکنند. شرکت کنندگان بر اساس سن و سطح مهارت قبلی آن‌ها در استفاده از اینترنت و رایانه همسان‌سازی شدند. جذب شرکت کنندگان مبتلا به MS از طریق دانشگاه‌های محلی، آگهی‌های پژوهشکار 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 Contraction

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 شرکت کنندگان کمک می‌کرد تا با دریافت بازخورد دقیق از فعالیت عضلات خود، تمرینات را به صورت مؤثرتری انجام دهند.

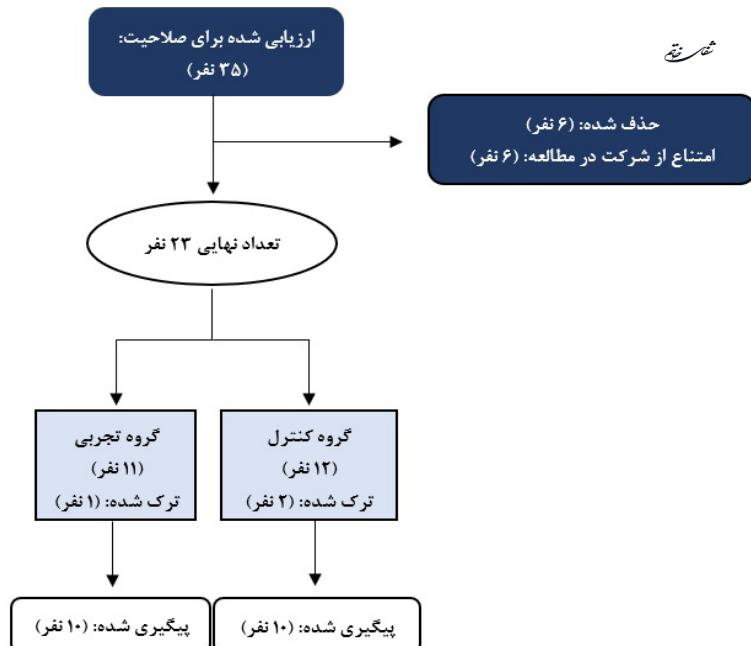
دستگاه بیوفیدبک EMG مورد استفاده، سیگنال‌های EMG را به صورت واضح و تمام صفحه نمایش می‌داد

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 که مطالعه REC.1402.139 خطرات و مزایای احتمالی پژوهش را مطابق با اصول اعلامیه هلسينکی برای شرکت کنندگان توضیح دادیم. همه شرکت کنندگان 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 هدایت شده با بیوفیدبک EMG به گروه آزمایش ارائه شد. در مقابل،



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

تصویر ۱- ابزار بیوفیدبک الکتروموگرافیک (Myomed ۹۳۲) Enraf نونیوس



تمرينات تقويتي

گروه A (گروه تجربی): تمرين ايزومتریک با هدایت EMG-BF و گرمای موطوب

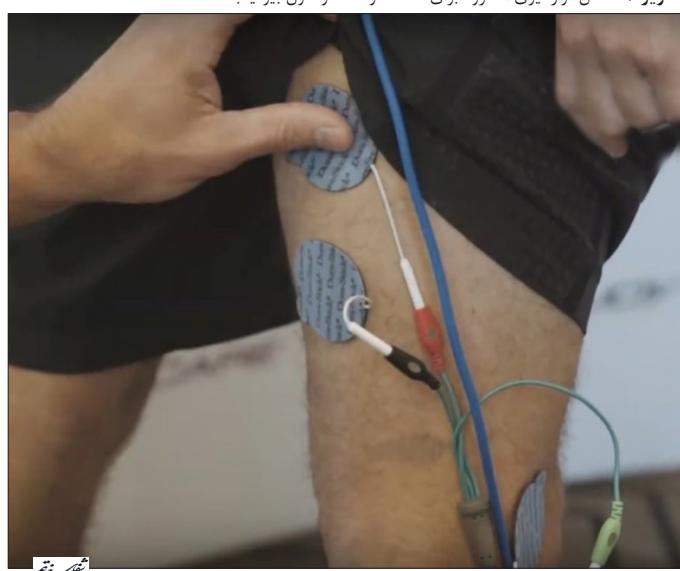
این گروه چهار مجموعه تمرين پنج روز در هفته به مدت پنج هفته دریافت کردند. به بیماران توضیح داده شد که چگونه فعالیت عضلانی خود را تحت نظر داشته باشند و هدف آن‌ها افزایش سطح فعالیت عضلات VMO و RF در حین انجام تمرينات بود. به بیماران توصیه شد پس از هر ۵ ثانیه انقباض، به مدت ۱۰ ثانیه استراحت کنند. جلسات تمرينی 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 تمرينی، 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 تمرين تقويتي برای عضله چهارسر ران انجام داد:

- ۱- تمرين ايزومتریک 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. اين تمرين در سه سمت ده تکراری انجام شد.
- ۲- تمرين اکستشن انتهائي 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. اين تمرين نيز در سه سمت ده تکراری انجام شد.

و منحنی‌هایی برای هر دو عضله واستوس مدیالیس اوبلیک (VMO) و رکتسوس فموریس (RF) ارائه می‌کرد. بیماران و فیزیوتراپیست‌ها از یک دستگاه الکتروموگرافی 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 ايزومتریک عضلانی را با شدت کافی انجام دهند و همزمان پیشرفت خود را روی صفحه نمایش دستگاه مشاهده کنند. برای ثبت فعالیت عضله VMO، دو الکترود ۴ سانتی‌متری بالاتر و ۳ سانتی‌متری میانی به مرز سوپرومدیال کشک قرار داده شدند. برای عضله RF، الکترودها در تقاطع یک‌سوم میانی و تحتانی ران، کمی به سمت وسط و پایین (یعنی در نیمه راه بین خط کشیده شده بین قاعده کشک و ستون فقرات ایلیاک فوقانی قدامی) قرار گرفتند. دو الکترود فعال از هر کanal تا حد امکان در جهت فیرهای عضلانی و نزدیک به هم قرار داده شدند. الکترود مرجع نیز در زیر توبر کل ۲۰۰ تیبیا قرار گرفت. حساسیت سیگنال EMG روی 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 ايزومتریک 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 تمرين به آن دست می‌یافت. آستانه در ۸۰ درصد از بالاترین انقباض ايزومتریک ثبت شده در ابتدای جلسه تعیین شد. بیماران موظف بودند این آستانه را در طول تمرين تجاوز کنند. برنامه تمرينی شامل ۱۵ دقیقه انقباضات ايزومتریک عضله چهارسر ران بود (۱۰ ثانیه انقباض و ۱۰ ثانیه استراحت). محل قرارگیری الکترودها برای عضلات VMO و RF در طول تمرين بیوفیدبک EMG در تصویر ۲ نشان داده شده است.

تصویر ۲- محل قرارگیری الکترود 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 ۳۰-۱۳ هرتز) در نواحی حرکتی قشر مغز اندازه‌گیری شد. موج بتا به عنوان 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 ۲۰-۱۰ بین‌المللی) استفاده شد، که نواحی حرکتی مرتبط با اندام تحتانی را پوشش می‌دهند. شرکت کنندگان 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 $0.05 < P < 0.005$ 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 سطح شد: 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 سطح تکراری از تمرین اداکشن ایزومتریک لگن را انجام دهند. این تمرین شامل قرار دادن یک بالش بین زانوها، در گیر کردن تمام عضلات تا حد امکان، انقباض بیش از سطح آستانه برای صاف کردن زانوها 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 الکترود مرجع در زیر توبوزیته تبیبا قرار داده شد تا از ثبت فعالیت عضلانی VMO و RF جلوگیری شود. دستگاه بیوفیدبک روشی 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 به کارگیری 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 روشنی 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 (حداکثر درد).

عملکرد زانو

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

جدول ۱- آمار نویسی

BMI	قد	وزن	سن	تعداد بیماران	گروه
26.5 ± 1.3	158.2 ± 0.5	66.3 ± 3.4	49.6 ± 1.5	۱۰	EMG-BF
26.3 ± 2.2	157.8 ± 1.8	65.6 ± 2.5	50.1 ± 2.3	۱۰	کنترل
P=0.5 مشترق	P=0.09	P=0.1	P=0.65	-	مقدار P

شناخت

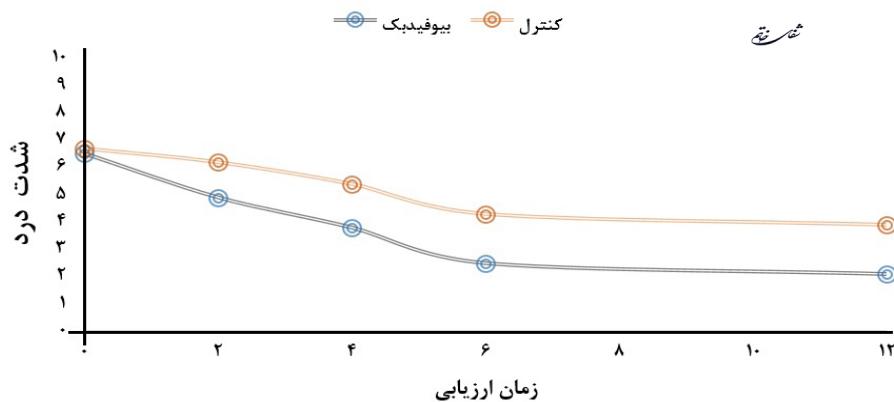
جدول ۳ و نمودار ۳، مقایسه قدرت عضله چهارسر بین دو گروه را نشان می‌دهد. در هفته‌های ۲ و ۴، تفاوت معنی‌داری بین دو گروه در قدرت عضله چهارسر مشاهده نشد. (مقادیر P، به ترتیب $P=0.05$ و $P=0.01$). با این حال، گروه تجربی در هفته‌های ۶ و ۱۲ قدرت عضله چهارسر به طور قابل توجهی بالاتری نسبت به گروه گروه کنترل (مقادیر P، به ترتیب $P<0.001$ و $P<0.002$).

جدول ۲ و نمودار ۲، مقایسه نمرات مقیاس آنالوگ بصیری (VAS) بین دو گروه را نشان می‌دهد. در هفته‌های ۲، ۴ و ۶، گروه تجربی نمرات VAS بهطور قابل توجهی پایین‌تر از گروه کنترل داشت (مقادیر P، به ترتیب $P=0.006$ ، $P=0.001$ و $P=0.002$). در پیگیری هفته دوازدهم، این نمرات در گروه تجربی نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری پایین‌تر بود ($P<0.001$).

جدول ۲- مقایسه نمرات مقیاس آنالوگ بصیری (VAS) بین دو گروه تحقیق
*تفاوت معنی‌دار درون گروهی نسبت به پیش‌آزمون ($P>0.05$)

زمان ارزیابی	گروه تجربی (n=10)	گروه کنترل (n=10)	P-Value	درصد بیبودی گروه تجربی	درصد بیبودی گروه کنترل
-	-	-	-	-	-
۷/۵ درصد	۶/۲±۱/۰	۶±۱/۱	0.006	۲۴/۶ درصد	۲۴/۶±۱/۱
۱۹/۴ درصد	۲/۸±۰/۹*	۵/۴±۰/۸*	0.002	۴۱/۵ درصد	۴۱/۵±۰/۸*
۳۵/۸ درصد	۲/۵±۰/۷*	۴/۳±۰/۹*	0.0001	۶۱/۵ درصد	۶۱/۵±۰/۸*
۴۱/۸ درصد	۲/۱±۰/۶*	۳/۹±۰/۸*	0.0001	۶۷/۷ درصد	۶۷/۷±۰/۸*

شدت درد

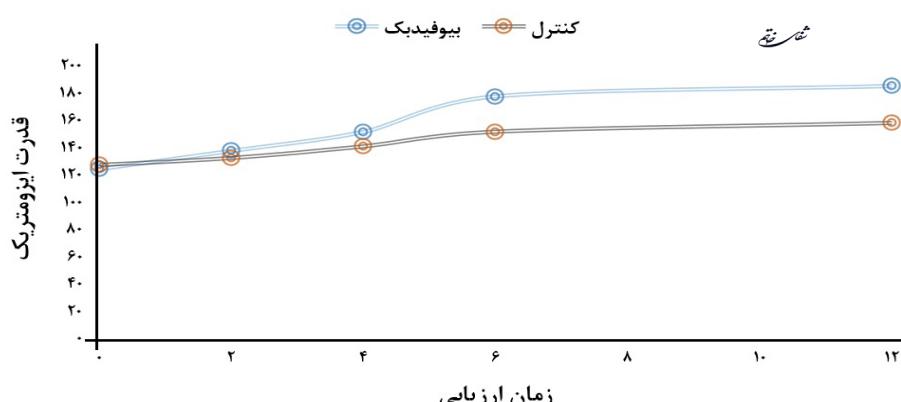


نمودار ۲- مقایسه نمرات مقیاس آنالوگ بصیری درد (VAS) بین دو گروه تحقیق

جدول ۳- مقایسه قدرت ایزومتریک عضله چهارسر ران (بر حسب نیوتن) بین دو گروه تحقیق
*تفاوت معنی‌دار درون گروهی نسبت به پیش‌آزمون ($P<0.05$)

زمان ارزیابی	گروه تجربی (n=10)	گروه کنترل (n=10)	P-Value	درصد افزایش قدرت گروه تجربی	درصد افزایش قدرت گروه کنترل
-	-	-	-	-	-
۴/۰ درصد	*۱۳۸/۶±۲۰/۶	۱۲۸/۱±۲۰/۲	0.742	۱۰/۶ درصد	-
۱۰/۵ درصد	*۱۵۲/۴±۲۲/۹	*۱۳۳/۲±۹/۳	0.1	۲۲/۱ درصد	۲۲/۱±۹/۳
۱۸/۹ درصد	*۱۷۸/۲±۲۵/۸	*۱۵۲/۳±۲۳/۱	0.002	۴۲/۳ درصد	۴۲/۳±۲۱/۵
۲۳/۸ درصد	*۱۸۵/۷±۲۳/۴	*۱۵۸/۸±۲۰/۷	0.0001	۴۸/۳ درصد	۴۸/۳±۲۰/۷

قدرت ایزومتریک عضله چهارسر ران



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

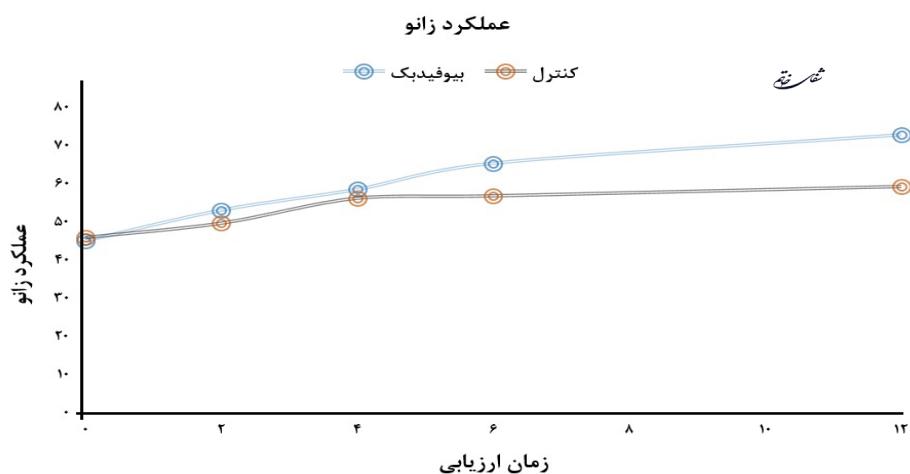
μV^2 در هفته ششم و $16/3 \pm 1/0 \mu\text{V}^2$ در هفته دوازدهم رسیدند. این نتایج حاکی از آن است که افزودن EEG به برنامه درمانی EMG-BF می‌تواند فعالیت عصبی-مغزی را به طور قابل توجهی تقویت کند. همچنین، همان‌گونه که در تصویر ۳ مشاهده می‌شود، ثبت سیگنال‌های EMG EEG پیش و پس از مداخله تفاوت‌های قابل توجهی را در الگوی فعالیت عصبی و عضلانی شرکت کنندگان نشان می‌دهد. در ثبت EMG، دامنه سیگنال‌ها پس از مداخله بهبود در فاز انقباضی افزایش یافته است که هدفمند می‌باشد. همچنین در سیگنال EEG، افزایش نسبی در قدرت باندهای مرتبط با تمرکز (مانند بتا) پس از مداخله مشهود است که نشان دهنده 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 $0/5$ و $0/08$). با این حال، گروه تجربی در هفته دوازدهم عملکرد زانو به طور 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 کنترل که از بیوفیدبک و مانیتورینگ EEG استفاده کردند، افزایش معناداری در قدرت سیگنال بتا از $16/8 \pm 1/0 \mu\text{V}^2$ در $20/2 \pm 1/2 \mu\text{V}^2$ در هفته ششم و مبنای $16/5 \pm 1/1 \mu\text{V}^2$ در هفته دادند ($P=0/0001$). در مقابل، گروه کنترل تنها از $14/6 \pm 0/9 \mu\text{V}^2$ به $16/5 \pm 1/1 \mu\text{V}^2$ تغییر نداشت.

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

زمان ارزیابی	گروه تجربی (n=10)	گروه کنترل (n=10)	P-Value	درصد ببهودی گروه تجربی	درصد ببهودی گروه کنترل
پیش‌آزمون	$45/2 \pm 5/8$	$46/1 \pm 6/3$	-	-	-
۲ هفته	$49/8 \pm 5/3$	$53/2 \pm 6/5$	$0/5$	$17/7$ درصد	$8/2$ درصد
۴ هفته	$58/6 \pm 6/8*$	$56/3 \pm 6/7*$	$0/08$	$29/6$ درصد	$22/1$ درصد
۶ هفته	$65/4 \pm 7/2*$	$56/9 \pm 6/7*$	$0/003$	$44/7$ درصد	$23/4$ درصد
۱۲ هفته	$72/8 \pm 8/9*$	$59/3 \pm 7/1*$	$0/0001$	$61/1$ درصد	$28/6$ درصد

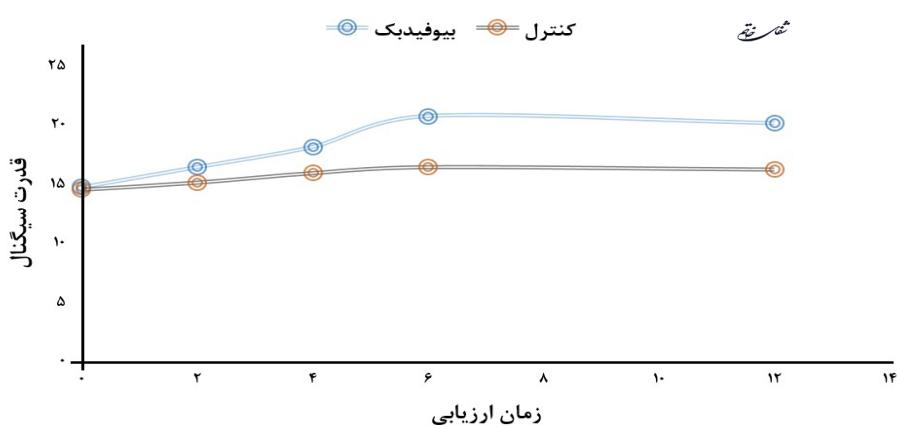


نمودار ۴- مقایسه نمرات عملکرد زانو (بر اساس پرسشنامه KPQ) بین دو گروه تحقیق

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

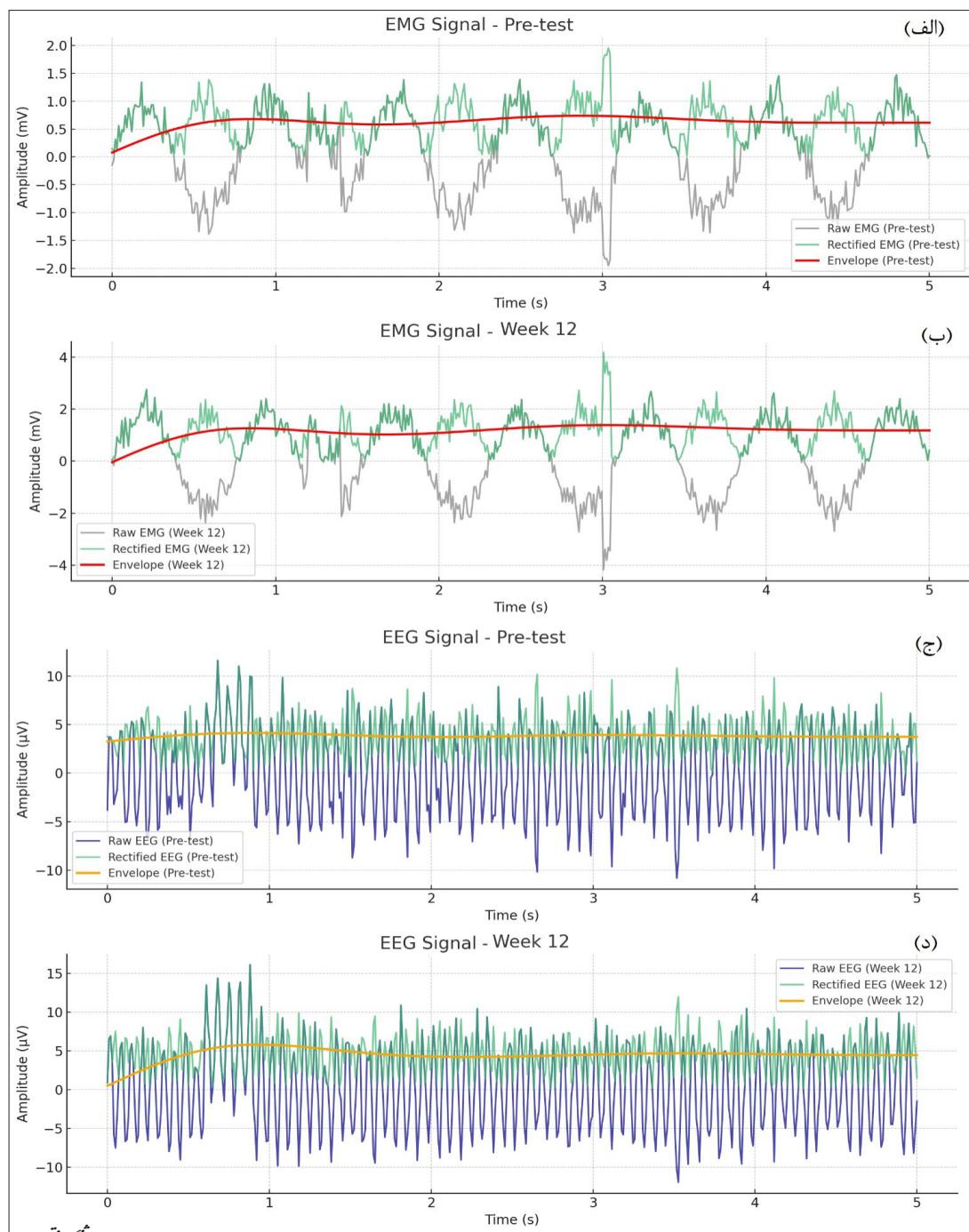
زمان ارزیابی	گروه تجربی (EMG-BF)	گروه کنترل	P-Value	درصد ببهودی گروه تجربی	درصد ببهودی گروه کنترل
پیش‌آزمون	$14/8 \pm 0/9$	$14/8 \pm 1/0$	-	-	-
۲ هفته	$16/5 \pm 1/2$	$15/2 \pm 1/1$	$0/08$	$11/5$ درصد	$4/1$ درصد
۴ هفته	$18/2 \pm 1/4$	$16/0 \pm 1/2$	$0/01$	$23/0$ درصد	$9/6$ درصد
۶ هفته	$20/8 \pm 1/3$	$16/5 \pm 1/1$	$0/0001$	$40/5$ درصد	$13/0$ درصد
۱۲ هفته	$20/2 \pm 1/2$	$16/3 \pm 1/0$	$0/0001$	$36/5$ درصد	$11/6$ درصد

قدرت سیگنال بتا



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) EEG پیش 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، 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 به عنوان شاخصی از مکانیسم زیربنایی این بهبودها (یعنی تقویت ارتباط عصبی-عضلانی) تفسیر شود. بر اساس تحلیل EEG، استفاده از بیوفیدبک الکتروموایگرافیکی به همراه مانیتورینگ EEG نه تنها مؤثر است، بلکه به طور قابل توجهی فعالیت مغزی را در بیماران MS بهبود می‌بخشد. این رویکرد می‌تواند به عنوان یک مداخله مکمل مؤثر در کنار تمرینات ایزومنتریک توصیه شود، به‌ویژه برای تقویت نوروپلاستیسیته و عملکرد حرکتی.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر اثربخشی آموزش بیوفیدبک الکتروموایگرافیک در بهبود قدرت عضله چهارسر، کاهش درد و بهبود ساختار زانو در یک فرد مبتلا به مولتیپل اسکلروزیس را نشان داد. این یک آزمایش یک سوکور بود، به این معنا که ارزیاب از تخصیص گروه‌ها مطلع بود اما شرکت‌کنندگان از آن بی‌خبر بودند. چون درمان بیوفیدبک بر بهبود ادرارک بدنه 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 هفت‌هه دوازدهم، منجر به بهبود قابل توجهی در هر دو گروه بیوفیدبک و کنترل در هفت‌هه دوم، چهارم، ششم و دوازدهم شد. با این حال، یافته‌های مطالعه نشان داد که ترکیب بیوفیدبک الکتروموایگرافیک و تمرینات ایزومنتریک منجر به بهبود بیشتر در تمامی شاخص‌های خروجی شد. اکثر اثرات در پیگیری هفت‌هه دوازدهم دوره درمان مشاهده شد. این مطالعه نشان داد که شش هفت‌هه تمرین ایزومنتریک عضله چهارسر، هدایت‌شده با بیوفیدبک الکتروموایگرافیک، به طور معناداری در کاهش سطح درد و افزایش قدرت عضله چهارسر در بیماران مبتلا به MS مؤثرتر بود. اگرچه عملکرد زانو بلا فاصله پس از شش هفت‌هه مداخله تفاوت معنی‌داری بین گروه تجربی و کنترل نشان نداد، گروه تجربی در ارزیابی پیگیری ۱۲ هفت‌های بهبود عملکرد زانو را نشان داد. بیوفیدبک الکتروموایگرافیک 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 الکتروموایگرافیک (EMG-BF) به همراه تمرینات ایزومنتریک در بیماران مبتلا به اسکلروز چندگانه (MS) اثربخشی قابل توجهی در مقایسه با تمرینات ایزومنتریک به تنها یی نشان می‌دهد. در جدول ۲ (مقیاس آنالوگ بصری یا VAS)، شدت درد در گروه ۲ EMG-BF از $6/5$ در حالت مبتا به $2/1$ در هفته دوازدهم کاهش یافت، در حالی که گروه کنترل تنها به $3/9$ بهبود یافت. در جدول ۳ (قدرت عضله چهارسر ران)، گروه EMG-BF از میانگین $125/3 \pm 18/7$ نیوتن در پیش‌آزمون به $22/4$ نیوتن در هفته دوازدهم رسید ($48/3$ درصد افزایش)، در حالی که گروه کنترل از $128/1 \pm 20/2$ نیوتن به $158/6 \pm 20/7$ نیوتن افزایش یافت ($23/8$ درصد افزایش). تفاوت بین دو گروه از هفته ششم ($20/0$ و بهویژه هفته دوازدهم ($P=0.0001$)). معنی‌دار بود، که نشان دهنده اثربخشی بیشتر ترکیب EMG-BF و تمرینات ایزومنتریک است. در جدول ۴ (عملکرد زانو)، گروه EMG-BF از میانگین $45/2 \pm 5/8$ در پیش‌آزمون به $8/9$ در هفته دوازدهم بهبود یافت ($61/1$ درصد بهبود)، در حالی که گروه کنترل از $6/3 \pm 6/1$ به $7/1$ رسید ($28/6$ درصد بهبود). تفاوت معنی‌دار از هفته ششم آغاز شد و در هفته دوازدهم به اوج خود (0.001). 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 مبتا به $1/25$ در هفته دوم، $18/2 \pm 1/4$ در هفته چهارم، $20/8 \pm 1/3$ در هفته ششم و $1/2$ در هفته دوازدهم افزایش یافت، در مقابل گروه کنترل که از $14/6 \pm 0/9$ به $1/1$ رسید ($16/0 \pm 1/2$ ، $15/2 \pm 1/1$ ، $16/5 \pm 1/1$ و $16/3 \pm 1/0$). با تفاوت معنی‌دار از هفته چهارم ($P=0.01$) و به اوج در هفته ششم و دوازدهم ($P=0.0001$). این نتایج به طور یکپارچه نشان می‌دهند که افزودن EMG-BF نه تنها 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 نوروپلاستیسیته 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) تأییدکننده‌ی تأثیرات فیزیولوژیکی مداخله‌ی مبتنی بر بازخورد EMG است. افزایش دامنه‌ی سیگنال EMG پس از مداخله را می‌توان به بهبود توانایی فعال‌سازی عضلات در گیر 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، هماننگ 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 انسور 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 به عنوان 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 سکته 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 امیدوار کننده 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 موثر است و می‌تواند پتانسیل بهبودی در درمان MS را بهینه کند. علاوه بر این، در صورت وجود نگرانی هایی در مورد انجام تمرینات قدرتی پویا، توصیه می‌شود آموزش‌های تخصصی و زود هنگام آغاز گردد. گنجاندن بیوفیدبک الکترومایوگرافیک در برنامه تمرینی ایزومنتریک 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 هدایت شده با بیوفیدبک از دستگاه‌های بیوفیدبک خاص استفاده می‌کند که فعالیت عضلانی را با شناسایی تنفس 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 تنفس عضلانی (افزایش یا کاهش) دریافت کنند. در نتیجه، بیماران می‌توانند از دستگاه بیوفیدبک برای تنظیم و تعديل تنفس عضلانی خود استفاده کنند. تمرینات تقویت عضلانی تحت نظارت دستگاه بیوفیدبک که تنفس عضلانی را در میکروولت‌ها اندازه‌گیری می‌کند، انجام می‌شود. بیماران می‌توانند با استفاده از این روش تغییرات تنفس عضلانی خود را 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 آموزش عضله کف لگن، بیوفیدبک الکترومایوگرافیک و تحریک الکتریکی عصبی برای اختلالات مثانه در افراد مبتلا به MS را بررسی کرند 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 کرند (۳۷). نتایج نشان داد که گروه بیوفیدبک الکترومایوگرافیک به طور 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 به عنوان یک روش مؤثر در استراتژی‌های توانبخشی قبل از استفاده است. هشپرانگ^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 به طور معنی‌داری بهبود بیشتری در عملکرد راه رفتن نسبت به گروه کنترل داشتند، که نشان‌دهنده پتانسیل بیوفیدبک دوچرخه‌سواری به عنوان ابزاری مؤثر در توانبخشی برای اختلالات راه رفتن مرتبط با MS است. یافته‌های

⁷ Guo⁸ Hochsprung⁹ Waly

- دوره سیزدهم، شماره سوم، تابستان ۱۴۰۴
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, Vafaei 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, Gabyzon 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. *Neurology 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. Yilmaz 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.