

مبانی و سازگاری های فیزیولوژیک استفاده از فناوری تمرین الکتریکی عضلات EMS

ویژه مربیان

مولفان:

محمد مهدی رفیعی

عضو هیات علمی دانشگاه فرهنگیان

نیلوفر زارعی محمدزاده

کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش دانشگاه زاهدان

نوشین زارعی محمدزاده

کارشناس ارشد مدیریت ورزش دانشگاه تهران

عارف باسره

دکتری فیزیولوژی ورزشی دانشگاه خوارزمی

ویراستار علمی:

محمد مهدی رفیعی

فصل اول

۵ مبانی تحریک الکتریکی

فصل دوم

۵۸ سازوکارها و سازگاری‌های فیزیولوژیکی به تمرین با تحریک الکتریکی

فصل سوم

تأثیر تمرین با تحریک الکتر تأثیر تمرین با تحریک الکتریکی عضلانی (EMS/NMES)
بر شاخص‌های آمادگی جسمانی مرتبط با سلامت و عملکرد ورزشی...

۹۶

فصل چهارم

راهنمای کلی و ملاحظات اخلاقی به هنگام استفاده از تحریک الکتریکی عضلات

۱۲۴

پیش‌گفتار

امروزه با پیشرفت فناوری و علوم پزشکی، روش‌های نوینی برای بهبود عملکرد جسمانی و ارتقای سلامت توسعه یافته‌اند که تحریک الکتریکی عضلات (EMS) یکی از مؤثرترین و جذاب‌ترین آن‌هاست. این تکنیک که ریشه در تاریخچه‌ای کهن دارد، از ابزارهای ابتدایی تحریک عصبی-عضلانی تا دستگاه‌های پیشرفته امروزی تکامل یافته و به یکی از ارکان مهم در حوزه‌های ورزشی، توان‌بخشی و تناسب‌اندام تبدیل شده است.

این کتاب با هدف ارائه‌ی دانش کاربردی و جامع درباره EMS نگاشته شده است تا خوانندگان را با اصول علمی، مزایا، کاربردها و ملاحظات ایمنی این فناوری آشنا کند. چه یک ورزشکار حرفه‌ای باشید که به دنبال بهبود عملکرد است، چه فردی با زمان محدود که می‌خواهد در مدت کوتاه به نتایج مطلوب برسد، یا حتی یک متخصص سلامت که از EMS در فرآیندهای درمانی استفاده می‌کند، این کتاب می‌تواند راهنمای ارزشمندی برای شما باشد.

در فصل‌های پیش‌رو، به بررسی تاریخچه EMS، مکانیسم‌های فیزیولوژیک اثر آن، پارامترهای فنی مؤثر در تنظیم دستگاه‌ها، کاربردهای مختلف در ورزش و پزشکی و همچنین نکات ایمنی و محدودیت‌های آن خواهیم پرداخت. تلاش شده است تا با زبانی روشن و مستند به آخرین پژوهش‌های علمی، اطلاعاتی دقیق و عملی در اختیار شما قرار گیرد.

امیدوارم این اثر بتواند به درک بهتر EMS و بهره‌گیری مؤثر از آن کمک کند و گامی در جهت بهبود سلامت، توانمندی جسمانی و کیفیت زندگی خوانندگان باشد.

با سپاس فراوان



فصل اول

مبانی تحریک الکتریکی

مقدمه

آسیب های وارده به سیستم عصبی مرکزی انسان، نظیر سکت های مغزی یا ضایعات نخاعی، منجر به تخریب سیستم عصبی شده و در پی آن، ضعف یا فلج عضلانی رخ می دهد. این عارضه، توانایی تولید نیروی ارادی لازم برای حرکات هدفمند را مختل می کند و عملکرد طبیعی فرد در انجام فعالیت های روزمره را با چالش مواجه می سازد. در پاسخ به این چالش، پژوهش های علمی گسترده ای به بررسی دستگاه ها، راهبردها و پروتکل های نوین تمرینی مبتنی بر تحریک عصب و عضله پرداخته اند که می توانند به صورت بالقوه، توانایی حرکتی ضروری برای عملکردهای روزانه و ارتقای کیفیت زندگی را بازیابی نمایند. در مطالعات مربوط به تحریک الکتریکی عضلانی، با طیف وسیعی از متدولوژی ها و اصطلاحات تخصصی مواجه می شویم که هر یک شیوه های متفاوتی از اعمال جریان الکتریکی را برای تعدیل فعالیت های عصبی-عضلانی و ایجاد تغییرهای عملکردی در بافت عضلانی ارائه می کنند. از جمله این روش ها می توان به تحریک الکتریکی (ES)^۱، تحریک الکتریکی عصبی-عضلانی (NMES)^۲، تحریک الکتریکی عصب از طریق پوست (TENS)^۳، تحریک الکتریکی عملکردی (FES)^۴ اشاره کرد. اگرچه روش های مختلف تحریک الکتریکی (نظیر ES، NMES، TENS و FES) از نام ها و کاربردهای متفاوتی برخوردارند، همگی بر اساس سازوکار فیزیولوژیک مشترکی عمل می کنند که مبتنی بر تحریک مصنوعی مسیرهای عصبی-عضلانی است.

-
1. Electrical Stimulation
 2. Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES)
 3. Transcutaneous Electrical Stimulation (TES)
 4. Functional Electrical Stimulation (FES)



این روش‌ها می‌توانند هم به‌صورت مستقل برای بهبود اختلالات حرکتی موضعی و هم در سیستم‌های پیچیده‌تر برای ایجاد حرکات چند مفصلی به کار روند. پتانسیل بالینی این تکنیک‌ها در توان‌بخشی به حدی گسترده است که امروزه به‌صورت گسترده در محیط‌های درمانی برای اهدافی چون افزایش قدرت عضلانی، بهبود دامنه حرکتی، کاهش آتروفی و ادم، ترمیم بافت و کنترل درد مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این فصل، ابتدا پس از مروری بر تاریخچه تحریک الکتریکی، به تعریف و تشریح هر یک از این روش‌ها پرداخته خواهد شد.

تاریخچه تحریک الکتریکی عضلانی (EMS)

تحریک الکتریکی عضلانی سابقه‌ای دیرینه دارد که به قرن‌ها پیش بازمی‌گردد. شواهد تاریخی نشان می‌دهد استفاده درمانی از جریان الکتریکی به‌ویژه در دوره‌های خاصی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. مهم‌ترین این دوره‌ها شامل:

- ۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح: استفاده از ماهی‌های الکتریکی برای درمان سردرد (جالینوس در آسیا)
- سال ۱۷۴۰ میلادی: استفاده از الکتریسیته در فارماکولوژی (کراتسنشتاین) تحقیقات بعدی در حوزه فیزیوتراپی (جلابر و فرانکلین^۱)
- سال ۱۷۹۰ میلادی: آزمایش پای قورباغه (لویی‌جی گالوانی^۲) اثبات برانگیختگی بافته‌ای عضلانی توسط تحریک الکتریکی
- سال ۱۸۳۱ میلادی: مایکل فارادی^۳ نشان داد که جریان‌های الکتریکی می‌توانند اعصاب را برای ایجاد حرکت فعال تحریک کنند
- ابتدای قرن ۱۹ میلادی: تولید جریان مکانیکی برای تحریک عضلات به‌صورت موضعی (فارادی، دوشن)(شکل-۱).
- ابتدای قرن ۲۰ میلادی: قوانین اصلی و پایه‌گذاری واژه‌شناسی تحریک الکتریکی
- سال ۱۹۳۹ میلادی: آزمایش پستانداران که نشان می‌داد EMS می‌تواند نیروی انقباض به‌مراتب بیشتری نسبت به انقباض‌های ارادی در عضلات ایجاد کند.
- حدود سال ۱۹۶۷ میلادی: توسعه روش تحریک الکتریکی کارکردی

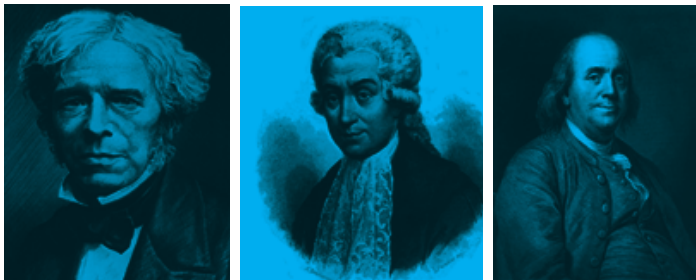
1. Benjamin Franklin

2. Luigi Galvani

3. Michael Faraday

FES و روش تحریک الکتریکی عصب از راه پوست TENS (وال و سویت)^۱

- از اوایل دهه ۱۹۷۰ تمرین EMS به عنوان یک فناوری تمرینی با شدت بالا در ورزش های با عملکرد بالا، فیزیوتراپی و توان بخشی.
- سال ۱۹۷۱ میلادی: حداکثر افزایش توان و قدرت در کارایی ورزشکاران روسی
- سال ۲۰۰۳ میلادی: عرضه اولین سیستم EMS کل بدن در حوزه فعالیت ورزشی و تناسب اندام
- سال ۲۰۰۹ میلادی: ساخت و تجاری شدن دستگاه EMS در آلمان

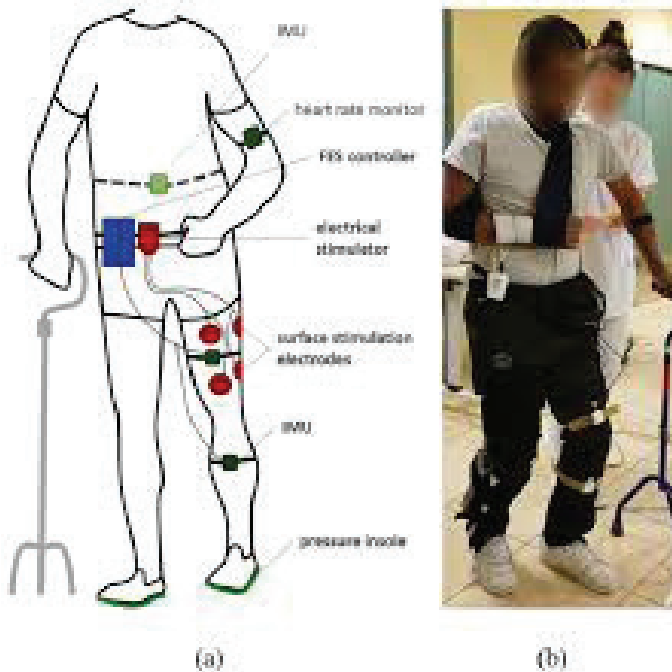


شکل ۱: تصاویر به ترتیب از راست به چپ (فرانکلین، گالوانی، فارادی).

انواع تمرین‌های مبتنی بر تحریک الکتریکی

تحریک الکتریکی عملکردی (FES)

تحریک الکتریکی عملکردی (FES) به عنوان یک روش درمانی پیشرفته در حوزه توان بخشی عصبی-عضلانی، با بهره‌گیری از پالس‌های الکتریکی کنترل شده، اقدام به فعال سازی مصنوعی مسیرهای عصبی-عضلانی می‌نماید. این تکنیک که بر پایه اصول نوروفیزیولوژیک و بیومکانیک حرکتی طراحی شده است، با تحریک هدفمند گروه‌های عضلانی خاص، قادر به بازسازی الگوهای حرکتی پایه هم‌چون چنگ زدن، ایستادن و راه رفتن در بیماران مبتلا به ضایعات نخاعی یا سکت‌های مغزی است (شکل-۲). مکانیسم اثر FES مبتنی بر ایجاد هماهنگی زمانی-مکانی بین تحریک الکتریکی و فعالیت‌های عملکردی است که از طریق بازگرداندن ارتباط عصبی-عضلانی مختل شده، نه تنها موجب بهبود پارامترهای حرکتی می‌گردد، بلکه با افزایش استقلال عملکردی بیماران، تأثیر معناداری بر ارتقای کیفیت زندگی آنان دارد. مطالعات بالینی متعدد، کارایی این روش را در بازتوانی بیماران نورولوژیک به اثبات رسانیده‌اند.

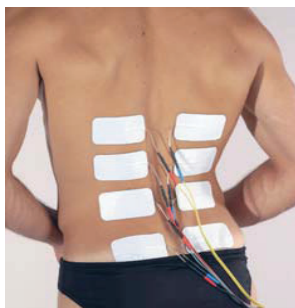


شکل ۲: تحریک الکتریکی عملکردی (FES)

تحریک الکتریکی پوستی (TES)

تحریک الکتریکی از روی پوست (TES) یا همان تحریک الکتریکی پوستی، یک تکنیک غیرتهاجمی است که شامل اعمال جریان الکتریکی از طریق الکترودهای متصل به پوست جهت تحریک عصب‌ها و عضلات انجام می‌شود (شکل-۳). TES به عنوان یک روش معمول برای مدیریت درد، به‌ویژه در دردهای مزمن مانند درد کمر، التهاب مفاصل و دردهای عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم‌چنین، این روش برای بهبود قدرت و

عملکرد عضلات و کاهش اسپاسم عضلانی و در درمان برخی بیماری های پزشکی مانند ناتوانی سیستم ادراری و به عنوان یک ابزار برای آزمون تشخیصی در اختلالات عصبی و عضلانی استفاده می شود. پارامترهای تحریک الکتریکی، مانند شدت، فرکانس و مدت زمان، برای تنظیم به نیازهای هر بیمار خاص تغییر داده می شوند.

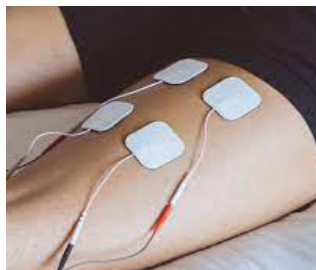


شکل ۳: تحریک الکتریکی پوستی (TES)

تحریک الکتریکی عصبی-عضلانی (NMES)

تحریک الکتریکی عصبی-عضلانی (NMES) که با عناوین تحریک الکتریکی عملکردی (FES) و تحریک الکتریکی عضلانی (EMS) نیز شناخته می شود، نخستین بار در سال ۱۹۶۴ معرفی گردید. این روش درمانی مبتنی بر اعمال جریان های الکتریکی کنترل شده از طریق الکترودهای سطحی به منظور تحریک انتخابی ساختارهای عصبی-عضلانی است که منجر به فعال سازی عضلات هدف، بهبود قدرت و بازگشت عملکرد حرکتی می گردد. به عنوان یک میانجی کلیدی در الکترותרاپی، NMES بیشتر در جمعیت های نورولوژیک شامل بیماران سکته ای، ضایعات نخاعی

و آسیب‌های مغزی تروماتیک، هم‌چنین موارد آتروفی عضلانی ناشی از بی‌حرکتی طولانی مدت کاربرد دارد (شکل-۴). پارامترهای قابل تنظیم این تکنیک شامل شدت (حساسیت به محدودیت‌های آستانه ناراحتی حسی)، فرکانس (۲۰-۵۰ هرتز برای القای تتانی عضلانی^۱) و مدت تحریک است که به صورت شخصی‌سازی شده همراه با سایر مداخلات توان‌بخشی مانند ورزش درمانی به کار می‌رود. مطالعات نشان می‌دهند که سطوح زیر بیشینه گشتاور القاشده (۵-۵۰٪ MVC) برای جمعیت‌های بالینی مختلف کفایت می‌کند، هرچند بهینه‌سازی پارامترهای تحریک (مانند مدت فاز ۵۰۰ میکروثانیه برای کارایی بالاتر) و تعادل بین راندمان تحریک و تحمل بیمار هم‌چنان موضوع تحقیقات جاری است. یافته‌ها حاکی از آن است که جریان‌های K FAC و PC^۲ با مدت فاز یکسان، اثرات مشابهی بر متغیرهای فیزیولوژیک و ادراکی دارند، اما استفاده از پالس‌های با مدت زمان طولانی‌تر امکان دستیابی به پاسخ‌های مکانیکی مطلوب با شدت جریان پایین‌تر را فراهم می‌سازد.



شکل ۴: تحریک الکتریکی عصبی عضلانی (NMES)

۱. Tetany وضعیتی که با اسپاسم عضلانی متناوب، ناشی از عملکرد نادرست غدد پاراتیروئید و در نتیجه کمبود کلسیم مشخص می‌شود.

۲. NMES مرسوم شامل یک جریان پالسی الکتریکی (PC) با مدت زمان فاز/پالس کمتر از ۵۰۰ میکروثانیه است که بین ۲۰

تمرین ارتعاش کل بدن (WBVE)^۱

تمرین ارتعاش کل بدن (WBVE) به عنوان یک روش درمانی بالقوه ظهور کرده است که مزایایی را در حوزه های مختلف، از جمله کاهش درد، بهبود تعادل، حس عمقی، عملکرد و افزایش کیفیت زندگی ارائه می دهد (شکل-۵). در دهه های اخیر، تمرین ارتعاشی کل بدن به عنوان یک درمان جایگزین امیدوارکننده ظهور کرده است. WBVE با هدف افزایش قدرت و فعالیت عضلات با استفاده از تقویت عصبی انجام می شود. این روش تمرینی از طریق پلتفرم های ارتعاشی با فرکانس های مختلف سبب ایجاد نوسانات مکانیکی می شود که موجب فعال سازی همزمان مکانیسم های عصبی از جمله افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی، بهبود هماهنگی بین عضلانی و تحریک گیرنده های عمقی می شود. ارتعاشات تولیدشده در سراسر بدن پخش می شوند و از طریق رفلکس تونیک ارتعاشی که با تغییرهای سریع در طول عضله که توسط اندام های مختلف گیرنده های عمقی تشخیص داده می شود، تحریک عضلات را القا می کنند و در نهایت فرکانس پتانسیل های برانگیخته حرکتی را افزایش می دهند. این امر فعالیت دوک عضلانی را افزایش می دهد و منجر به فعال شدن پاسخ کشش عضلات تنه می شود. مطالعات در این زمینه از نظر فرکانس ها، دامنه ها و مدت زمان های مورد استفاده در WBVE به طور قابل توجهی متفاوت هستند و فقدان پروتکل های استاندارد در این مطالعات وجود دارد.

تا ۱۰۰ هرتز ارائه می شود. جریان متناوب با فرکانس کیلوهرتز (KFAC) با فرکانس هایی از ۱ کیلوهرتز تا ۱۰ کیلوهرتز، با فرکانس انفجاری بین ۱ هرتز و ۱۰۰ هرتز و چرخه کار انفجاری ۱۰٪ یا بیشتر ارائه می شود. KFAC برای به حداقل رساندن ناراحتی درک شده در طول تحریک پیشنهاد شده است.

همچنین در مدیریت درد محرک ارتعاشی ارائه شده توسط WBVE، تارهای میلین دار بزرگ را فعال می کند که می تواند انتقال سیگنال های درد حمل شده توسط تارهای درد کوچک تر در شاخ پشتی نخاع را مهار کند. این مهار پیش سیناپسی به عنوان یک "دروازه" عمل می کند و درک درد را کاهش می دهد. علاوه بر این، تصور می شود که فعال سازی هم زمان مسیرهای حسی مرتبط با عضله و پوست، توسط ارتعاش، اثرات ضد درد قوی تر و پایدارتری ایجاد کند. علاوه بر این، استفاده از WBVE ممکن است باعث شل شدن عضلات و کاهش درد مرتبط با تنش عضلانی شود. مطالعات قبلی نشان داده اند که چگونه افزایش فعالیت عضلات و جریان خون و به دنبال آن یک پاسخ شل شدن طبیعی پس از انقباض، می تواند منجر به شل شدن کلی عضلات شود. این اثر شل شدن ممکن است بیشتر در کاهش نمرات درد مشاهده شده پس از WBVE نقش داشته باشد. یکی دیگر از جنبه های مهم اثربخشی WBVE در کاهش درد، پتانسیل آن در بهبود وضعیت بدن از طریق فعال سازی عضلات تنه است. این بهبود وضعیت بدن می تواند همان طور که توسط جونگ و همکاران (۲۰۲۰) پیشنهاد شده است، استرس مکانیکی و تنش را بر روی ساختارهای غیرفعال تنه کاهش دهد و در نتیجه به کاهش درد کمک کند. علاوه بر این، محرک غیر مضر ایجاد شده توسط ارتعاش ممکن است فعال شدن نورون ها در دستگاه اسپینو تالامیک را کاهش دهد و بر هم زمانی سیگنال های عصبی که به نیمکره مغزی می رسند، تأثیر بگذارد و منجر به افزایش آستانه درد و کاهش درک درد شود. همچنین نشان داده شده است که WBVE در تعادل و حس عمقی در افراد مؤثر است. مکانیسم اساسی متسبب به این بهبودها شامل فعال شدن گیرنده های عمقی، مانند دوک های عضلانی و اندام های

تاندونی گلژی (GTOs) است که حلقه بازخورد حسی مورد نیاز برای حفظ تعادل وضعیتی را افزایش می دهند. اعمال WBV مسیرهای آوران را تحریک می کند و منجر به بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی می شود. این تحریک توانایی بدن در تشخیص تغییرهای در موقعیت و حرکت مفصل را افزایش می دهد و در نتیجه کنترل حرکتی را بهبود می بخشد. علاوه بر این، فعال شدن هم زمان هر دو گروه عضلانی آگونیست و آنتاگونیست در طول WBV می تواند منجر به یک سیستم عضلانی متعادل تر شود، استعداد آسیب را کاهش داده و ثبات کلی را افزایش دهد.



شکل ۵: دستگاه ارتعاش کل بدن

طب سوزنی الکتریکی (EA)

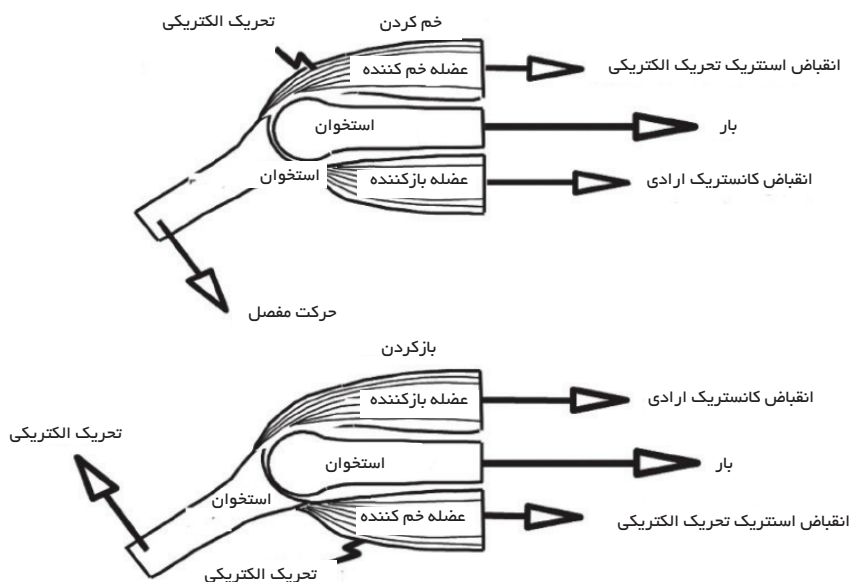
طب سوزنی الکتریکی یا الکتروآکوپانچر در فیزیوتراپی روشی است که در آن از دو سوزن در محل موردنظر و نقطه‌ای نزدیک آن استفاده می‌شود و توسط تحریک الکتریکی اعمال می‌شود. در این تکنیک سوزن طب سوزنی به یک منبع الکتریکی با ولتاژ پایین متصل می‌شود و با تولید پالس‌های الکترونیکی مداوم، درمان صورت می‌گیرد. شدت و فرکانس تکانه بسته به شرایط بیمار و شدت درد دارد. درمان بیماری‌های مختلف شامل درد مزمن، اسپاسم عضلانی، اختلالات عصبی، آرتروز، فلج عضله، گردش خون ضعیف، آسیب‌های ورزشی و حالت تهوع حاد ناشی از درمان سرطان می‌شود. به تازگی، مطالعات سیستماتیک نشان داده‌اند که EA یک درمان ایمن و مؤثر برای بیماران چاق نیز هست و فواید امیدوارکننده‌ای در درمان چاقی دارد. با این حال، مکانیسم عمل EA بر چاقی نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.



شکل ۶: طب سوزنی یا الکتروپانچر

تمرین های هیبرید یا ترکیبی

تمرین هیبرید^۱ که به طور خاص برای فضانوردان در مأموریت های طولانی مدت فضایی طراحی شده است، ترکیبی هوشمندانه از تحریک الکتریکی عضلانی (NMES) و تمرین های مقاومتی سنتی است. تمرین هیبرید باعث ایجاد مقاومت در مقابل نیروی حاصل از انقباض ارادی عضلات آگونیست با انقباض عضلات آنتاگونیست حاصل از تحریک الکتریکی می شود. بر این اساس، تمرین هیبرید می تواند هر دو عضله آگونیست ارادی و عضله آنتاگونیست تحریک شده الکتریکی را به طور همزمان و بدون آسیب دیدگی به عضلات تمرین دهد. تمرین هیبرید با مکانیسم های منحصر به فرد خود، گزینه ای مؤثر برای جمعیت های بالینی خاص محسوب می شود. این روش با ترکیب تحریک الکتریکی و فعالیت ارادی، موجب فراخوانی واحدهای حرکتی با آستانه بالا می شود که در شرایط عادی کمتر فعال می شوند. مطالعات نشان می دهند این رویکرد می تواند مصرف گلوکز عضلانی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد و همزمان مسیرهای متابولیک هوازی و بی هوازی را تقویت کند. از مزایای کلیدی این روش می توان به کاهش معنادار بار مکانیکی بر مفاصل اشاره کرد که آن را برای بیماران چاق، مبتلایان به استئوآرتریت پیشرفته و افراد با محدودیت های حرکتی مناسب می سازد. قابلیت اجرا در وضعیت نشسته و بازده زمانی بالا از دیگر ویژگی های متمایز این پروتکل است. شواهد علمی حاکی از افزایش قابل توجه فعالیت واحدهای حرکتی نوع II در این روش در مقایسه با تمرین های استاندارد است. این ویژگی ها، تمرین هیبرید را به مداخله ای ارزشمند در برنامه های توان بخشی کوتاه مدت تبدیل کرده است.

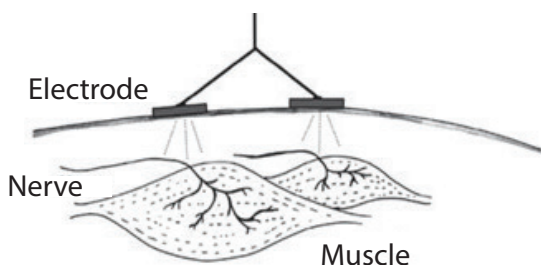


شکل ۷: شماتیک تمرین‌های هیپرید

تمرین با تحریک الکتریکی عضلات (EMS)

تحریک الکتریکی عضلات (EMS)، روشی است که از قرن‌ها قبل به اشکال گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است. این روش که از فیزیوتراپی سرچشمه گرفته شده است دارای یک جلیقه قابل پوشش که بر روی آن الکترودهایی تعبیه شده است. جریان الکتریکی از طریق الکترودهای برای دیپلریزه کردن اعصاب حرکتی زیرین و در نتیجه انقباض عضلات اسکلتی استفاده می‌شود. در تمرین بدنی سنتی عضلات فرمان حرکتی را

به شکل پالس های الکتریکی از مغز دریافت می کنند، اما در روش EMS این پالس های الکتریکی از طریق الکترودها فرستاده می شوند و در نهایت عضلات دچار تنش می شوند، درواقع عضلات نمی توانند منبع این پالس را تشخیص دهند و در هر صورت واکنش خود را به صورت انقباض نشان می دهند. در روش تمرینی EMS تمام عضلات به طور هم زمان و یکپارچه بکار گرفته می شوند. به طور معمول در محیط های بالینی برای تقلید از انقباض های ارادی و تقویت توان بخشی عضلات اسکلتی انسان مورد استفاده قرار می گیرد. این فناوری به طور معمول برای بهبود قدرت و عملکرد عضلات بکار می رود. EMS ممکن است در ورزش، تناسب اندام، توان بخشی، درمان درد و بهبود نقاط ضعف عضلانی مورد استفاده قرار گیرد. EMS می تواند به صورت فناوری پوشیدنی یا دستگاه های قابل حمل در دسترس است.



شکل ۸: تحریک الکتریکی عضلات