



FES (Functional Electrical Stimulation)

درس سیستم های عصبی عضلانی

نام استاد: دکتر مالکی

نام دانشجو: فاطمه طاهری

پاییز ۱۴۰۴



FES چیست؟

سکته مغزی
آسیب نخاعی

Neuroprosthesis

ویژگی های FES
ملاحظات بالینی و کاربردهای بالینی FES

FES چیست؟

آینده FES

نتیجه گیری
منابع

FES چیست؟

روشی پیشرفته و علمی در فیزیوتراپی برای تولید حرکات عملکردی

استفاده از پالس های الکتریکی کنترل شده برای ایجاد انقباضات هدفمند در عضلات

کاربرد: درمان بیماران مبتلا به اختلالات نورولوژیک مانند سکته مغزی، آسیب نخاعی، ام اس، پارکینسون و ضربه مغزی

هدف: بازگرداندن عملکرد حرکتی و افزایش استقلال فردی بیماران

سکته مغزی

پنجمین علت مرگ در ایالات متحده و یک علت اصلی ناتوانی است.

hemorrhagic stroke: سکته ناشی از پارگی یک رگ خونی

ischemic stroke: سکته ناشی از انسداد یک رگ خونی

محل و وسعت necrosis، اثرات سکته را تعیین می‌کند که می‌تواند بر رفتار، احساسات، ارتباطات و حرکت ارادی، از جمله موارد دیگر تأثیر بگذارد.

hemiplegia اثر شایع سکته مغزی

آسیب نخاعی

از دست دادن عملکرد حسی و/یا حرکتی

اغلب به طور دوطرفه بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. traumatic یا non-traumatic

چرا سطح آسیب نخاعی مهم است؟

Neuroplasticity: توانایی سیستم عصبی برای اصلاح اتصالات سیناپسی خود به منظور بازسازی خود و گنجاندن توانایی‌های حرکتی جدید

جهت درمان، تحریک الکتریکی عملکردی (FES) از Neuroplasticity برای بازیابی توانایی انجام حرکات ارادی پس از سکته مغزی و آسیب نخاعی استفاده می‌کند.

تحریک عصبی-عضلانی: تحریک الکتریکی، انقباضات عضلات فلج شده‌ای را که هنوز عصب‌رسانی دارند تولید می‌کند. به عنوان مثال، NMES می‌تواند برای افزایش قدرت عضلانی، بهبود نیمه‌دررفتگی شانه، تولید حرکت استفاده شود.

تحریک الکتریکی-عملکردی: زیرگروهی از NMES است که در آن تحریک به حرکات عملکردی و هدفمند کمک می‌کند. مثل برداشتن یک کتاب از روی میز و نگه داشتن یک خودکار برای نوشتن

یک سیستم FES که یک حرکت خاص را تسهیل می‌کند اغلب به عنوان یک neuroprosthesis حرکتی شناخته می‌شود. به عنوان مثال، یک neuroprosthesis برای گرفتن، یک سیستم FES است که توانایی گرفتن اشیا را باز می‌گرداند.

Neuroprosthesis

۱. تحریک کننده الکتریکی

تولید تحریک های الکتریکی جهت ایجاد انقباضات عضلانی

اعمال تحریک از طریق کانال های تحریک فردی انجام می شود. یک کانال تحریک شامل یک جفت الکتروود (کاتد و آنود) است که برای اعمال پالس های تحریک پیچیده، استفاده می شود.

۲. الکتروودهای تحریکی

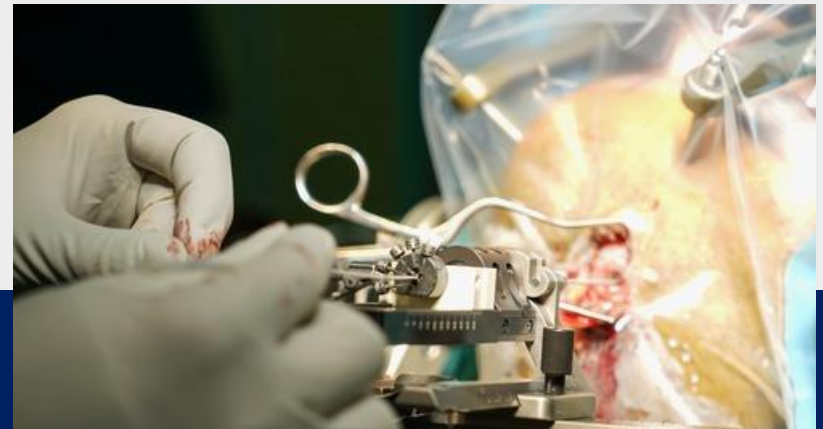
- الکتروودهای کاشتنی
- الکتروودهای پوستی
- الکتروودهای سطحی



الکترودهای تحریکی

الکترودهای کاشتنی

- الکترودها از طریق جراحی در بدن قرار داده می‌شوند.
- آنها برای استفاده بلندمدت مناسب‌تر هستند.
- الکترودها را می‌توان در مجاورت اعصاب هدف قرار داد که منجر به انتخاب‌پذیری بالا می‌شود.
- جریان الکتریکی مورد نیاز جهت تولید انقباض عضلانی با الکترودها در محدوده ۲۵ میلی‌آمپر
- علیرغم کاشت کامل الکترودها، اغلب اجزای خارجی‌ای وجود دارند که کاربر باید به عنوان بخشی از نوروپروتز کامل بپوشد. (رابط کنترل‌کننده)
- ⚠ **خطر عفونت** در اثر کاشت الکترودها
- پس از کاشت، موقعیت الکترودها را نمی‌توان به راحتی تغییر داد.



الکترودهای تحریکی

الکترودهای پوستی

- معمولاً به شکل سیم‌هایی هستند که از پوست عبور می‌کنند و بخشی از آنها در مجاورت نورون‌های حرکتی در بدن قرار داده می‌شوند.
- الکترودها اغلب برای کاربردهای کوتاه‌مدت FES استفاده می‌شوند.
- الکترودها به طور موقت در جای خود باقی می‌مانند در حالی که تحریک اعمال می‌شود.
- جریان الکتریکی مورد نیاز جهت تولید انقباض عضلانی با الکترودها در محدوده ۲۵ میلی‌آمپر

الکترودهای تحریکی

الکترودهای سطحی

- الکترودها بر روی سطح بدن قرار داده می‌شوند. در طول تحریک، الکترودها بر روی عصب عصب‌دهنده عضله مورد تحریک قرار می‌گیرند.
 - قابلیت جا به جایی
 - ماهیت غیرتهاجمی
 - جریان الکتریکی مورد نیاز جهت تولید انقباض عضلانی با الکترودها در محدوده ۲ تا ۱۲۰ میلی‌آمپر
- محدودیت: ممکن است برای استفاده با عضلات عمقی نامناسب باشند. 

الکترودهای تحرکی

Table 1 Stimulation electrodes with different levels of invasiveness

Type	Typical current	Advantages	Disadvantages
Invasive			
Implanted	25 mA	High stimulation specificity Suitable for long-term use	Require surgery Placement cannot be modified after implantation
Percutaneous	25 mA	High stimulation specificity Suitable for short-term use	Require surgery
Non-invasive			
Transcutaneous (surface)	2 mA–120 mA	Do not require surgery Easy to reposition	Unsuitable for stimulation of deep muscles Often require higher stimulation current

Neuroprosthesis

۱. تحریک کننده الکتریکی

۲. الکترودهای تحریکی

۳. حسگرهای کنترل

به افراد با توانایی‌های مختلف اجازه می‌دهد دستگاه را فرمان دهند. به عنوان مثال، یک پتانسیومتر ممکن است به کاربر اجازه دهد نوع گرفتن مورد نظر را که باید از طریق تحریک تولید شود، مشخص کند.

۴. Orthosis

صرفه‌جویی در انرژی یا جلوگیری از خستگی عضلانی در تولید یک حرکت خاص زمانی که تحریک به تنهایی کافی نیست.



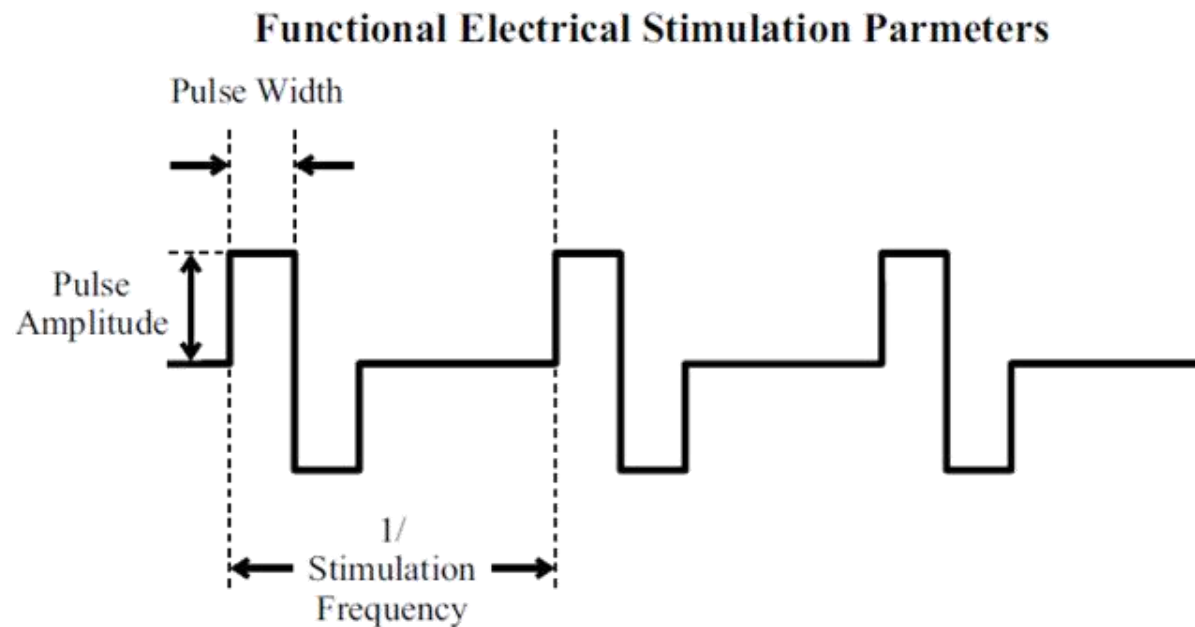
ویژگی های FES

شدت تحریک

- دامنه پالس

- مدت پالس

- فرکانس پالس



شکل پالس

Fig. 1 Functional electrical stimulation parameters. Pulse width, amplitude, and frequency define the muscles stimulated, force, and quality of the contraction

فرکانس تحریک

نرخ‌ی است که پالس‌های تحریکی اعمال می‌شوند و بر قدرت انقباض عضلانی و همچنین کیفیت آن تأثیر می‌گذارد.

 16-20Hz	 20-50Hz	 20-25Hz	 40Hz	 40Hz
حداقل فرکانس مورد نیاز جهت ایجاد انقباضات نسبتاً ثابت	فرکانس‌های پالس معمول	مراحل اولیه استفاده از FES	انقباضات tetanic با حداقل ۲۰ پالس در ثانیه	بیماران مبتلا به سکته مغزی

****نمونه‌هایی از پالس‌های مورد استفاده برای تحریک الکتریکی عملکردی****

Examples of Pulses Used for Functional Electrical Stimulation

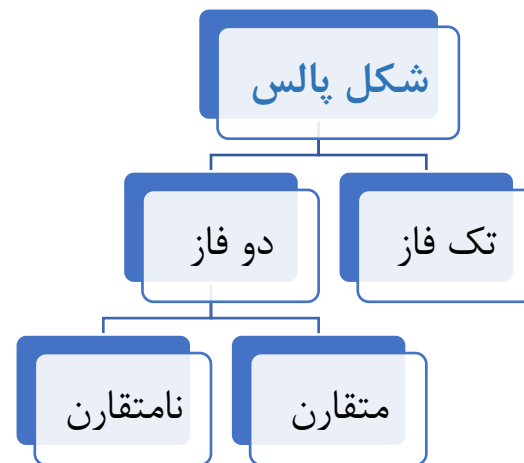
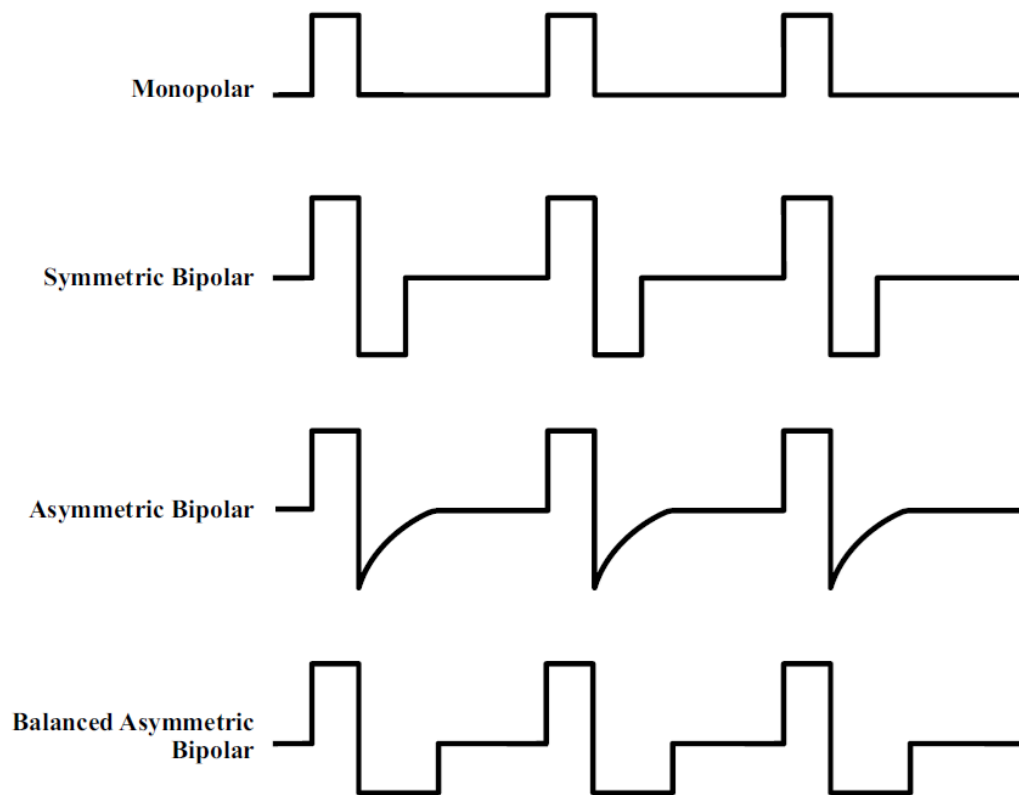


Fig. 2 Examples of commonly used pulse shapes used for functional electrical stimulation (Modified from

تعیین مقادیر ضروری پارامترهای مختلف تحریک

جای گذاری الکترودها

ابتدا الکترودها بر روی عصب عصب‌دهنده عضله تحت تحریک قرار می‌گیرند و تحریک اعمال می‌شود. اگر حرکت حاصل، حرکت مورد نظر باشد، فرآیند پایان می‌یابد.



در غیر این صورت، الکترودها جابه‌جا می‌شوند (معمولاً با استفاده از تنظیمات کوچک به اندازه بیش از چند سانتیمتر) و فرآیند تکرار می‌شود تا حرکت مورد نظر به دست آید.

تعیین مقادیر ضروری پارامترهای مختلف تحریک

شدت تحریک

مقادیر مهم بالینی در طول افزایش تحریک:

۱. آستانه حسی: کمترین شدتی که در آن تحریک توسط شخص دریافت کننده قابل درک است.
۲. آستانه حرکتی: حداقل شدتی که منجر به یک انقباض عضلانی قابل مشاهده می شود.
۳. حداکثر شدت قابل تحمل: حداکثر سطحی که فرد می تواند بدون احساس ناراحتی تحمل کند.
۴. شدت تحریک عملیاتی: شدتی که در طول استفاده واقعی از FES برای اعمال تحریک استفاده می شود.



ملاحظات بالینی جهت استفاده از تحریک الکتریکی

کاربردهای بالینی FES

تحریک الکتریکی عملکردی به عنوان یک دستگاه کمک یار

نوروپروتز برای ایستادن

نوروپروتز برای راه رفتن

نوروپروتز برای راه رفتن با افتادگی پا

نوروپروتز برای راه رفتن با اختلال بیشتر اندام تحتانی

نوروپروتز برای عملکرد اندام فوقانی

نوروپروتز برای گرفتن اشیاء

کاربردهای بالینی FES

استفاده از FES به عنوان یک درمان

همراه با توسعه فناوری جدید FES امکان ایجاد نوروپروتزهای جدید با قابلیت حیات بالینی افزایش یافته را فراهم کرد، تحقیقات در دهه ۹۰ شروع به بررسی سیستماتیک اثر انتقال کرد و در نهایت به استفاده از FES به عنوان یک مداخله درمانی منجر شد.

اکنون FES می‌تواند به عنوان بخشی از یک مداخله کوتاه‌مدت با هدف بازگرداندن توانایی حرکت مستقل فرد، بدون کمک از نوروپروتز استفاده شود. این به عنوان درمان با تحریک الکتریکی عملکردی (**FEST**) شناخته می‌شود.

امروزه، FEST یکی از مهم‌ترین ابزارهای در دسترس درمانگران متخصص جهت بازگرداندن، حفظ یا بهبود عملکرد سیستم عصبی افراد مبتلا به سکته مغزی یا آسیب نخاعی است.

FEST چیست؟

در یک آزمایش FEST، از اغلب بیماران خواسته می‌شود که حرکات عملکردی را با اندام(های) آسیب‌دیده خود تلاش کنند و پس از چند ثانیه تلاش، یک درمانگر تحریک را که به طور خاص برای تولید حرکت تلاش‌شده طراحی شده است، راه‌اندازی می‌کند.

این روش در هر جلسه چندین بار تکرار می‌شود و در هر جلسه اغلب چندین حرکت تمرین می‌شوند. اگرچه مداخلات می‌توانند از نظر مدت متفاوت باشند، یکی از رایج‌ترین تعداد جلسات برای تحقیقات FEST، ۴۰ جلسه است. با بازگشت توانایی انجام حرکات ارادی، استفاده از FES به تدریج کاهش می‌یابد تا در پایان مداخله به طور کامل متوقف شود.

سه جزء اساسی FEST

- افرادی که تحت درمان قرار می گیرند باید جهت حرکت اندام آسیب دیده تلاش کنند.
 - تحریک الکتریکی کار تمرین شده را تسهیل می کند و پاسخ حرکتی و بازخورد حسی صحیح و متناسب را تولید می کند. تحریک در این زمینه فقط برای حرکاتی استفاده می شود که کاربر قادر به تولید ارادی آنها نیست.
 - یک درمانگر اندام در حال حرکت را هدایت می کند تا صحت و کیفیت حرکت را تضمین کند. درمانگر همچنین با توجه به پیشرفت کاربر در طول مداخله FEST، جای گذاری الکترودها و پارامترهای تحریک را به طور مناسب تعدیل می کند.
- مداخلات برای بازگرداندن حرکت ارادی پس از سکته مغزی و آسیب نخاعی FEST با موفقیت برای بازگرداندن حرکت ارادی اندام فوقانی و تحتانی در افرادی که سکته مغزی یا آسیب نخاعی داشته اند استفاده شده است.

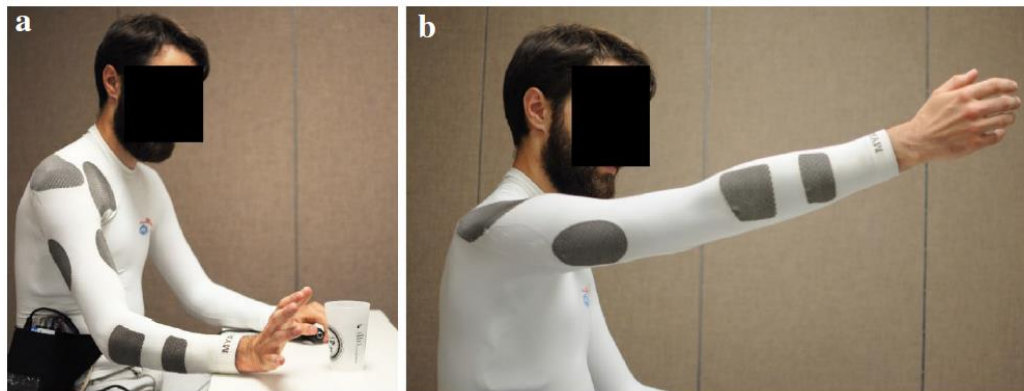
کاربردها:

بازگرداندن عملکرد اندام تحتانی و فوقانی پس از سکته مغزی
بازگرداندن عملکرد اندام تحتانی و فوقانی پس از آسیب نخاعی

آینده FES

- ادغام FES با رابط‌های مغز-رایانه (BCI) دستگاه‌هایی که می‌توانند سیگنال‌های مغز را به دستورات کنترل ترجمه کنند.

- ترکیب پارچه با بخش‌های دارای نخ رسانا نوآوری‌ها در فناوری منسوجات امکان ایجاد پوشاکی را فراهم کرده است که پارچه را با بخش‌های دارای نخ رسانا ترکیب می‌کند.



نتیجه گیری

FES برای دهه ها کمک ملموسی به افراد مبتلا به اختلالات حرکتی ارائه داده است. این فناوری مشارکت در زندگی روزمره را امکان پذیر کرده است که در غیر این صورت دشوار یا غیرممکن خواهد بود. امروزه، FEST یک ابزار مهم در دسترس درمانگران فعال در زمینه نورورهابیلیتاسیون است. تکامل فناوری، استفاده از آن را در محیط های بالینی تسهیل کرده است و برخی از بزرگ ترین بهبودها در عملکرد حرکتی افراد مبتلا به سکته مغزی و آسیب نخاعی را ایجاد کرده است.

FEST احتمالاً در دهه آینده با افزایش مورد انتظار جمعیت سالخورده افزایش خواهد یافت؛ سن یک عامل خطر سکته مغزی است. این امکان وجود دارد که با این تغییر در جمعیت شناسی، تأکید مراقبت از سکته مغزی تغییر کند تا همچنان شامل پیشگیری و درمان، با تمرکز جدیدی نیز بر بازتوانی باشد.

فناوری های جدید نقش اساسی در پذیرش گسترده تر FES خواهند داشت. گنجاندن فرم فاکتورهای تحریک جدید، مانند سیستم های پوشیدنی که در اینجا توصیف شد، همراه با بهینه سازی خودکار پارامترهای تحریک کننده، احتمالاً نقش محوری در استفاده افزایش یافته از FEST خواهند داشت. علاوه بر این، ترکیب FEST همراه با گنجاندن بیشتر درک جدید از اساس نوروپلاستیک یادگیری حرکتی، فرصتی برای مشاهده افزایش بیشتر اثربخشی این مداخله فراهم می کند.

- Cesar Marquez-Chinand Milos R. Popovic, Functional electrical stimulation therapy for restoration of motor function after spinal cord injury and stroke, *2020*
- CHERYL L. LYNCH and MILOS R. POPOVIC, Functional Electrical Stimulation, 2008



با تشکر از حسن توجه شما ...