



The effects of vertebral column tripolar electrical stimulation with various intensities on soleus and gastrocnemius H-reflex and Mh wave recruitment curve

Alireza Sarmadi ^{1*}, SMP Firoozabadi ², Giti Torkaman ¹, Yaghub Fathollahi ³

1. Dept. Physiotherapy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. Dept. Medical Physics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3. Dept. Physiology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 18 Sep 2008

Revised: 26 Jan 2009

Accepted: 19 Feb 2009

Abstract

Introduction: Computer modeling of tripolar electrical stimulation has shown that this kind of electrode placement can stimulate deeper in tissues. Application of this kind of stimulation method on vertebral column in order to stimulate deep tissues in this region can be clinically beneficial.

Methods: To assess the effect of penetration depth of the surface Tripolar electrical stimulation, Tripolar TENS was applied with different intensities (with 1.25 and 1.5 sensory thresholds (ST)) on the vertebral column of 20 healthy subjects. The cathode of TENS was laid on the T11 vertebra and the anodes were put 3 cm apart from the cathode longitudinally, in anode-cathode-anode arrangement. The recruitment curve of soleus and gastrocnemius H-reflex and M wave were recorded before, immediately after and 10 min after TENS. Experiments were performed in 4 separate sessions. One of the experiments was control session, during which the TENS apparatus was off during the session. In each of the test sessions, TENS was applied with one of the mentioned intensities.

Results: The results showed that 1.5 ST TENS had a complex facilitatory-inhibitory effect on the recruitment curve of soleus H-reflex. With this intensity, slow motoneurons were inhibited and fast motoneurons were facilitated. Also, the positive slope of the curve was increased and the intensity needed to evoke Hmax was decreased. Furthermore, the amplitude of Hmax and the threshold of the curve were slightly decreased. Gastrocnemius was facilitated after 1.5 ST TENS and the threshold of the H-reflex curve and needed intensity to evoke Hmax were decreased, while peak to peak amplitude of Hmax was increased. After 1.25 ST TENS, soleus was facilitated and gastrocnemius had inhibitory trend.

Conclusion: Tripolar TENS with 1.5 ST intensity stimulates the tissue more deeply and therefore causes different outcomes from tripolar TENS with lower STs.

Keywords: Soleus, Gastrocnemius, Tripolar TENS, H-reflex, Motoneuron.

* Corresponding author e- mail: sarmadi@modares.ac.ir

Available online @: www.phypha.ir/ppj

بررسی اثر شدت تحریک الکتریکی سطحی سه قطبی ستون فقرات بر پارامترهای منحنی فراخوانی رفلکس H و موج MH عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس

علیرضا سرمدی^{۱*}، سید محمد فیروزآبادی^۲، گیتی ترکمان^۱، یعقوب فتح الهی^۳

۱. گروه فیزیوتراپی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. گروه فیزیکی پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. گروه فیزیولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

دریافت: ۲۷ شهریور ۸۷ بازبینی: ۶ بهمن ۸۷ پذیرش: ۳۰ بهمن ۸۷

چکیده

مقدمه: مدلسازی‌های کامپیوتری تحریک الکتریکی سه قطبی نشان داده این نوع الکترود گذاری میتواند باعث افزایش عمق نفوذ تحریکات به داخل بافت‌ها شود. چنانچه بتوان با این نوع تحریکات بر روی ستون فقرات به تحریک بافت‌های عمقی دست یافت میتوان از فواید درمانی تحریکات الکتریکی به صورت موفق‌تری استفاده کرد.
روش‌ها: برای بررسی اثر عمق نفوذ تحریکات سطحی سه قطبی ۲۰ فرد سالم بدون مشکل عصبی-عضلانی تحت تأثیر TENS سه قطبی با شدت‌های آستانه حسی، ۱/۲۵ برابر آستانه و ۱/۵ برابر آستانه حسی قرار گرفتند. الکترودهای تحریکی TENS بر روی ستون فقرات به صورت طولی (آند-کاتد-آند) طوری قرار گرفتند که اند هم سطح مهره یازدهم سینه‌ای گرفت. قبل، بعد و ده دقیقه پس از اعمال TENS سه قطبی، منحنی فراخوانی رفلکس H و موج M عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس ثبت شد. آزمایش‌ها در چهار جلسه جداگانه انجام شد که در جلسه کنترل، الکترودها به فرد متصل شد ولی دستگاه TENS خاموش بود.

یافته‌ها: اعمال TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی، اثری تسهیلی-مهاری بر منحنی فراخوانی رفلکس H بجای می‌گذارد به شکلی که موتورنرون‌های نوع اول مهار موتورنرون‌های نوع دوم تسهیل شدند یعنی شیب صعودی افزایش و شدت لازم برای برانگیختن Hmax کاهش یافت. دامنه Hmax و آستانه منحنی فراخوانی نیز کمی کاهش یافتند. در عضله گاستروکنمیوس تسهیل صورت گرفت طوری که آستانه منحنی و شدت لازم برای برانگیختن Hmax کاهش و دامنه Hmax عضله گاستروکنمیوس افزایش یافت. پس از اعمال TENS با شدت آستانه حسی، منحنی فراخوانی عضله سولئوس روندی تسهیلی و منحنی عضله گاستروکنمیوس روندی مهار داشت.

نتیجه‌گیری: تحریک سه قطبی ستون فقرات با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی احتمالاً بافت‌های در عمق بیشتر را تحریک کرده و به این طریق اثر متفاوتی نسبت به تحریک با شدت‌های پایین‌تر دارد.

واژه‌های کلیدی: TENS سه قطبی، رفلکس H، موتورنرون، سولئوس، گاستروکنمیوس.

مقدمه

بیماری‌های عصبی-عضلانی و پس از بروز ضایعات مغزی و نخاعی رخ می‌دهد. این تغییرات توان فعالیت طبیعی فرد را محدود می‌کنند و مانع انجام شدن طبیعی حرکات می‌شوند. در بسیاری از این موارد تنظیم نسبی تون عضلانی و کاهش عارضه به وجود آمده می‌تواند توان حرکتی و روانی بیمار را تا حدود زیادی بهبود بخشد و زمینه توانمندی بیشتر او را فراهم سازد. لذا

تغییر تون عضلانی مشکلی است که در بسیاری از

sarmadi@modares.ac.ir

۱ نویسنده مسئول مکاتبات:

www.phypha.ir/ppj

وبگاه مجله:

روش‌های متعددی برای برگرداندن وضعیت طبیعی به عضلات مورد استفاده قرار گرفته و حتی آثار موقت این روش‌ها نیز مورد توجه بوده است.

یکی از روش‌هایی که از دیرباز برای کاهش تون عضلات بکار می‌رفته استفاده از تحریکات الکتریکی بوده است [۳۱، ۲۵، ۲۹، ۴۰]. با پیشرفت تکنولوژی ساخت دستگاه‌های تحریک الکتریکی و افزایش دانش ما از فیزیولوژی بدن، استفاده از این تحریکات گسترش و کارایی بیشتری پیدا کرده است.

تغییر در پارامترهای تحریک الکتریکی و روش اعمال آن باعث می‌شود این تحریکات برای منظوره‌های مختلف بهینه شوند. تغییر در محل تحریک نیز از جمله مواردی است که می‌تواند کارایی این تحریکات را تغییر دهد. یکی از این موارد اعمال تحریک الکتریکی بر روی ستون فقرات است. از آنجا که با استفاده از تحریک الکتریکی نخاع می‌توان با تحریک محدوده کوچکی، فعالیت تعداد زیادی از عضلات را تحت تأثیر قرار داد و در تحریک نخاع نیازی به الکتروگذاری‌های متعدد بر روی اندام وجود ندارد لذا این نوع تحریک برای مقاصد درمانی مورد توجه قرار گرفته است [۳۳، ۳۶، ۱۷، ۳۷، ۳۸]. در این راستا محققین اثر اعمال تحریکات دو قطبی بر روی ستون فقرات را آزموده و تأثیر آن بر فعالیت موتور نورون‌ها را از طریق بررسی تغییر شدت اسپاستی سیتی، کلونوس، فلکشن رفلکس و تغییر پارامترهای رفلکس H ارزیابی نموده‌اند [۳۳، ۲۵، ۱۳، ۳۷، ۳۸، ۲]. حاصل این مطالعات نشان‌دهنده اثر مهارتی تحریک دو قطبی ستون فقرات بر عملکرد موتور نورون‌هاست. با توجه به اینکه نخاع در عمق بافت‌های خلقی ستون فقرات جای گرفته است لذا رسیدن تحریکات الکتریکی به نخاع محتاج عمق نفوذ زیاد تحریکات می‌باشد. برای افزایش عمق نفوذ می‌توان شدت تحریک را افزایش داد اما تحمل بیماران و گسترده شدن محل تحریک شده، استفاده از این روش را محدود می‌کند. لذا برای دستیابی به عمق تحریک بیشتر، محققین از تحریکات سه قطبی سود جستند [۲۲، ۸، ۱۳]. پیش از این، مدلسازی‌های کامپیوتری نشان داده بودند که با استفاده از این روش، تحریک می‌تواند به عمق بیشتری نفوذ کند و بصورت انتخابی‌تر صورت گیرد [۳۵، ۳۹، ۳۴، ۱۸، ۴۰].

در سال‌های اخیر روش درمانی تحریک ستون فقرات با توانایی‌های تحریک سه قطبی کنار هم قرار گرفته و حاصل آن

تحریک سه قطبی ستون فقرات شده است. حامدی و همکاران در سال ۱۳۷۷ اثر تحریک سه قطبی سطحی را بر پارامترهای رفلکس H آزمودند. آن‌ها از تحریک الکتریکی TENS سه قطبی (یک کاتد و دو آند) بر روی ستون فقرات استفاده کردند و تغییرات بوجود آمده در فعالیت‌های سیناپسی طناب نخاعی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که در اثر این تحریکات، دامنه رفلکس H عضله سولئوس کاهش معنی‌داری داشته است [۸]. ابراهیمی در سال ۱۳۷۸ اثر تحریک الکتریکی سه قطبی ستون فقرات و تحریک الکتریکی دو قطبی عصب پروئثال مشترک را بکار برد و نتیجه گرفت که تحریک الکتریکی سه قطبی سطحی ستون فقرات موجب فعالتر شدن واحدهای حرکتی تند انقباض می‌شود [۷]. در سال ۱۳۷۸ سعیدی تأثیر TENS سه قطبی بر منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس را بررسی کرد. وی نتیجه گرفت که تحریک الکتریکی سه قطبی ستون فقرات کم‌ری باعث می‌شود که منحنی فراخوانی رفلکس H به سمت چپ جابجا شود [۳۰]. اثر تحریک الکتریکی دو قطبی و سه قطبی ستون فقرات بر فعالیت‌های سیناپسی نخاع در سال ۱۳۸۰ توسط گلجاریان و همکاران بررسی و مقایسه شد. برای بررسی اثرات تحریک الکتریکی، ویژگی منحنی فراخوانی رفلکس H و موج Mh عضله سولئوس ارزیابی شد. وی نتیجه گرفت الگوی منحنی فراخوانی رفلکس H پس از اعمال TENS دو قطبی مهارتی و پس از اعمال TENS سه قطبی مهارتی- تسهیلی است [۱۳].

با اعمال TENS سه قطبی احتمال تحریک ستون خلفی نخاع بیشتر است و نتایج مطالعات نیز نشان داد که تحریک سه قطبی تأثیر متفاوتی نسبت به نوع دو قطبی بر روی پارامترهای رفلکس H بجای می‌گذارد، طوری که حتی الگوی تغییرات پارامترهای رفلکس H در دو نوع تحریک با یکدیگر متفاوت است [۱۳ و ۳۰]. از آنجا که در تحقیقات قبلی پارامترهایی مانند فرکانس، شدت و دیوریشن موج تحریکی در هر دو نوع تحریک دو قطبی و سه قطبی یکسان بوده [۱۳] لذا تفاوت اثرگذاری آنها را باید در مواردی چون عمق نفوذ جستجو کرد.

عمق نفوذ که در ابتدا باعث گزینش الکتروگذاری سه قطبی شد [۲۲، ۳۹، ۳۰، ۱۵، ۱۳]. اکنون سؤال اصلی در مورد علت تفاوت اثرگذاری این نوع تحریک است. اما از آنجا که عمق نفوذ را نمی‌توان به طور مستقیم در مدل‌های انسانی مورد

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها از بین مردان سالم غیر ورزشکار در سنین ۲۰ تا ۴۰ سال انتخاب شدند. این افراد در اولین جلسه پرسشنامه ویژه‌ای را پر کرده و در همان جلسه مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این افراد منحنی فراخوانی رفلکس H بدون اعمال تحریک الکتریکی TENS ثبت می‌شد و پایداری دامنه رفلکس H در هر آزمودنی مورد بررسی قرار می‌گرفت. در صورتی که رفلکس H آزمودنی کمتر از ۱۰٪ تغییر داشت [۱۴، ۲۲] در همان جلسه به عنوان جلسه کنترل مورد ارزیابی قرار می‌گرفت. در مجموع ۲۰ نفر از افرادی که شرایط فوق را دارا بودند در آزمایش‌ها شرکت داده شدند.

افراد انتخاب شده طی ۴ جلسه مراحل آزمایش را طی می‌کردند. جلسه اول این آزمایش‌ها، جلسه کنترل بوده و تحریک TENS به فرد اعمال نمی‌شد. پس از گذراندن مرحله کنترل، افراد مورد آزمایش طی ۳ جلسه دیگر و با فاصله حداقل ۳ روز مراجعه می‌کردند تا مراحل دیگر آزمایش را طی کنند. در هر مرحله، منحنی فراخوانی رفلکس H قبل از تحریک TENS ثبت می‌شد سپس ۱۵ دقیقه تحریک الکتریکی TENS سه قطبی بر روی ستون فقرات اعمال شده و بلافاصله پس از پایان تحریک و ده دقیقه پس از پایان تحریک منحنی فراخوانی رفلکس H ثبت می‌شد.

هنگام آزمایش، افراد شرکت کننده در آزمایش به حالت دمر روی تخت می‌خوابیدند به طوری که مچ پا بیرون از لبه تخت قرار گیرد. زانوی افراد را در حالت اکستنشن کامل قرار می‌دادیم زیرا خم کردن زانو موجب می‌شود طول عضله گاستروکنمیوس تغییر کند و این تغییر طول در همه افراد یکسان نبود. لذا برای یکسان نگه داشتن شرایط آزمایش، زانوی افراد در حالت اکستنشن نگه داشته شد. دست‌های آزمودنی نیز روی یکدیگر و زیر پیشانی او قرار می‌گرفت (شکل ۱).

هر داوطلب در جلسه اول به عنوان گروه کنترل مورد آزمایش قرار می‌گرفت تا از پایداری رفلکس H و مناسب بودن وضعیت آزمودنی اطمینان حاصل شود. در این مرحله کلیه کارها از جمله الکتروگذاری برای تحریک TENS و ثبت رفلکس H انجام می‌شد و منحنی فراخوانی رفلکس H نیز قبل از تحریک TENS ثبت می‌شد اما شدت تحریک TENS صفر بود

آزمایش قرارداد و با مدل‌های حیوانی نیز نمی‌توان آنچه را به هنگام درمان بیماران اتفاق می‌افتد شبیه سازی کرد. پس باید به طور غیرمستقیم به پاسخ این سؤال نزدیک شد. برای پی بردن به این امر که آیا بیشتر بودن عمق نفوذ تحریکات سه قطبی باعث تفاوت اثرگذاری آن بر تحریک پذیری نرون محرکه است دو کار باید انجام شود. اول باید با روشی مطمئن، اثر افزایش عمق تحریکات را بررسی نمود. برای این کار باید تحریکاتی با شدت‌های مختلف بر ستون فقرات اعمال کرد و نحوه تغییر تحریک پذیری موتور نرون‌ها را در هر حالت مورد بررسی قرارداد. با بدست آمدن الگوی تغییرات تحریک پذیری موتور نرون‌ها در اثر تغییر عمق نفوذ، می‌توان در مورد عمق نفوذ هر نوع تحریک دیگری نیز قضاوت کرد.

در تحقیقات قبلی [۳۸، ۱۳، ۳۰] نوعی تفاوت در اثر تحریکات سه قطبی بر تحریک پذیری موتور نرون‌های نوع اول^۱ و دوم^۲ مشاهده شده است. برای بررسی دقیقتر این مساله بهتر است منحنی فراخوانی رفلکس H و موج Mh از دو عضله که یکی دارای فیبرهای کند انقباض نسبتاً بیشتر (سولتوس) و یکی دارای فیبرهای تند انقباض بیشتری است (گاستروکنمیوس) ثبت گردد تا وجود هرگونه تفاوت در اثر پذیری موتور نرون‌های مذکور از تحریکات سطحی سه قطبی به شکل بارزتری نشان داده شود. منحنی فراخوانی رفلکس H رابطه شدت تحریک و دامنه رفلکس H از زمانی که رفلکس H شروع به ظاهر شدن میکند تا زمانی که از بین میرود را نشان می‌دهد و تغییرات تحریک پذیری رفلکس را به خوبی نمایش می‌دهد. زمان شروع و خاتمه این منحنی همچنین محل قله و شیب‌های صعود و نزول آن مبین تغییرات تحریک‌پذیری موتور نرون‌های درگیر است. مقایسه پارامترهای رفلکس H عضلات کند و تند انقباض قضاوت در مورد نحوه عملکرد موتور نرون‌های نوع اول و دوم توسط محققین دیگر نیز بکار گرفته شده است [۲۴، ۱۳، ۱۴، ۵]. با توجه به مطالب ذکر شده این مطالعه با اعمال شدت‌های مختلف تحریکی TENS سه قطبی و بررسی دو عضله سولتوس و گاستروکنمیوس سعی دارد تاثیر عمق نفوذ تحریکات سه قطبی و نحوه اثرگذاری آن بر موتور نرون‌های دو عضله مذکور را بیازماید.

1. Slow
2. Fast

گرفته شد. علاوه بر این پس از دو دقیقه تحریک، ۳۰ ثانیه جریان قطع می‌شد تا آثار ناشی از تطابق فرد با تحریک کاسته شود. این مقادیر بر اساس مطالعات اولیه و بصورت تجربی به دست آمده‌اند.

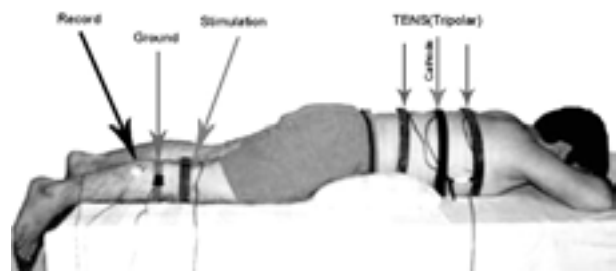
در این نوع تحریک از سه الکتروود (یک کاتد و دو آنود) استفاده می‌شود. الکتروود کاتد بر روی مهره یازدهم سینه‌ای (T11)، هم‌عرض سگمان نخاعی اول خاجی (S1) قرار می‌گرفت و دو آنود در ۳ سانتی متر بالا و پایین کاتد و در امتداد ستون فقرات قرار می‌گرفت. این الکتروودها با نوارهای ولکرو ثابت می‌شدند. الکتروودهای تحریک از نوع لاستیکی و به ابعاد ۶ × ۴ سانتی متر بودند (شکل ۱).

برای اعمال TENS، الکتروودهای تحریک TENS را در محل خود ثابت کرده و به دستگاه ایزولاتور وصل می‌کردیم. با دستور شروع تحریک که توسط کامپیوتر اجرا می‌شد جریان TENS به فرد اعمال می‌شد. با شروع تحریک، شدت را آهسته بالا می‌بردیم تا فرد تحریک را حس کند و بسته به اینکه کدامیک از شدت‌های تحریکی (آستانه حسی، ۱/۲۵ برابر آستانه، ۱/۵ برابر آستانه) موردنظر بود شدت تحریک را تنظیم می‌کردیم. برای جلوگیری از تطابق، هر ۵ دقیقه شدت تحریک را افزایش می‌دادیم تا حس تحریکی اولیه ایجاد شود. البته حداکثر میزان افزایش جریان ۲۰٪ مقدار اولیه بود به علاوه جریان پس از هر ۲ دقیقه، ۳۰ ثانیه قطع می‌شد تا از شدت تطابق کاسته شود. این مقادیر از مطالعات اولیه و بصورت تجربی به دست آمده‌اند.

پس از پایان ۱۵ دقیقه اعمال TENS، الکتروودهای TENS از دستگاه جدا شده و الکتروودهای تحریکی رفلکس H به دستگاه ایزولاتور متصل می‌شدند. سپس مراحل ثبت منحنی فراخوانی رفلکس H عضلات سولئوس و گاستروکنیموس در ۱۱ شدت تحریکی مختلف (همانند مرحله قبل از TENS) اجرا می‌شد.

پس از اعمال TENS، آزمودنی ۱۰ دقیقه به همان حالت روی تخت دراز می‌کشید و پس از گذشت ۱۰ دقیقه مجدداً منحنی فراخوانی رفلکس H همانند مراحل قبل ثبت می‌گردید. اطلاعات حاصل از این مرحله پایایی یا عدم پایایی تأثیرات تحریک TENS را نشان می‌دهند.

رفلکس H از دو عضله سولئوس و گاستروکنیموس به طور



شکل ۱- نحوه قرار گیری بیمار، الکتروودهای تحریک TENS؛ تحریک و ثبت رفلکس H.

(سیم‌های الکتروودهای TENS از دستگاه تحریک کننده قطع بود). در جلسات آزمایش پس از آماده سازی فرد، منحنی فراخوانی رفلکس H را ثبت می‌کردیم سپس ۱۵ دقیقه TENS بر روی ستون فقرات اعمال می‌شد شدت TENS اعمال شده در هر یک از جلسات آزمایش یکی از مقادیر: آستانه حسی فرد؛ ۱/۲۵ برابر آستانه حسی؛ ۱/۵ برابر آستانه حسی بود. انتخاب شدت تحریک TENS در هر جلسه به صورت اتفاقی صورت می‌گرفت.

در این مطالعه برای دستیابی به عمق تحریک بیشتر روش تحریک سه قطبی را براساس مطالعات قبلی برگزیدیم [۱۷،۲۲،۳۴]. علاوه بر خلاف مطالعات قبلی که فاصله الکتروودهای تحریکی از یکدیگر زیاد بود [۱۳،۱۵،۳۰] در این مطالعه فاصله الکتروودها کاهش یافت تا از پراکندگی تحریک به سایر قسمت‌های ستون فقرات جلوگیری شده و عمق نفوذ تحریک نیز بیشتر شود [۱۸].

با توجه به مطالب موجود در کتب و مقالات قبلی و همچنین برای حفظ مشابهت با مطالعات قبلی و امکان مقایسه دقیق‌تر بین نتایج این مطالعه و مطالعات قبلی [۳۸،۱۳،۳۰،۲۸،۱۱،۲۴] مشخصات تحریک TENS به قرار زیر انتخاب شد.

پهنای پالس ۳۰۰ میکرو ثانیه بود که به دلیل قابل تحمل تر بودن آن انتخاب شد [۳،۴،۳۰]؛ موج مربعی تک فاز؛ فرکانس پالس ۱۰۰ هرتز؛ زمان وصل جریان ۱۲۰ ثانیه؛ زمان قطع جریان ۳۰ ثانیه؛ کل زمان تحریک ۱۵ دقیقه.

لازم به ذکر است که برای جلوگیری از عادت فرد به تحریک، هر ۵ دقیقه به شدت تحریک TENS افزوده می‌شد. البته حداکثر مقدار افزایش تحریک، ۲۰٪ مقدار اولیه در نظر

جدول ۱

خطای معیار	میانگین	سن (سال)
۰/۸۳	۲۵/۹	قد (سانتیمتر)
۱/۸۵	۱۷۴	وزن (کیلوگرم)
۱/۸	۶۵/۸	آستانه حسی TENS (میلی آمپر)
۰/۵۵	۹/۲۳	زمان تأخیر H (میلی ثانیه)
۰/۳	۲۷/۹	زمان تأخیر M (میلی ثانیه)
۰/۲	۵/۷۵	

تفاضلی با ضریب بهره ۱۰۰ تا ۴۰۰۰ منتقل می‌شد سپس از طریق یک رابط آنالوگ به دیجیتال ۱۲ بیتی با فرکانس نمونه برداری ۵ KHZ به یک کامپیوتر DX2 486 با سرعت MHz ۶۶ منتقل می‌شد. سیگنال‌های رفلکس H و موج M هر دو عضله بطور همزمان بر روی صفحه نمایشگر قابل مشاهده بود.

تحریک الکتریکی برای برانگیختن رفلکس H توسط یک واسط تحریک کننده متصل به ایزولاتور و رایانه به پای شخص اعمال می‌شد.

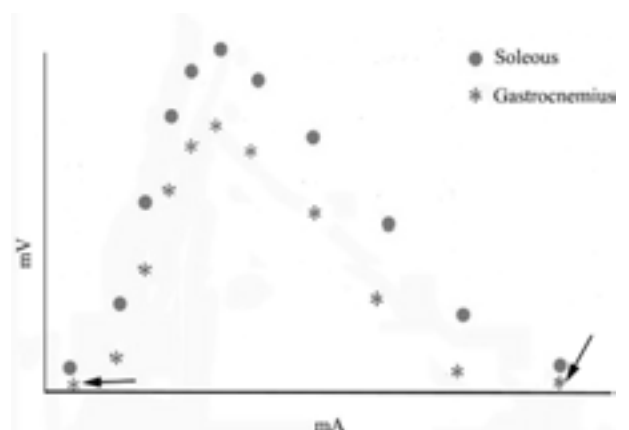
ثبات رفلکس H در ۱۱ شدت مختلف صورت می‌گرفت و با استفاده از این یازده نقطه منحنی فراخوانی هر یک از عضلات سولئوس و گاستروکنیموس رسم می‌شد. ترتیب کار به این صورت بود که ابتدا Hmax هر دو عضله ثبت می‌شد، ابتدا سولئوس و سپس گاستر. به همین ترتیب H انتهایی و در ادامه H ابتدایی هر یک از عضلات ثبت می‌گردید. از آنجایی که منحنی فراخوانی رفلکس H عضله گاستروکنیموس همواره در داخل منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس قرار می‌گیرد (یعنی شدت لازم برای ثبت H ابتدایی گاستر بیشتر از سولئوس است و شدت لازم برای ثبت H انتهایی آن کمتر از سولئوس است) لذا دو شدت تحریکی بین شدت‌های لازم برای برانگیختن H ابتدایی و Hmax عضله گاستر انتخاب شده و رفلکس H هر دو عضله در این شدت‌ها ثبت می‌شد. با همین روش دو شدت بین شدت‌های لازم جهت برانگیختن Hmax و H انتهایی در نظر گرفته شد و رفلکس H هر دو عضله در این شدت‌ها ثبت گردید. یک بار نیز H رفلکس هر دو عضله با شدتی لازم برای برانگیختن Hmax سولئوس و گاستر ثبت شد. در مجموع منحنی فراخوانی عضله سولئوس با استفاده از ۱۱ نقطه و منحنی فراخوانی عضله گاستر با استفاده از ۹ نقطه ثبت شد. در هر شدت ۵ بار رفلکس H ثبت می‌شد و میانگین این پنج ثبت برای مقایسه مورد استفاده قرار می‌گرفت (شکل ۲).

همزمان ثبت می‌شد. محل تحریک برای برانگیختن رفلکس H هر دو عضله یکسان بود (حفره پوپلیتئوس). الکترودهای ثبات بر روی هر یک از عضلات در محل مناسب قرار می‌گرفتند و با هر تحریک، رفلکس H هر دو عضله، همزمان ثبت می‌شد.

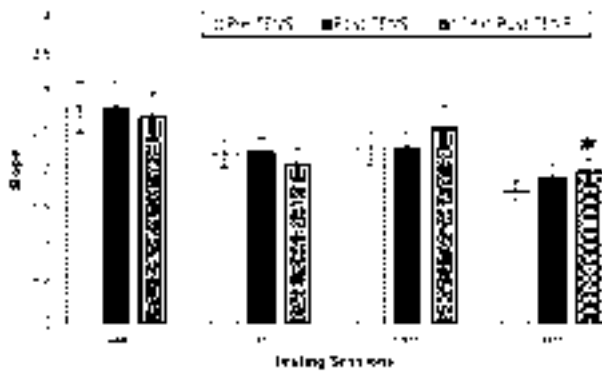
الکتروتود تحریک در پشت ناحیه زانو بین تاندون عضلات دو سر رانی و نیمه غشایی، کمی متمایل به خارج قرار می‌گرفت و با تغییرات جزئی بهترین محل تحریک عصب تیپبال مشخص می‌شد. سپس الکتروتود تحریک با نوار ولکرو ثابت می‌شد. موج تحریکی به صورت موج مربعی با عرض پالس ۷۰۰ میکرو ثانیه و فرکانس ۰/۴ هرتز به عصب تیپبال اعمال می‌شد. فرکانس تحریکات ۰/۴ هرتز انتخاب شد تا تأثیر تحریک قبلی بر موتونرون کاملاً از بین برود و اثر تحریکات تداخل پیدا نکند. عرض پالس تحریکات نیز برابر ۷۰۰ میلی ثانیه مطابق مطالعات قبلی انتخاب شد [۱۳، ۱۵].

الکترودهای ثبات بر اساس مطالعات قبلی بر روی عضلات سولئوس و گاستروکنیموس قرار داده شد [۳۲، ۲۷].

سیگنال‌های رفلکس H توسط دو جفت الکتروتود از عضلات سولئوس و گاستروکنیموس برداشت می‌شد و به دو تقویت کننده



شکل ۲- نمای کلی منحنی‌های فراخوانی رفلکس H عضلات سولئوس و گاستروکنیموس. نقاط ابتدا و انتهای منحنی فراخوانی رفلکس H عضله گاستروکنیموس (فلش‌ها) مقداری تقریباً برابر صفر دارند و وارد محاسبات نمی‌شوند.



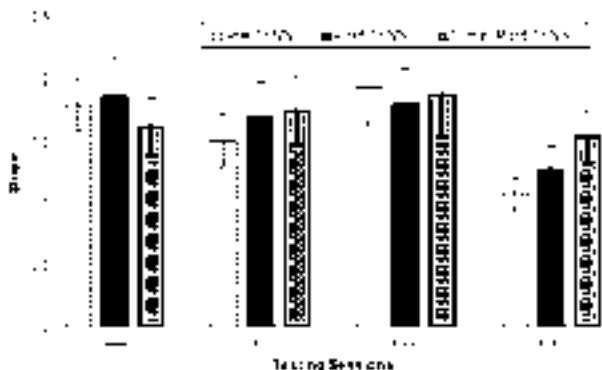
شکل ۵- میانگین شیب خط fit شده به کل بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس در جلسات کنترل، TENS آستانه حسی (ST)، ۱/۲۵ (1.25 ST) و ۱/۵ آستانه حسی (1.5 ST) (* اختلاف معنی‌دار با قبل از اعمال TENS) در ۲۰ فرد سالم.

از گروه‌ها از جمله کنترل و آزمایش پس از تحریک تفاوت معنی‌داری نشان ندادند.

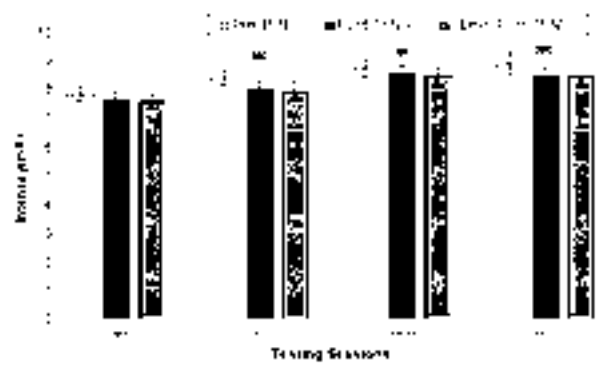
ده دقیقه پس از تحریک نیز مقادیر قله به قله Hmax عضلات سولئوس و گاستر تغییر معنی‌داری نشان ندادند. دامنه قله به قله Mhmax در هیچ یک از جلسات کنترل و آزمایش تفاوت معنی‌داری بلافاصله پس از اعمال تحریک پدید نکرد اما ده دقیقه پس از اعمال تحریک TENS با آستانه حسی، افزایش معنی‌داری پیدا کرد ($P < 0.05$).

پارامترهای دیگری مانند زمان تأخیر، سطح زیر منحنی، RMS (Root Mean Square) و ARV (Average Rectified Voltage) موج M و رفلکس H عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس در گروه‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های مختلف در این پارامترها مشاهده نشد.

شیب کلی بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H



شکل ۶- میانگین شیب خط fit شده به کل بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H عضله گاستروکنمیوس در جلسات کنترل، TENS آستانه حسی (ST)، ۱/۲۵ (1.25 ST) و ۱/۵ آستانه حسی (1.5 ST) (* اختلاف معنی‌دار با قبل از اعمال TENS) در ۲۰ فرد سالم.



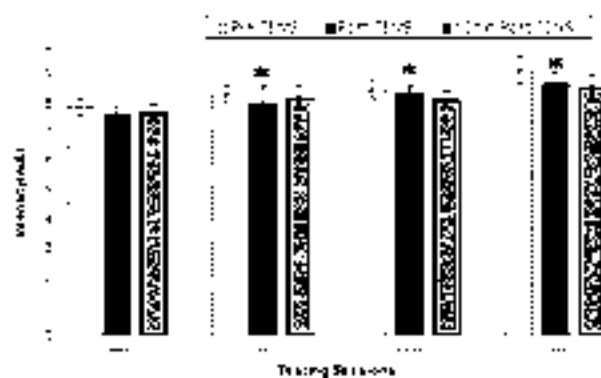
شکل ۳- میانگین شدت لازم برای برانگیختن Hmax عضله سولئوس در جلسات کنترل، TENS آستانه حسی (ST)، ۱/۲۵ آستانه حسی (1.25 ST) و ۱/۵ آستانه حسی (1.5 ST) در ۲۰ فرد سالم (* اختلاف معنی‌دار با قبل از اعمال TENS).

یافته‌ها

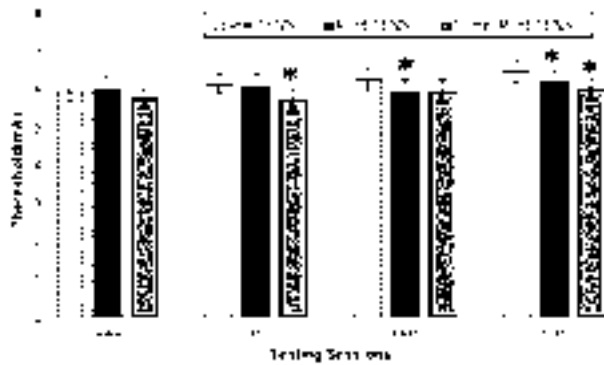
با توجه به اینکه هر فرد در چهار جلسه آزمایش میشد آنالیز آماری آنالیز واریانس از نوع Repeated Measures مورد استفاده قرار گرفت و برخورداری از توزیع نرمال با آزمون کولموگروف اسمیرنوف آزموده شد.

مقادیر برخی خصوصیات نمونه‌ها در جدول ۱ آمده است. شدت لازم برای برانگیختن رفلکس H عضلات سولئوس و گاستر در گروه کنترل قبل و بعد از TENS پلاسیبو تفاوت معنی‌داری نداشت اما در گروه‌های آزمایش شدت لازم برای برانگیختن Hmax کاهش معنی‌دار پیدا کرد ($P < 0.05$). ده دقیقه پس از اعمال TENS نیز گروه کنترل تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. (شکل ۳ و ۴).

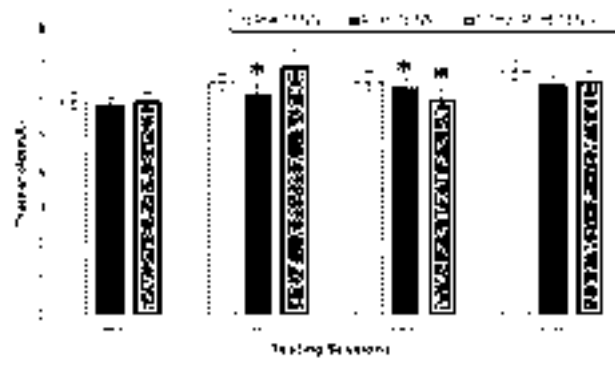
دامنه قله به قله عضلات سولئوس و گاستر Hmax هیچیک



شکل ۴- میانگین شدت لازم برای برانگیختن Hmax عضله گاستروکنمیوس در جلسات کنترل، TENS آستانه حسی (ST)، ۱/۲۵ آستانه حسی (1.25 ST) و ۱/۵ آستانه حسی (1.5 ST) در ۲۰ فرد سالم (* اختلاف معنی‌دار با قبل از اعمال TENS).



شکل ۸- میانگین آستانه بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H عضله گاستروکنمیوس در جلسات کنترل، TENS آستانه حسی (ST)، ۱/۲۵ آستانه حسی (1.25 ST) و ۱/۵ آستانه حسی (1.5 ST) (* اختلاف معنی دار با قبل از اعمال TENS) در ۲۰ فرد سالم.



شکل ۷- میانگین آستانه بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس در جلسات کنترل، TENS آستانه حسی (ST)، ۱/۲۵ آستانه حسی (1.25 ST) و ۱/۵ آستانه حسی (1.5 ST) (* اختلاف معنی دار با قبل از اعمال TENS) در ۲۰ فرد سالم. عضله سولئوس.

بحث

آزمون‌های انجام شده توسط سایر محققین که TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی را روی ستون فقرات اعمال کرده و منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس را بررسی کرده بودند به دفعات نشان داد TENS سه قطبی باعث افزایش شیب بازوی صعودی منحنی فراخوانی می‌شود و این تغییر در اثر اعمال TENS دو قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی رخ نمی‌دهد. لذا این پارامتر، شاخص اصلی تفاوت TENS دو قطبی و سه قطبی بوده و مکانیسم‌هایی نیز برای توجیه این مسئله پیشنهاد شده است. در این مطالعه نیز افزایش معنی‌دار شیب کلی بازوی صعودی عضله سولئوس در اثر TENS ۱/۵ برابر آستانه مشاهده شد لذا به ذکر مکانیسم پیشنهاد شده توسط سایر محققین پرداخته و نحوه تأثیر آن بر عضله گاستروکنمیوس و نحوه تأثیر آن در شدت‌های پایین‌تر را بررسی می‌کنیم. این مکانیسم بر بیشتر بودن عمق نفوذ تحریک سه قطبی نسبت به تحریک دو قطبی بنا شده و بیان می‌کند TENS دو قطبی بر گیرنده‌های پوستی سطحی اثر می‌کند و TENS سه قطبی بر محلی عمقی‌تر (ستون خلفی نخاع) تأثیر می‌گذارد.

مکانیسم اثر تحریک الکتریکی آستانه حسی بر موتور نرون‌ها به این شکل است که تحریک الکتریکی سطحی، باعث تحریک آوران‌های پوستی، خصوصاً گروه II و III می‌شود [۲۸، ۲۰]. تأثیر آوران‌های پوستی بر نورون‌های حرکتی نوع اول غالباً مهارتی و بر نورون‌های حرکتی نوع دوم غالباً تسهیلی است

بررسی شیب کلی بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس نشان داد در جلسه کنترل و در اثر اعمال TENS با شدت آستانه حسی و ۱/۲۵ برابر آستانه، تفاوت معنی‌داری در شیب بوجود نمی‌آید. اما در اثر اعمال TENS با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی، شیب بازوی صعودی به میزان معنی‌داری افزایش می‌یابد ($P < 0.05$) (شکل ۵).

میزان شیب منحنی فراخوانی رفلکس H گاستروکنمیوس بلافاصله پس از اعمال TENS ۱/۵ برابر آستانه افزایش یافت و تا حد زیادی به سطح معنی‌داری نزدیک شد ($P = 0.054$) در گروه‌های دیگر این تفاوت‌ها معنی‌دار نبودند (شکل ۶).

مقایسه آستانه منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس در گروه‌های مختلف نشان داد که در گروه کنترل تفاوت معنی‌داری بین قبل، بعد و ده دقیقه بعد از تحریک پلاسبو وجود ندارد ولی در گروه‌های آستانه حسی و ۱/۲۵ آستانه حسی کاهش معنی‌داری در آستانه بوجود آمد ($P < 0.05$) ده دقیقه پس از اعمال TENS نیز تنها در گروه TENS ۱/۲۵ آستانه حسی، کاهش معنی‌دار در آستانه دیده شد ($P < 0.05$) (شکل ۷).

مقایسه آستانه منحنی فراخوانی رفلکس H عضله گاستروکنمیوس نشان داد که در تمامی گروه‌ها به جز گروه کنترل آستانه منحنی در اثر اعمال TENS کاهش معنی‌دار پیدا کرد ($P < 0.05$). ده دقیقه پس از تحریک نیز در گروه‌های TENS آستانه و TENS ۱/۲۵ آستانه کاهش معنی‌دار آستانه مشاهده شد ($P < 0.05$) (شکل ۸).

متفاوت بر نورون‌های حرکتی اثر می‌گذارند. دسته اول آوران‌های پوستی و دسته دوم آوران‌های Ia و Ib که در نهایت باعث تحریک نورون‌های حرکتی نوع دوم و مهار نورون‌های حرکتی نوع اول می‌شوند. در تحریک ۱/۵ برابر آستانه تسهیل موتورنرون‌های نوع دوم و اثر تسهیلی آنها بر سلول‌های رنشاو از اثر مهاری پوست بر رنشاو می‌کاهد.

این پدیده‌ها به هنگام اعمال جریان TENS اتفاق می‌افتند و پس از قطع TENS اثر مستقیم تحریک بر موتورنرون‌ها از بین می‌رود اما تغییرات سیناپسی بین آوران‌های پوستی و موتورنرون‌ها همچنین تغییرات سیناپسی سلول‌های رنشاو پس از قطع جریان نیز باقی است.

آنچه که قبلاً در مورد مکانیسم اثر TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه ذکر شد در طول مدت اعمال TENS اتفاق می‌افتد اما با اتمام مدت اعمال TENS دیگر اثر مستقیم TENS بر مسیرهای Ia و Ib و همچنین اثر مستقیم آوران‌های پوستی بر موتورنرون‌های کند انقباض و تند انقباض از بین می‌رود و تنها تسهیل و مهار ایجاد شده در سیناپس‌های مسیر آوران‌های پوستی و سیناپس‌های سلول‌های رنشاو پس از قطع جریان TENS در حافظه مدارهای نخاع باقی می‌ماند لذا بعد از قطع جریان TENS و شروع ثبت رفلکس H سیناپس آوران‌های پوستی با موتورنرون‌ها که در مسیر رفلکس قرار ندارند اثر مستقیمی در تغییرات رفلکس H نخواهد داشت اما تأثیر آنها بر سلول‌های رنشاو و همچنین اثر تسهیلی موتورنرون‌های تند انقباض بر سلول‌های رنشاو و تأثیر تسهیلی TENS بر سیناپس Ia و Ib با موتورنرون‌ها باقی است و از آنجا که سیناپس‌های مسیر Ia و سیناپس‌های سلول رنشاو در مسیر رفلکس قرار دارند می‌توانند اثر تسهیلی یا مهاری خود را پس از قطع جریان TENS، هنگام ثبت منحنی فراخوانی رفلکس H نشان دهند.

ثبت منحنی فراخوانی پس از قطع جریان TENS نشان داد شیب کلی بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H افزایش یافته است. سعیدی و گلجاریان نیز در دو مطالعه جداگانه تأثیر TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه بر منحنی فراخوانی رفلکس H را بررسی کرده و افزایش معنی‌داری در شیب صعودی مشاهده کردند [۱۳، ۳۰]. علت آن اثر تسهیلی TENS سه قطبی بر مسیر Ia و Ib موتورنرون‌های تند انقباض و مهار

[۲۸]. پس در اثر تحریک الکتریکی سطحی و آوران‌های پوستی، نورون‌های حرکتی نوع دوم تحریک و نورون‌های حرکتی نوع اول مهار می‌شوند. تحریک بیشتر نورون‌های حرکتی نوع دوم، سبب افزایش فعالیت سلول‌های رنشاو می‌شود [۲۸].

سلول‌های رنشاو، اثر مهاری بر هر دو نوع نورون حرکتی دارند، اما تأثیر شان بر نورون‌های حرکتی نوع اول بیشتر است [۸]. در نتیجه نورون‌های حرکتی نوع اول، تحت تأثیر مهار توسط دو سیناپس آوران‌های پوستی (به واسطه اینترنورون‌ها) و سلول‌های رنشاو قرار می‌گیرند. درحالی که بر نورون‌های حرکتی نوع دوم، از سوی سیناپس آوران‌های پوستی (به واسطه اینترنورون‌ها) تحریک و از سوی سیناپس سلول‌های رنشاو، مهار کمی اعمال می‌شود. از طرفی آوران‌های پوست اثر مهاری بر سلول‌های رنشاو دارند [۴۱]. بنابراین با تحریک پوست، نوعی مهار نیز بر سلول‌های رنشاو اعمال می‌شود. این پدیده به هنگام اعمال جریان TENS اتفاق می‌افتد و پس از قطع TENS اثر مستقیم تحریک بر موتورنرون‌ها از بین می‌رود اما تغییرات سیناپسی بین آوران‌های پوستی و موتورنرون‌ها همچنین تغییرات سیناپسی سلول‌های رنشاو پس از قطع جریان نیز باقی می‌ماند.

اثر تحریک الکتریکی سطحی پوستی در همه شدت‌های TENS وجود دارد اما TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه با عمق نفوذ بیشتر، احتمالاً بر ستون خلفی نخاع نیز تأثیر دارد [۹] در ستون خلفی نخاع، فیبرهای عصبی گروه Ia و Ib وجود دارند. تحت تأثیر TENS سه قطبی، فیبرهای Ia و Ib به دلیل قطر بیشتر، زودتر تحریک می‌شوند [۲۸] Ia سبب تحریک هر دو نوع نورون حرکتی می‌شود اما اثر تحریکی بیشتری بر نورون حرکتی نوع اول دارد [۲۸]. تأثیر Ib بر نورون‌های حرکتی نوع اول غالباً مهاری و بر نورون‌های حرکتی نوع دوم غالباً تسهیلی است [۲۸].

چرخه افزایش تحریک پذیری نورون‌های حرکتی نوع دوم و اثر آن بر سلول‌های رنشاو تکرار می‌شود. در نتیجه نورون‌های حرکتی نوع اول از سوی سیناپس Ia تحریک و از سوی سیناپس Ib (به واسطه اینترنورون‌ها) مهار و از سوی سیناپس سلول‌های رنشاو نیز مهار می‌شوند. نورون‌های حرکتی نوع دوم از سوی سیناپس Ia و Ib تحریک و از سوی سیناپس سلول‌های رنشاو، کمی مهار می‌شوند. بنابراین کلاً دو دسته آوران‌ها از دو راه

تسهیلی در منحنی فراخوانی رفلکس H شود با این وجود دامنه قله به قله Hmax افزایش نمی‌یابد چرا که تأثیر عمده سلول‌های رنشاو بر موتورنرون‌های کند انقباض است و این موتورنرون‌ها اغلب بدون تسهیل هم در ایجاد رفلکس H سهیم می‌شوند. عدم تأثیر عمده رنشاو بر موتورنرون‌های تند انقباض باعث می‌شود که مهارشدن سلول رنشاو تأثیر زیادی در فراخوانی آنها در رفلکس H نداشته باشد لذا مهار سلول‌های رنشاو باعث شرکت بهتر آنها در رفلکس H و افزایش دامنه Hmax نمی‌شود به همین علت الگوی تسهیلی منحنی فراخوانی رفلکس H به صورت کاهش معنی دار آستانه منحنی و شدت لازم بر ثبت Hmax و افزایش شیب صعودی بخش پایینی منحنی همچنین افزایش شدت انتهایی و کاهش شیب نزولی نمایان می‌شود.

آوران‌های پوستی با مهار رنشاو [۴۱] باعث تسهیل موتورنرون‌های نوع اول می‌شوند و چون مهار رنشاو بر موتورنرون‌های اول مهار شدیدی است بنابراین حذف آن، آثار تسهیلی بارزی بر موتورنرون دارد لذا آستانه کاهش یافته و شیب، کمی افزایش می‌یابد کاهش آستانه که نشانگر تسهیل مهمی است در سایر مطالعات مورد غفلت قرار گرفته و به آثار مهاری پوست بر موتورنرون‌ها پرداخته شده است [۳۰، ۱۳].

مطالعات گارنت و همکاران نیز نشان داد که با تحریک پوست، ترتیب فراخوانی موتورنرون‌ها تغییر می‌کند علت آنرا نیز اعمال تأثیر مهاری تحریکات پوستی بر موتورنرون‌های نوع اول و تأثیر تسهیلی بر موتورنرون‌های نوع دوم دانستند چنین اثری از طرف پوست بر موتورنرون‌ها در مطالعه بورک نیز تایید شده است [۱۰]. باید توجه داشت که در مطالعات نامبرده ترتیب فعال شدن موتورنرون‌ها در انقباضات افزایش یابنده معیار بررسی بوده است لذا تأثیر آوران‌های پوستی بر تغییر پتانسیل پس سیناپسی موتورنرون‌های عضله که در اولین تخلیه موتورنرون خود را نشان می‌دهد به صورت تغییر آستانه و تغییر ترتیب فراخوانی بروز می‌نماید. لازم به ذکر است این نوع تسهیل در موتورنرون با اولین تخلیه موتورنرون از بین می‌رود و پتانسیل موتورنرون به حالت عادی بر می‌گردد به همین علت در مطالعه حاضر به سبب روش آزمایش (ثبت منحنی فراخوانی و معدل‌گیری پنج تحریک) این تسهیل فرصت بروز پیدا نکرده است.

در مطالعه هاردی و همکاران تحریک الکتریکی با شدت کم بر روی منطقه عصب دهی اعصاب سورال و پرونتال باعث

کمتر رنشاو بر آنهاست. تسهیل این موتورنرون‌ها باعث می‌شود بخش بالایی بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H به سمت چپ جابجا شود و شدت لازم برای ثبت Hmax کاهش یابد اما با وجود این تسهیل، دامنه Hmax افزایش نمی‌یابد چرا که با مهارهای متعدد اعمال شده از طرف مسیر Ib و رنشاو به موتورنرون‌های کند انقباض (ناشی از اعمال TENS ۱/۵ برابر آستانه) تعدادی از آنها نمی‌توانند در زمان ثبت رفلکس H فعال شوند لذا دامنه Hmax به علت غیاب آنها کاهش می‌یابد. از آنجا که در عضله سولئوس تعداد موتورنرون‌های کند انقباض نسبتاً زیاد است به همین علت در مجموع، دامنه Hmax کمی کاهش می‌یابد.

آستانه منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس کاهش معنی‌داری پیدا نکرد علت این امر نیز در تأثیر متقابل مهار موتورنرون‌های نوع اول (که باید باعث افزایش آستانه منحنی شود) و مهار سلول‌های رنشاو در اثر تحریکات پوستی (که باعث تسهیل موتورنرون‌های نوع اول و کاهش آستانه منحنی) نهفته است. دو اثر ذکر شده یکدیگر را خنثی می‌کنند و آستانه منحنی تغییرات زیادی نمی‌کند.

TENS با شدت ۱/۵ برابر آستانه باعث تسهیل موتورنرون‌های نوع دوم و مهار موتورنرون‌های نوع اول می‌شود لذا شیب منحنی صعودی افزایش می‌یابد این مهار و تسهیل از طریق تسهیل سلول‌های رنشاو تسهیل سیناپس‌های Ia و Ib اتفاق می‌افتد.

اعمال TENS با شدت آستانه حسی به علت کم بودن شدت تحریک، تنها قادر به تحریک آوران‌های پوستی است و قادر به فعال کردن مکانیسم‌های ذکر شده برای TENS با شدت ۱/۵ برابر آستانه نیست. همانطور که گفته شد، بعد از قطع جریان TENS و شروع ثبت رفلکس H سیناپس آوران‌های پوستی با موتورنرون‌ها که در مسیر رفلکس قرار ندارند اثر مستقیمی در تغییرات رفلکس H نخواهد داشت تنها اثر غیرمستقیم آوران‌های پوستی بر سلول‌های رنشاو باقی است. این تأثیر به صورت مهار رنشاو توسط آوران‌های پوستی است. به هنگام ثبت رفلکس H سیناپس‌های آوران‌های پوستی با موتورنرون‌ها در مسیر رفلکس قرار ندارند لذا تأثیری بر رفلکس H نخواهند داشت اما سلول‌های رنشاو به هنگام برانگیختن رفلکس فعال می‌شوند و مهار شدن آنها می‌تواند باعث الگوی

TENS سه قطبی با شدت آستانه حسی (مطالعه حاضر)، در بیشتر موارد مشابه با تغییرات ناشی از اعمال TENS دو قطبی در مطالعه گلجاریان بود [۱۳]. آستانه منحنی کاهش معنی‌دار پیدا کرد، شیب بازوی صعودی کمی افزایش، دامنه قله به قله H_{max} کمی کاهش و شدت لازم برای برانگیختن آن نیز کاهش یافت.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که اعمال TENS با شدت آستانه حسی باعث تسهیل موتورنرون‌های نوع اول می‌شود ولی این تأثیر باعث افزایش دامنه H_{max} نمی‌گردد چرا که موتورنرون‌های تسهیل شده در صورت عدم تسهیل نیز در ایجاد H_{max} شرکت می‌کنند.

آنچه که در مورد اثر بجای مانده از TENS سه قطبی ۱/۵ برابر آستانه پس از قطع تحریک، ذکر شد در مورد سولئوس درست به نظر می‌رسد اما چنانچه TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی تأثیر تسهیلی بارز بر موتورنرون‌های نوع دوم داشته باشد پس این اثر باید به هنگام ثبت منحنی فراخوانی رفلکس H در عضله گاستروکنمیوس مشخص‌تر باشد زیرا نسبت موتورنرون‌های نوع دوم در آن بیشتر است و کمتر تحت تأثیر مهار رنشاو قرار دارد [۱۹، ۳۲].

پس از قطع جریان TENS، به هنگام ثبت منحنی فراخوانی رفلکس H عضله گاستروکنمیوس بر خلاف عضله سولئوس، شیب بازوی صعودی منحنی عضله گاستروکنمیوس افزایش معنی‌دار پیدا نکرد. با دقت بیشتر در منحنی‌های عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس می‌توان دید که در عضله سولئوس، TENS ۱/۵ برابر آستانه حسی باعث تغییر در بخش بالایی منحنی شده (تسهیل موتورنرون‌های نوع دوم) بر اساس مکانیسم ذکر شده همین تسهیل موتورنرون‌های نوع دوم باعث مهار موتور نرون‌های نوع اول می‌شود لذا در بخش پایینی شیب صعودی منحنی عضله سولئوس تغییری رخ نمی‌دهد. ثابت ماندن بخش پایینی منحنی رفلکس H و تسهیل بخش بالایی آن (متمایل شدن به چپ) باعث افزایش معنی‌دار شیب بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس می‌شود. در عضله گاستروکنمیوس به علت تفاوت خواص موتورنرون‌ها و بیشتر بودن موتورنرون‌های نوع دوم بخش پایینی منحنی نیز تسهیل می‌شود و همراه با بخش فوقانی به سمت چپ جابجا می‌شود لذا شیب کلی بازوی

تسهیل رفلکس H شد در حالی که تحریک الکتریکی با شدت ۱/۵ برابر آستانه حرکتی باعث کاهش گذرای تحریک پذیری رفلکس H و یا عدم تغییر در آن شد. تحریک بر روی دورسی فلکسورها و پلاتنار فلکسورها نتایج متفاوتی نشان نداد لذا محققین نتیجه گرفتند محل اعمال تحریک در نوع اثر گذاری آن تأثیری ندارد [۱۶] البته این نتیجه‌گیری به همه نواحی پوست مانند آنچه در این مطالعه انجام شد قابل تعمیم نیست. نتایج حاصل از مطالعه هاردی و دلواید [۶] در مورد افزایش تحریک پذیری رفلکس H با مطالعه گولت [۱۴] در تناقض است علت تفاوت نتایج مطالعه هاردی و گولت مربوط به روش آزمایشی آنهاست زیرا گولت از H_{max} استفاده کرده اما هاردی رفلکس H با دامنه ۲۰ تا ۴۰٪ M_{max} را ثبت نمود. با توجه به دامنه رفلکس H ثبت شده در مطالعه هاردی می‌توان تغییرات آنرا با تغییرات بخشی از بازوی صعودی منحنی فراخوانی رفلکس H در مطالعه حاضر مقایسه نمود. از آنجا که TENS سه قطبی با شدت آستانه حسی باعث تسهیل بخش ابتدایی منحنی فراخوانی رفلکس H سولئوس و گاستر شده است از این جهت بین نتایج بدست آمده در دو مطالعه شباهت وجود دارد.

در مطالعه مورلی و همکاران، اعمال سه دقیقه ماساژ روی پوست ساق باعث کاهش دامنه رفلکس H عضلات سولئوس و گاستر داخلی شد اما این کاهش برای مدت طولانی دوام نداشت [۲۶].

در مطالعه گولدبرگ و همکاران اعمال دو نوع ماساژ عمیق و سطحی بر روی عضله سولئوس باعث کاهش دامنه رفلکس H شد که میزان کاهش دامنه پس از اعمال ماساژ عمقی بیشتر بود [۱۲]. این امر با احتمال تحریک گیرنده‌های بیشتر در اثر ماساژ عمقی، قابل توجیه است.

چنانچه مکانیسم ذکر شده در باره اثر عمق نفوذ TENS سه قطبی درست باشد پس کاهش شدت تحریک و لزوماً کاهش عمق نفوذ آن باید نحوه اثر گذاری آنرا تغییر داده و اثرات آنرا به گیرنده‌های پوستی محدود کند و اثراتی شبیه TENS دو قطبی بجای بگذارد. اثرات TENS دو قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی و TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی قبلاً توسط گلجاریان و همکاران با روشی مشابه روش مطالعه حاضر انجام شده است. در مورد عضله سولئوس تغییرات ناشی از اعمال

صورت می گیرد اما پس از قطع جریان TENS و شروع ثبت رفلکس H سیناپس های آوران های محیطی پوست در مسیر رفلکس قرار ندارند و تنها سلول های مهار شده رنشاو در اثر تحریک پوست، می توانند در مسیر رفلکس نقش بازی کنند.

در مورد عضله گاستروکنمیوس تنها آستانه منحنی کاهش معنی دار یافت. شیب بازوی صعودی افزایش دامنه قله به قله Hmax کاهش و شدت لازم برای برانگیختن Hmax کمی کاهش یافتند که این تغییرات معنی دار نبودند. علت تفاوت رفتار متفاوت گاستروکنمیوس با سولئوس را نیز می توان به تفاوت نقش سلول های رنشاو در این دو عضله جستجو کرد به این شکل که عضله گاستروکنمیوس به علت خصوصیات ذاتی، کمتر تحت تأثیر سلول های رنشاو قرار دارد [۱۹] لذا تنها آستانه منحنی که محل فعالیت کند انقباض ترین موتورنرون هاست (که بیشترین تأثیر را از رنشاو می گیرند) تحت تأثیر قرار گرفت.

در مجموع می توان نتیجه گرفت که کم رنگ بودن نقش رنشاو در این عضله و عدم حضور سیناپس های آوران های پوستی در مسیر انگیزش رفلکس H باعث تأثیر بسیار کم تحریکات TENS بر پارامترهای منحنی فراخوانی می شود.

نتایج این مطالعه نشان داد که منحنی فراخوانی رفلکس H عضله سولئوس در اثر تحریک TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه نسبت به تحریکات آستانه ای آثار با دوام تری برجای گذاشته است این الگو در مورد عضله گاستروکنمیوس نیز عیناً تکرار شده است لذا می توان احتمال داد تحریکات سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه سیستم عصبی را به طور گسترده تر و بیشتر تحت تأثیر قرار داده است. این نتیجه می تواند مؤید اثر عمقی TENS با شدت ۱/۵ برابر آستانه بر ستون خلفی نخاع باشد. در حالی که تحریکات آستانه ای تنها بر پوست اثر گذاشته و اثر آن نیز کم دوام بوده است.

در مطالعه گولدربرگ و همکاران، دوام اثر ماساژ نیز مورد بررسی قرار گرفت که این آثار پس از ماساژ عمقی کمتر از ده دقیقه دوام داشت. در مطالعه دیگری توسط همین محقق دوام اثر ماساژ پوست بررسی شده بود که در مطالعه قبلی اثرات ماساژ بلافاصله پس از اتمام ماساژ از بین رفت. عدم دوام اثرات تحریکات پوستی در مطالعه گولدربرگ و مطالعه حاضر همخوانی دارد. در مطالعه حاضر نیز اثرات تحریک TENS با شدت آستانه حسی، بلافاصله پس از قطع جریان خود را نشان

صعودی افزایش معنی دار پیدا نمی کند اما آستانه منحنی فراخوانی رفلکس H عضله گاستروکنمیوس به میزان معنی داری کاهش می یابد. به همین دلیل، عدم معنی داری شیب این ناحیه به معنای عدم صحت مکانیسم ذکر شده در مورد TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی در مورد عضله گاستروکنمیوس نمی باشد و معنی دار شدن کاهش آستانه منحنی فراخوانی عضله گاستروکنمیوس مؤید اثر تسهیلی قوی TENS ۱/۵ برابر آستانه حسی بر موتورنرون های نوع دوم عضله گاستروکنمیوس است.

نکته دیگر در دامنه Hmax عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس نهفته است پس از اعمال TENS ۱/۵ برابر آستانه حسی دامنه Hmax عضله سولئوس کمی کاهش می یابد ولی دامنه Hmax عضله گاستروکنمیوس کمی افزایش دارد. کاهش دامنه Hmax عضله سولئوس به علت مهار اعمال شده از طرف سلول های رنشاو بر موتورنرون های نوع اول است که این کاهش به علت تسهیل برخی موتور نرون های نوع دوم و جایگزینی آنها، تا حدی جبران می شود و کاهش معنی داری رخ نمی دهد. این مطلب در مطالعه سایرین نیز مشاهده شده است [۱۳،۳۰] اما در مورد عضله گاستروکنمیوس مهار موتورنرون های نوع اول توسط سلول های رنشاو به شدت عضله سولئوس نیست این امر به علت کم تر بودن احتمالی تأثیر سلول های رنشاو در این عضله [۱۹] و تفاوت خواص موتورنرون های این عضله است [۳۲] به هر حال عدم مهار قوی موتور نرون های نوع اول و تسهیل موتورنرون های نوع دوم باعث افزایش دامنه Hmax در گاستروکنمیوس می شود.

در مجموع می توان نتیجه گرفت که TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه با تأثیر بر ستون خلفی باعث تسهیل موتورنرون های نوع دوم می شود و کم رنگ بودن نقش رنشاو در این عضله باعث نبود اثرات مهاری قوی بر موتورنرون ها می شود لذا در اثر این تحریک دامنه Hmax افزایش می یابد و الگوی تسهیل در منحنی بوجود می آید.

چنانچه موارد ذکر شده در باره اثر TENS سه قطبی ناشی از عمق نفوذ آن باشد پس کاهش شدت تحریک و لزوماً کاهش عمق نفوذ آن باید نحوه اثر گذاری آنرا تغییر داده و اثرات آنرا به گیرنده های پوستی محدود کند. اثر گیرنده های پوستی بر موتورنرون ها چنانکه توضیح داده شد از طریق آوران های پوستی

موج M ایجاد نکرده است.

نتایج حاصل از تحریک TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر نشان میدهد که پس از پایان TENS، به هنگام ثبت رفلکس H مسیره‌های Ia و Ib تسهیل شده‌اند همچنین سلول‌های رنشاو نیز تحت تأثیر موتورنرون‌های نوع دوم تسهیل شده‌اند. با تسهیل رنشاو موتورنرون‌های نوع اول دچار مهار ناشی از رنشاو شده‌اند لذا در عضله سولئوس که موتورنرون‌های نوع اول زیادی دارد آثار مهار به خوبی مشهود است و اثر ترکیبی تسهیلی-مهار در موتورنرون‌های آن مشاهده می‌شود اما در عضله گاستروکنمیوس که موتورنرون‌های نوع اول آن کمتر است و کمتر تحت تأثیر سلول‌های رنشاو قرار دارد روند تسهیلی غلبه بیشتری دارد. این تسهیل ناشی از تسهیل مسیره‌های Ia و Ib در ستون خلفی است. لذا می‌توان گفت احتمالاً TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه به عمق بافت‌ها نفوذ کرده و ستون خلفی را تحت تأثیر قرار داده و با توجه به مکانیسم ترکیبی تسهیل و مهار موتورنرون‌ها و سلول‌های رنشاو که قبلاً شرح داده شد باعث تسهیل موتورنرون‌های نوع دوم و مهار موتورنرون‌های نوع اول می‌شود.

مقایسه نحوه تأثیرگذاری TENS با شدت آستانه حسی و TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه، مؤید این مطلب است که TENS سه قطبی با شدت ۱/۵ برابر آستانه عمق نفوذ بیشتری دارد و احتمالاً ستون خلفی نخاع را تحت تأثیر قرار می‌دهد و صرفاً وجود سه الکتروود و یا سطح تحریک شده که در TENS آستانه حسی هم مشابه TENS ۱/۵ برابر آستانه بوده عامل تأثیرگذار در مکانیسم اثر آن نیستند. بعلاوه در عضلاتی که نقش سلول رنشاو برجسته است TENS ۱/۵ برابر آستانه، اثر تسهیلی-مهار و در سایر عضلات اثر تسهیلی به جای می‌گذارد.

با توجه به نتایج به دست آمده توصیه می‌شود در استفاده از تحریکات الکتریکی و سایر انواع تحریکات حسی برای تغییر تون عضلات باید به مکانیسم‌های عصبی مرکزی آنها همچنین به تأثیر پذیری آنها از سلول‌های رنشاو و نقش عملکردی عضلات دقت کرد و با در نظر گرفتن این موارد تحریکات الکتریکی یا سایر تحریکات را به سیستم عصبی اعمال نمود تا بتوان اثر مهار یا تسهیلی مورد نظر را به دست آورد.

می‌داد اما با گذشت ده دقیقه از پایان تحریکات بسیاری از تغییرات ایجاد شده به سطح اولیه نزدیک می‌شدند [۱۲]. در مطالعه مورلی و همکاران، اعمال سه دقیقه ماساژ روی پوست ساق باعث کاهش دامنه رفلکس H عضلات سولئوس و گاستر داخلی شد اما این کاهش برای مدت طولانی دوام نداشت [۲۶]. در این مطالعه تحریک با شدت آستانه حسی به منظور تحریک گیرنده‌های پوستی و تحریک با شدت ۱/۵ برابر آستانه حسی که آثار خاص خود را در مطالعات قبلی نشان داده بود انجام گرفت علاوه بر این دو شدت تحریک یکبار نیز تحریک با شدتی بین این دو شدت تحریکی (۱/۲۵ برابر آستانه) انجام شد.

در مورد الگوی تغییرات منحنی فراخوانی رفلکس H عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس در اثر TENS با شدت ۱/۲۵ آستانه نمی‌توان حکم دقیقی داد. نتایج مورد عضله سولئوس شبیه به تغییرات آن در اثر TENS آستانه است ولی دامنه تغییرات کمتر و پایایی آن بیشتر است یعنی پس از گذشت ده دقیقه هم اثر بوجود آمده باقی مانده است.

در مورد عضله گاستروکنمیوس تغییرات در بازوی صعودی منحنی بسیار ناچیز است و می‌توان گفت تغییری رخ نداده و این تأثیر شبیه هیچ یک از شدت‌های تحریکی دیگر نیست.

در پایان باید گفت که نمی‌توان در مورد TENS ۱/۲۵ برابر آستانه به جمع‌بندی مناسبی دست یافت.

در مطالعات قبل [۳۰] تغییراتی در آستانه و شیب موج M مشاهده شده بود و احتمال داده شد که تحریک TENS بر روی ستون فقرات باعث ارسال پیام‌های ضعیفی به عضله می‌شود و انقباضات بسیار ضعیفی را بوجود می‌آورد که باعث افزایش شیب منحنی فراخوانی موج M و کاهش آستانه آن می‌شود اما در این مطالعه چنین تغییری مشاهده نشد این تفاوت می‌تواند به علت نوع الکتروود گذاری در این دو مطالعه باشد. در مطالعات قبلی الکترووداند پایینی را با فاصله ۷ سانتی متر از کاتد و در پایین ستون فقرات می‌گذاشتند این امر اجازه فرار جریان‌ها به سمت پایین نخاع و ریشه‌های عصبی را می‌داد اما در این مطالعه برای افزایش عمق نفوذ و موضعی تر شدن تحریک، آندها به کاتد نزدیک شدند و احتمالاً اجازه عبور جریان به سمت پایین نخاع و ریشه‌های عصبی را نداده‌اند لذا در هنگام اعمال TENS سه قطبی، جریانی به سمت عضله نرفته و تغییری هم در پارامترهای

References

- [1] Agostinucci J, The effect of topical anesthetics on skin sensation and soleus motoneuron reflex excitability. *Arch Phys Med Rehabil* 75 (1994) 1233-1240.
- [2] Aydn G, Tomruk S, Keles I, Demir SO, Orkun S, Transcutaneous Electrical Nerve stimulation Versus Baclofen in Spasticity: Clinical and Electrophysiologic Comparison. *Am J Phys Med Rehabil* Aug 84 (2005) 584-592.
- [3] Bkhtiary Ah, Faremy E, Does electrical stimulation reduce spasticity after stroke? A randomized controlled study. *Clin Rehabil* 22 (2008) 418-425.
- [4] Buonocore M, Bonezzi C, Barolat G, Neurophysiological evidence of antidromic activation of large myelinated fibers in lower limb during spinal cord stimulation. *Spine* 33 (2008) 90-3.
- [5] Chapman C, Sullivan SJ, Changes in hip position modulate soleus H- reflex excitability in man. *Electromyog Clin Neurophys* 31 (1991) 131-143.
- [6] Delwade PJ, Crenna P, Fleron MH, Cautaneous nerve stimulation and motoneuron excitability, I: soleus and tibialis anterior excitability after ipsilateral and contralateral sural nerve stimulation. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 44 (1981) 699-707.
- [7] Ebrahimi E, The comparison of the H-reflex parameters of soleus muscle in two methods of surface electrical stimulation of vertebral column preperh neural fibers [Dissertation], Tarbiat Modares University, 2000.
- [8] Eccles JC, Fatt P, Koketsu K, Cholinergic and inhibitory synapses in a pathway from motor-axon collaterals to motor neurons. *J Physiol* 126 (1954) 524-62,.
- [9] Firoozabadi SMP. Electrical stimulation of spinal cord and modeling of the stimulated muscle [Dissertation], Tarbiat Modares University, 1997.
- [10] Garnet R, Stephens JA. Changes in the recruitment threshold of motor units produced by cutaneous stimulation in man. *J Physiol* 311 (1981) 463-473.
- [11] Geregoric M, Suppression of flexor reflex by transcutaneous electrical nerve stimulation in spinal cord injured patients. *Muscle Nerve*, 21 (1998) 166-172.
- [12] Goldberg J, Sullivan SJ, Seaborn ED, The effect of two intensities of massage on H-reflex amplitude. *Phys Ther* 72 (1992) 449-457.
- [13] Goljarian SG, Comparison of the effect of bipolar and tripolar TENS on H-reflex and Mh wave recruitment curves [Dissertation], Tarbiat Modares University, 2001.
- [14] Goulet C, Arsenault G, Bouhboninains D, Levin MF, Effects of TENS on H-reflex of muscle of different fiber type composition. *Electromyog Clin Neurophys* 37 (1997) 335-342.
- [15] Hamed H, The effects of percutaneous lumbar stimulation on the H-reflex parameters [Dissertation], Tarbiat Modares University, 1998.
- [16] Hardy P, Spalding B, Liu H, Nick T, Pearson R, Hayes A and Stokic D, The effect of transcutaneous electrical stimulation on spinal motor neuron excitability in people without known neuromuscular disease: The role of intensity and location. *Phys Ther* 82 (2002) 354-363.
- [17] Holsheimer J, Barolat G, *Spinal cord stimulation: Modeling results and clinical data*. Proceedings of 14th IEEE Int. Conf EMBS (1993) 1378-1379.
- [18] Holsheimer J, Struijk JJ, Wesselink WW, Effects of electrode configuration and geometry on fiber preference in spinal cord stimulation. *18th Ann Int Conf IEEE In Med & Biol Society* Amsterdam, 1996.
- [19] Katz R, Pierrot-deseilligny E, Recurrent inhibition in humans. *Prog Neurobiol* 57 (1998) 325-355.
- [20] Levin MF, Hui-Chan C, Are H and stretch reflexes in hemiparesis reproducible and correlated with spasticity? *J Neurol* 240 (1993) 63-71.
- [21] Levin MF, Christina WY, Chan CWY, Relief of hemiparetic spasticity by TENS is associated with improvement in reflex and voluntary motor functions. *EEG Clin Neurophysiol* 85 (1992) 131-142.
- [22] Mandoolakani M., Sharafat A, Multielectrode stimulation of spinal cord: modeling and experiment of electrical potentials distribution. *J Shahed University* 6 (1378) 59-72.
- [23] Mcllory W, Brook JD, Within Subject reliability of the Hoffman reflex in man. *Electromyog Clin Neurophysiol* 27 (1987) 401-404.
- [24] Messina C, Cotrufo R, Different excitability of type1 and type 2 α motoneurons. *J Neurol Sci* 28 (1976) 57-63.
- [25] Miller L, Mattison P, Paul L, Wood L, The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on spasticity in multiple sclerosis. *Mult Scler* 13 (2007) 527-33.
- [26] Morelli M., Sullivan SJ, Chapman CE, Inhibitory influence of soleus massage onto the medial

- gastrocnemius H-reflex. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 38 (1988) 87-93.
- [27] Oh S, *Clinical electromyography*. USA (2003) 48-50.
- [28] Patton HD, Fuchs AF, Hille B, Scher AM, Steiner R, *Textbook of Physiology* 21st ed., Philadelphia, Saunders, (1989) 558-560.
- [29] Ring H, Weingarden H, Neuromodulation by functional electrical stimulation (FES) of limb paralysis after stroke. *Acta Neurochir Suppl* 97 (2007) 375-80.
- [30] Saeedi N, The study of H-reflex and Mh wave recruitment curve before and after percutaneous lumbar spine stimulation [Dissertation], Tarbiat Modares University, 2000.
- [31] Santos M, Zahner LH, McKiernan BJ, Mahken JD, Quaney B, Neuromuscular electrical stimulation improves sever hand dysfunction for individual with chronic stroke: A pilot study. *J Neural phys Ther* 30 (2006) 175-83.
- [32] Sarmadi AR, Firoozabadi SMP, Torkaman G, Fathollahi Y, Assessing information of soleus and gastrocnemius motor unit H-reflex response to paired stimulation. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 44 (2004) 401-408.
- [33] Starobinets M., Volkova L.: Combined use of cutaneous electro stimulation of nerve fiber an electrogymnastic of the spine in painful vertebrogenic syndromes. *Zh Nervopatol Psikhiatr Im SS korosakova* 87 (1987) 498-500.
- [34] Struijk JJ, Holsheimer J, Boom HB, Excitation in dorsal root fibers in spinal cord stimulation: A theoretical study. *IEEE Trans Biomed Eng BME* 40 (1993) 632-639.
- [35] Struijk JJ, Holsheimer J, Spincemaille GH, Gielen FL, Hoekema R, Theoretical performance and clinical evaluation of transverse tripolar spinal cord stimulation. *IEEE Transact Rehabil Eng* 6 (1998) 277-285.
- [36] Tsang CWY, Chan H, Inhibition of the human flexion reflex by low intensity high frequency TENS has a gradual onset and offset. *Pain* 28 (1987) 239-253.
- [37] Wang RY, Chan RC, Tsai MW, Effect of thoraco-lumbar electrical stimulation on knee extensor spasticity of persons who survived cerebrovascular accident (CVA). *J Rehabil Res Dev* 37 (2000) 73-79.
- [38] Wang RY, Tsai MW, Effects of surface spinal cord stimulation on spasticity and quantitative assessment of muscle tone in hemiplegic patients. *Am J Phys Med Rehabil* 77 (1998) 282-287.
- [39] Wesselink WA, Holsheimer J, Optimum electrode geometry for spinal cord stimulation: the narrow bipole and tripole. *Med Biol ENG Comput* 35 (1997) 493-497.
- [40] Wesselink WW, Holsheimer J, Spinal cord stimulation: fiber diameter in the dorsal column modeled from clinical data. *18th Ann Int Conf IEEE In Med & Biol Society* Amsterdam, 1996.
- [41] Wilson V, Talbot W, Kato M, Inhibitory convergence upon renshaw cells. *J Neurophysiol* 27 (1964) 1063-1079.