



The effect of cutaneous mechanical stimulations of lateral plantar surface on the excitability of ipsilateral and contralateral motoneurons

Andisheh Bastani, Mohammad Reza Hadian*, Saeed Talebian, Gholamreza Oliaye, Hosein Bagheri

Dept. Physiotherapy, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Mechanoreceptors of foot sole likely contribute in the reflex regulations. Stimulation of these receptors in the lateral aspect of the foot is corresponded to the lateral plantar division of the tibial nerve. Therefore, it was hypothesized that repetitive low threshold afferents stimulation would have an inhibitory effect on the soleus H-reflexes.

Methods: Sixteen normal subjects voluntarily participated in this study and were randomly allocated. Subjects were remained in prone position. The cutaneous mechanical pressure (CMP) equal to 50% of leg and foot weight was applied to the ipsilateral lateral plantar surface using a special instrument through a square plate (30x30 mm). H reflexes as indicator for excitability of motoneurons was bilaterally elicited before and after the application of the CMP and the H-reflex parameters were measured.

Results: The amplitude of H reflex and H/M ratio showed significant differences before and after the ipsilateral CMP stimulation of the lateral side of the foot ($p < 0.05$; $p < 0.05$, respectively decreased). Furthermore, the latencies of H reflexes were also increased ($p < 0.05$).

Conclusion: Our results highlight the modulatory effects of natural stimulation of cutaneous afferents on excitability of ipsilateral and contralateral motoneurons. This in respect may have practical application in the management of muscle tone disorders following brain and spinal cord injuries.

Keywords: H-reflex, Mechanical stimulation, Lateral plantar nerve, Motorneuron excitability, Human

* Corresponding Author Email: hadianrs@sina.tums.ac.ir
Available online @: www.phypha.ir/ppj

اثر تحریکات مکانیکی جلدی بر سطح خارجی کف پا بر روی تحریک پذیری موتورنورون‌های همان سمت و سمت مقابل

اندیشه باستانی، محمدرضا هادیان*، سعید طالبیان، غلامرضا علیایی، حسین باقری
گروه فیزیوتراپی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران
دریافت: فروردین ۸۶ بازبینی: تیر ۸۶ پذیرش: شهریور ۸۶

چکیده

مقدمه: مکانورسپتورهای کف پا در تنظیم رفلکسی نقش دارند. تحریک این گیرنده‌ها در سطح خارجی کف پا مرتبط با انشعاب خارجی عصب پلانتار عصب تیپال می‌باشد. بنا بر این نظریه، تحریک آوران‌های پا حد آستانه پایین می‌تواند اثر مهاری بر روی رفلکس‌های عضله سولئوس داشته باشد. در این تحقیق به بررسی تحریک پذیری موتورنورون‌ها از طریق تحریک گیرنده‌ها در سطح خارجی کف پا (مرتبط با انشعاب عصب پلانتار خارجی عصب تیپال) پرداخته شده است. **روش‌ها:** ۱۶ فرد سالم در این مطالعه شرکت نمودند. افراد در وضعیت prone (دمر) قرار گرفته و تحریکات مکانیکی جلدی (برابر با ۵۰٪ وزن ساق و پای فرد) به سطح خارجی کف پای سمت غالب، به صورت تصادفی و توسط دستگاه طراحی شده، از طریق یک صفحه به ابعاد ۳×۳ سانتیمتر اعمال گردید. رفلکس هافمن (H) بعنوان معیار اندازه‌گیری تحریک پذیری موتورنورون‌ها، به شکل دوطرفه، قبل و بعد از بکار بردن تحریکات مکانیکی جلدی ثبت شد. **یافته‌ها:** بر اساس این مطالعه، دامنه رفلکس هافمن و نسبت H/M هر دو سمت کاهش معناداری را بعد از اعمال تحریک به سمت خارج کف پای همان سمت ($p < 0.05$ و $p < 0.05$ به ترتیب) نشان داد. بعلاوه، زمان تأخیری رفلکس H افزایش معناداری را نشان دادند. ($p < 0.05$). **نتیجه‌گیری:** نتایج نشان دهنده تأثیرات تعدیلی تحریکات آورانهای پوستی در محل توزیع عصب خارجی پلانتار بر تحریک پذیری موتورنورون‌های همان سمت و سمت مقابل دارد. این نتایج می‌تواند کاربرد عملی در درمان اختلالات تون عضلانی در موارد ضایعات نخاعی و ضربه مغزی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: رفلکس هافمن، تحریکات مکانیکی، عصب پلانتار خارجی، تحریک پذیری موتورنورون‌ها

مقدمه

مکانیکی معمولاً یک تحریک مکانیکی متغیر و متد اوم را به شکل پتانسیل‌های عمل مجزا انتقال می‌دهند (۲) است. بروز هرگونه اختلال و صدمه وارده به یک یا چند ناحیه از سیستم اعصاب مرکزی و تاخیر در درک، کد کردن و یا انتقال در امتداد این مسیرهای عصبی می‌تواند ایجاد سیگنال‌های نامناسب نماید که به عضلات فرستاده می‌شود و در نتیجه موجب اختلال در تون عضله و تغییر از یک پاسخ مطلوب و یا تون نرمال می‌گردد (۱، ۲، ۳، ۴). در مجموع، با توجه به شواهد قابل توجه موجود چنین پیشنهاد می‌شود که فیدبک‌های حاصله از کف پا می‌تواند

در پوست و عمق عضله گیرنده‌های حسی وجود دارند که مسئول تشخیص کشش و تغییرات طول عضله می‌باشند. این گیرنده‌ها تحریکات خارجی را به شکل پتانسیل عمل برای انتقال به سیستم عصبی مرکزی مخابره می‌کنند و در نتیجه عضله را برای تطابق با شرایط جدید به تغییر تون و میدارند. گیرنده‌های

hadianrs@sina.tums.ac.ir
www.phypha.ir/ppj

* نویسنده مسئول مکاتبات:
وبگاه مجله:

تغییرات تحریک پذیری رفلکس را به آزاد شدن نوروترنسمیتر مهاری در نخاع نسبت دادند (۳).

دانش ما در مورد ورودی‌های پوستی از کف پا اغلب بر پایه شواهد غیر مستقیم می‌باشد. ثبت‌های microneurographic از اعصاب محیطی، آنالیز مستقیم خصوصیات عملکردی گیرنده‌های پوستی را در پاسخ به محرک‌های گوناگون تأمین می‌نماید. امروزه، رفتار آوران پوستی در صورت، اندام فوقانی و تحتانی مورد بررسی قرار گرفته است (۴، ۳). سیستم اعصاب مرکزی با پردازش این ورودی‌های سوماتوسنسوری، اطلاعات مهمی در مورد وضعیت بدن و تون عضلانی آن با توجه به سطح سایپورت کننده بدست می‌آورد (۴). تکنیک‌های متعددی جهت کاهش تحریک پذیری بیش از حد موتورنورون‌ها، مورد استفاده قرار گرفته است (۷، ۱۳). با این وجود، اکثر مطالعات مربوط به اندام تحتانی، به بررسی پوست مو دار ساق و کناره پا پرداخته‌اند و در نتیجه اطلاعات محدودی در مورد مشخصات و خصوصیات مکانورسپتورهای کف پا وجود دارد (۳).

مطالعه حاضر به بررسی تاثیر قرار دادن یک صفحه زیر ناحیه قوس خارجی کف پا در محل انشعاب عصب پلانتر خارجی جهت اعمال فشار مکانیکی جلدی و اثر آن بر تحریک پذیری موتورنورون‌ها در وضعیت دمر و بررسی تغییرات ایجاد شده از طریق ثبت رفلکس H، می‌پردازد. قرار دادن صفحه موجب اعمال فشار به صورت تونیک بر روی بافت زیر صفحه می‌شود و در نتیجه موجب افزایش فشارهای آوران می‌گردد (۱۲).

نتایج حاصله از تحقیق انجام گرفته در سال ۱۹۹۲ توسط Aniss و همکاران بر روی پاسخ‌های بدست آمده از عضلاتی که روی مچ پا عمل می‌کنند، نشان داد که آوران‌های منشأ گرفته از مکانورسپتورهای کف پا، ارتباطات رفلکسی چند سیناپسی با موتورنورون این دسته از عضلات دارند. زمانیکه عضلات در وضعیت ایستاده و یا حین راه رفتن هستند، فیدبک پوستی ممکن است در تعدیل خروجی موتورنورون نقش ایفا کند و بنابراین در ثبات وضعیت ایستاده و نیز در راه رفتن مشارکت داشته باشد (۲).

هدف اصلی در این مطالعه بررسی اثر اعمال تحریکات مکانیکی بر تحریک پذیری موتورنورون‌ها می‌باشد. اعتقاد بر این است که تحریک مکرر آوران‌های با حد آستانه پایین، می‌تواند

مسیرهای رفلکس نخاعی را در افراد سالم و ضایعات نخاعی تحت تاثیر قرار دهد. بر اساس ارزیابی نواحی فعالیت چندگانه مکانورسپتورها (گیرنده‌های مکانیکی) در کف پا، این فعالیت بطور غالب در نواحی داخلی و خارجی پا، مرتبط با محل توزیع اعصاب داخلی و خارجی پلانتر در نظر گرفته شده است (۵، ۶). در این رابطه، تکنیک‌های متعددی جهت کاهش تحریک پذیری بیش از حد موتورنورون‌ها در موارد ضایعات نخاعی و مغزی استفاده شده است (۷، ۱۳).

هدف اصلی در این مطالعه بررسی اثر اعمال تحریکات مکانیکی بر تحریک پذیری موتورنورون‌ها می‌باشد. اعتقاد بر این است که تحریک مکرر آوران‌های با حد آستانه پایین می‌تواند یک اثر مهاری روی رفلکس هافمن (H) عضله سولئوس (۷۸) که در حقیقت معیار ارزشمندی در اندازه‌گیری غیر مستقیم تحریک پذیری نورونهای حرکتی سولئوس به حساب می‌آید داشته باشد. (۲، ۳، ۹).

Conway و همکاران در گربه‌های decerebrate پتانسیل‌های موتورنورون‌ها مربوط به Flexor Reflex Afferents را ثبت و بطور همزمان اثرات تحریک الکتریکی اعصاب پلانتر داخلی و خارجی و کالکائال را بر تحریک پذیری این موتورنورون‌ها مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که تحریکات عصب پلانتر خارجی در مقایسه با تحریک عصب پلانتر داخلی بر تحریک پذیری موتورنورون‌ها، اثر متفاوتی را نشان می‌دهد. بدین صورت که تحریک عصب پلانتر خارجی باعث مهار فعالیت‌های الترناتیو موتورنورون‌ها به میزان بیشتری می‌گردد (۵).

در سال ۲۰۰۳، Hiraoka به بررسی تأثیر قرار دادن صفحاتی با ضخامت متفاوت در زیر ناحیه forefoot (در حالت ایستاده) بر روی تحریک پذیری حوضچه موتورنورون عضله سولئوس پرداخت. آنالیز داده‌ها کاهش مشخصی را در نسبت Hmax/Mmax نشان داد؛ ضخامت صفحات تأثیری در این نسبت نداشت و حداکثر میزان کاهش متعاقب قرارگیری صفحه در زیر ناحیه برجستگی خارجی کف پا بوده است (۱۱). Knikou و Conway در سال ۲۰۰۱ به بررسی تعدیل رفلکس هافمن عضله سولئوس در حالت نشسته در پاسخ به بار مکانیکی تونیک اعمال شده به سطح کفی پا در افراد نرمال و با ضایعه نخاعی کامل پرداختند. فشار تونیک اعمالی به ناحیه متاتارسال پای همان سمت بطور بارزی موجب کاهش رفلکس هافمن در افراد گردید. آنها

انجام گرفته است. با توجه به این مسایل، در تحقیق حاضر با حذف loadهای ناشی از وزن بدن و اعمال انتخابی لود به مناطق مورد نظر کف پا، به بررسی تحریک پذیری موتورنورون پرداخته شده است. بنابراین نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعات جدیدی را در اختیار ما قرار داده و احتمالاً راهگشای آرایه روشهای نوین برای تعدیل تونسیته در موارد گوناگون باشیم (۶).

افراد در حالت دمر خوابیده و مچ پا کمی پایین تر از لبه تخت قرار گرفت، بالشتی را زیر ناحیه ساق پا قرار داده تا زانو در زاویه ۱۵ - ۲۰ درجه و مچ پا در ۱۰ درجه پلانتر فلکشن باشد (این کار سبب شل شدن عضله گاستروسولئوس شده و در نتیجه مانع اثر کاهندگی آورانه‌های آن بر مدار رفلکس عضله گاستروسولئوس می‌گردد). از افراد خواسته شد تا با قرار دادن دستها در طرفین بدن، سر خود را در وضعیت راحتی قرار دهند و تا انتهای آزمایش این وضعیت را حفظ نمایند. برای ثبت رفلکس H از عضله سولئوس، الکتروود فعال ثبات را روی عضله سولئوس، در شیار بین دو سر عضله گاستروسولئوس قرار داده و الکتروود غیر فعال^۲ ثبات را تقریباً در فاصله ۲ - ۳ سانتیمتر پایین تر از الکتروود فعال و در امتداد تاندون آشیل با نوار چسب در محل خود ثابت شد. الکتروودهای محرک در ناحیه میانی پشت زانو و بین تاندونهای عضلات: سمی ممبرانوس و بایسپس فموریس، کمی متمایل به سمت خارج و الکتروود زمین نیز در حد فاصل محل قرارگیری الکتروودهای ثبات و محرک قرار گرفت (۱۳، ۱۴). همین نحوه الکتروود گذاری و محل نصب الکتروودها، برای پای سمت مقابل فرد انجام گرفت.

با استفاده از دستگاه الکترومیوگرافی NeuroScreen Plus رفلکس H و موج M حداکثر (Hmax, Mmax) قبل از اعمال تحریکات مکانیکی جلدی ثبت گردید. نرم افزار این سیستم امکاناتی را برای رفلکس H و موج M در پنجره‌های مخصوص دارد، با انتخاب هر پنجره بطور اتوماتیک کلیه پارامترهای لازم جهت ثبت هر پتانسیل از قبیل حساسیت دستگاه^۴، سرعت جا رویی^۵ و پارامترهای تحریک از قبیل

یک اثر مهارى روى رفلکس هافمن (H) عضله سولئوس (۷، ۸) که در حقیقت معیار ارزشمندی در اندازه‌گیری غیر مستقیم تحریک پذیری نورونهای حرکتی سولئوس به حساب می‌آید داشته باشد. (۲، ۳، ۹).

مطالعه حاضر به بررسی تاثیر قرار دادن یک صفحه زیر ناحیه قوس خارجی کف پا در محل انشعاب عصب پلانتر خارجی جهت اعمال فشار مکانیکی جلدی و اثر آن بر تحریک پذیری موتورنورون‌ها در وضعیت دمر و بررسی تغییرات ایجاد شده از طریق ثبت رفلکس H، می‌پردازد. قرار دادن صفحه موجب اعمال فشار به صورت تونیک بر روی بافت زیر صفحه می‌شود و در نتیجه موجب افزایش دشارژهای آوران می‌گردد (۱۲).

مواد و روش‌ها

افراد داوطلب شرکت کننده در این تحقیق ۱۶ فرد سالم در محدوده سنی ۲۰ - ۳۰ سال (۶ زن، ۱۰ مرد؛ ۴ نفر چپ دست و ۱۲ نفر راست دست)، قد (سانتی متر $169/93 \pm 7/54$)، وزن (کیلو گرم $63/43 \pm 12/86$)، سن (سال $25/06 \pm 3/17$)، طول اندام تحتانی سمت غالب (سانتی متر $106 \pm 5/50$) بودند. این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی تهران تصویب شده است. افراد پس از تکمیل پرسشنامه حاوی مشخصات فردی و اطلاعات لازم جهت انجام آزمایش، افراد وارد کار تحقیق می‌شدند.

ضوابط ورود به مطالعه عبارت بودند از: ۱- محدوده سنی بین ۲۰ - ۳۰ سال، ۲- فرد هیچگونه سابقه مشکل ارتوپدیک در اندام تحتانی و یا ضایعه نورولوژیک نداشته باشد، ۳- عدم وجود محدودیت حرکتی در مچ پا ضوابط خروج از مطالعه عبارت بودند از: ۱- وجود بیماری‌های خاص که منجر به اختلال در درک حس گردند. ۲- کف پای صاف، ۳- استفاده کنندگان از داروهای مسکن و خواب آور و داروهای که بر سیستم عصبی تاثیر می‌گذارند. ۴- هر گونه ضایعه نورولوژیک، ارتوپدیک در اندام تحتانی، عدم کارکرد مناسب مفصلی و محدودیت حرکتی همانگونه که بیان شد اکثر مطالعات انجام گرفته در حالت ایستاده و یا نشسته و یا در ناحیه پوست مو دار^۱ ساق پا و لبه کناری پا^۲

¹ Non-glabrous

² Foot border

³ Reference

⁴ Gain· Sensitivity

⁵ Sweep speed

سطوح اعمال فشار به ابعاد 3×3 سانتیمتر در سطح خارجی کف پا استفاده شد (میزان نیروی اعمال شده از طریق اهرم‌های دستگاه توسط دستگاه دینامومتر و نیروسنج کالیبره گردید) (شکل ۱). با توجه به وزن افراد شرکت کننده و بر اساس جدول آنتروپومتری، وزن ناحیه ساق و پای افراد را محاسبه نموده و معادل 50% آن به کف پا (میزان نیروی اعمال شده به کف پا $1/91 \pm 0/37$) نیرو / واحد نیرو کیلوگرم وارد شد. سپس در زمانهای T5 (۵ دقیقه بعد از شروع اعمال تحریک مکانیکی)، T10 (۱۰ دقیقه بعد از شروع اعمال تحریک مکانیکی)، TDIS (بلافاصله پس از قطع اعمال تحریکات مکانیکی)، TF (۵ دقیقه بعد از قطع اعمال تحریکات مکانیکی جلدی) مجدداً ثبت انجام گرفته و پارامترهای رفلکس H و موج M بررسی شدند.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه آماری ۱۱/۵ SPSS استفاده گردید. بعد از مقایسه دو تایی متغیرها بر اساس تست Repeated measures تا موارد وجود اختلاف معنی دار بین موارد مورد بررسی نشان داده شود. برای مشخص نمودن محل دقیق بروز اختلاف معنی دار و مقایسه بین پارامترهای پای راست و چپ از t-test زوج استفاده شد.

یافته‌ها

مقایسه ناحیه آزمایشی خارجی کف پا در هر یک از زمانهای T0، T5، T10، TDIS، TF، TDIS، TF در پای همان سمت و سمت مقابل انجام شده است.

طبق جدول شماره (۱)، مقایسه دو تایی زمان تأخیر و دامنه موج M در تحریک به ناحیه خارجی کف پای همان سمت و سمت مقابل در هیچ یک از زمانهای T0، T5، T10، TDIS، TF اختلاف معنی داری بین زمان تأخیر موج M دو ناحیه مورد آزمایش نشان نداد ($p > 0.05$). این مطلب نشان دهنده یکسان بودن شرایط آزمایش در تحریک به ناحیه خارجی کف پا می‌باشد. نحوه تغییرات زمان تأخیر رفلکس H ثبت شده در همان سمت و سمت مقابل متعاقب اعمال تحریک به ناحیه خارجی کف پا در زمانهای T0، T5، T10، TDIS، TF متعاقب اعمال

فرکانس تحریک و مدت زمان تحریک و فیلترهای L.F.L و U.F.L دستگاه بطور اتوماتیک برای ثبت این پتانسیل خاص تنظیم می‌گردد. با توجه به این مطلب، پارامترهای دستگاه به گونه‌ای تنظیم شد که قابلیت تحریک و ثبت همزمان ۲ کانال مجزا از اندام‌های تحتانی (هر دو سمت در افراد) را با شدت تحریک برابر و همزمانی لازم داشته باشد. تمامی پارامترهای ثبت برای ۲ کانال کاملاً یکسان و به صورت همزمان و بدون تاخیر از هر ۲ اندام انجام گرفت. جریان تحریک شامل پالس‌های مربعی با پهنای پالس ۱ ms بود.

این پارامترها برای رفلکس - H و موج Mmax به شرح زیر می باشد:

برای ثبت رفلکس - H:

Sweep: 100 ms/div Gain: 500 μ v/div

برای ثبت و موج Mmax:

Sweep: 10 ms/div Gain: 4 mv/div

۲۵ trace رفلکس H از هر دو اندام تحتانی ثبت گردید. دو متغیر وابسته، دامنه رفلکس H (Peak-Peak, P-P) و زمان شروع تاخیر اولین Deflection از خط پایه (base line)، برای هر ۲۵ trace اندازه‌گیری شد. در این مرحله برای ثبت رفلکس - H (روش ثبت دوقطبی)، پس از انتخاب پنجره مخصوص آن و تنظیم مشخصات صفحه، ابتدا یک تحریک با شدت H sub maximal وارد شد، شدت تحریک تا حدی افزایش یافت که اولین نشانه‌های رفلکس H دیده شد. سپس بتدریج شدت تحریک افزایش یافت تا رفلکس H با حداکثر دامنه مشاهده شد (در این حالت موج M در حداقل دامنه می‌باشد). پس از اطمینان از ثبت موج H-Max به ترتیب ۱۰ رفلکس - H را با حداکثر دامنه (H-Max) ثبت و در کامپیوتر ذخیره شد تا در مرحله اندازه‌گیری، میانگین آنها محاسبه گردد.

در مرحله بعد برای ثبت موج Mmax ابتدا شدت جریان را تا حدی که رفلکس - H حذف و موج M به حداکثر مقدار خود برسد بالا برده و سپس به اندازه ۲۵٪ به شدت جریان اضافه شد تا شدت به حد Supramaximal برسد. پس از اطمینان از ثبت موج M، به ترتیب ۱۰ موج M را با حداکثر دامنه ثبت و شبیه مورد قبل ذخیره شد.

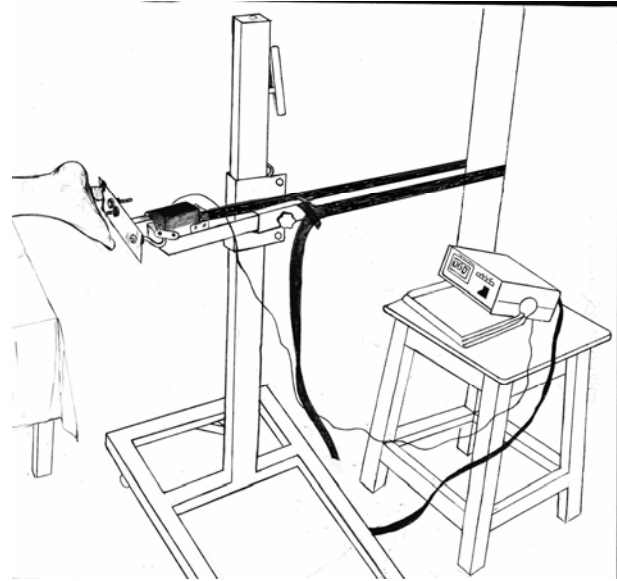
برای اعمال تحریکات مکانیکی جلدی از دستگاه طراحی شده (توسط گروه تحقیق در دانشکده توانبخشی تهران) با

رفلکس H در پای همان سمت بارزتر می‌باشد. همچنین در زمان ۵ دقیقه پس از قطع اعمال تحریرات مکانیکی به ناحیه خارجی کف پا مشاهده می‌شود که روند کاهش دامنه قله تا قله رفلکس H ادامه دارد.

نحوه تغییرات نسبت Hmax/Mmax در طول تحریر مکانیکی جلدی به ناحیه خارجی کف پای همان سمت و سمت مقابل: در تحریر مکانیکی به سطح خارجی کف پا کاهش میانگین نسبت Hmax/Mmax در طول زمان آزمایش اتفاق افتاد.

شکل ۲ نحوه تغییرات درصد دامنه رفلکس H همان سمت و سمت مقابل را در زمان تحریر مکانیکی جلدی به ناحیه خارجی کف پا نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در تحریر مکانیکی به ناحیه خارجی کف پا میانگین درصد تغییرات دامنه رفلکس H در طول زمان آزمایش کاهش می‌یابد و روند درصد کاهش دامنه رفلکس H در هر دو سمت با تقریباً یکسان می‌باشد و این روند کاهش در زمان ۵ دقیقه پس از قطع اعمال تحریرات مکانیکی جلدی نیز ادامه دارد.

شکل ۳، نحوه تغییرات درصد زمان تأخیری رفلکس H همان سمت و سمت مقابل را در زمان تحریر مکانیکی جلدی به ناحیه خارجی کف پا نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در تحریر مکانیکی به ناحیه خارجی کف پا میانگین زمان تأخیری رفلکس H در طول زمان آزمایش افزایش می‌یابد و روند افزایش درصد در زمان تأخیری رفلکس H در همان سمت و سمت مقابل تقریباً یکسان می‌باشد. قابل توجه این است که در تحریر ناحیه خارجی کف پا همچنان روند افزایش درصد زمان تأخیری ادامه دارد.



شکل ۱- دستگاه طراحی شده جهت اعمال تحریرات مکانیکی

تحریر خارجی کف پا، افزایش زمان تأخیر رفلکس H مشاهده گردید؛ روند این افزایش در هر دو سمت بدن مشابه یکدیگر می‌باشد و اختلاف بارزی در نحوه تغییرات میانگین زمان تأخیر بین پای همان سمت و سمت مقابل دیده نمی‌شود، در تحریر به ناحیه خارجی کف پا، روند افزایش زمان تأخیری رفلکس H در تحریر اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا همچنان ادامه دارد.

نحوه تغییرات دامنه قله تا قله رفلکس H ثبت شده در همان سمت و سمت مقابل متعاقب اعمال تحریر به ناحیه خارجی کف پا؛ با توجه به مقدار P بدست آمده جدول ۲، در مقایسه بین زمان‌های T10 تا TDIS و TDIS تا TF کاهش معناداری در دامنه رفلکس H حداکثر بین این فواصل زمانی در هر دو سمت، مشاهده نمی‌شود ($p > 0.05$). میزان کاهش دامنه قله تا قله

جدول ۱- شاخص‌های دامنه و زمان تأخیر موج M

T_F	T_{DIS}	T_{10}	T_5	T_0	میانگین	دامنه	پای همان سمت	تحریر مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا
۲/۷۲	۲/۷۴	۲/۶۵	۲/۷۵	۲/۸۰	انحراف معیار	(mv)	پای همان سمت	تحریر مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا
۱/۸۶	۱/۹۳	۱/۷۱	۱/۸۲	۱/۹۳	میانگین	تأخیری	پای همان سمت	تحریر مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا
۴/۸۷	۴/۹۰	۵/۰۳	۵/۰۵	۴/۹۸	انحراف معیار	(ms)	پای همان سمت	تحریر مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا
۱/۰۲	۱/۰۷	۱/۲۹	۱/۰۱	۱/۱۷	میانگین	دامنه	پای همان سمت	تحریر مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا
۲/۶۳	۲/۷۱	۲/۶۵	۲/۶۶	۲/۸۱	انحراف معیار	(mv)	پای همان سمت	تحریر مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا
۱/۱۴	۱/۲۷	۱/۲۶	۱/۲۵	۱/۲۷	میانگین	تأخیری	پای همان سمت	تحریر مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا
۴/۹۱	۵/۰۵	۵/۱۱	۴/۹۰	۵/۱۲	انحراف معیار	(ms)	پای همان سمت	تحریر مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا
۰/۹۵	۱/۰۵	۱/۰۸	۰/۸۹	۱/۳۲	انحراف معیار	زمان	پای همان سمت	تحریر مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا

T_0 زمان قبل از اعمال تحریرات مکانیکی جلدی T_5 زمان ۵ دقیقه بعد از اعمال تحریرات مکانیکی جلدی T_{10} زمان ۱۰ دقیقه بعد از اعمال تحریرات مکانیکی جلدی T_{DIS} زمان دقیقاً بعد از قطع اعمال تحریرات مکانیکی جلدی T_F زمان ۵ دقیقه بعد از قطع اعمال تحریرات مکانیکی جلدی.

جدول ۲- شاخص‌های دامنه قله تا قله و زمان تأخیری رفلکس H

T _F	T _{DIS}	T ₁₀	T ₅	T ₀	میانگین	دامنه (mv)	پای همان سمت	تحرک مکانیکی ناحیه خارجی کف پا
۱/۷۵	۱/۹۵	۲/۲۰	۲/۹۰	۳/۸۶	میانگین	دامنه	پای همان سمت	تحرک مکانیکی ناحیه خارجی کف پا
۲/۱۷	۲/۰۰	۲/۱۱	۲/۲۴	۲/۶۲	انحراف معیار	تأخیری (ms)	پای همان سمت	تحرک مکانیکی ناحیه خارجی کف پا
۲۹/۹۱	۲۹/۶۶	۲۹/۳۳	۲۸/۶۱	۲۸/۲۲	میانگین	دامنه	پای همان سمت	تحرک مکانیکی ناحیه خارجی کف پا
۲/۴۰	۲/۰۸	۲/۳۳	۲/۳۲	۲/۲۸	انحراف معیار	تأخیری (ms)	پای همان سمت	تحرک مکانیکی ناحیه خارجی کف پا
۱/۴۴	۱/۶۵	۲/۱۸	۲/۴۵	۲/۸۰	میانگین	دامنه	پای همان سمت	تحرک مکانیکی ناحیه خارجی کف پا
۱/۴۴	۱/۶۱	۱/۶۴	۱/۸۱	۲/۰۳	انحراف معیار	تأخیری (ms)	پای همان سمت	تحرک مکانیکی ناحیه خارجی کف پا
۲۹/۵۶	۲۹/۴۳	۲۸/۹۶	۲۸/۶۶	۲۸/۲۱	میانگین	دامنه	پای همان سمت	تحرک مکانیکی ناحیه خارجی کف پا
۲/۲۸	۲/۳۴	۲/۳۷	۲/۴۱	۲/۲۰	انحراف معیار	تأخیری (ms)	پای همان سمت	تحرک مکانیکی ناحیه خارجی کف پا

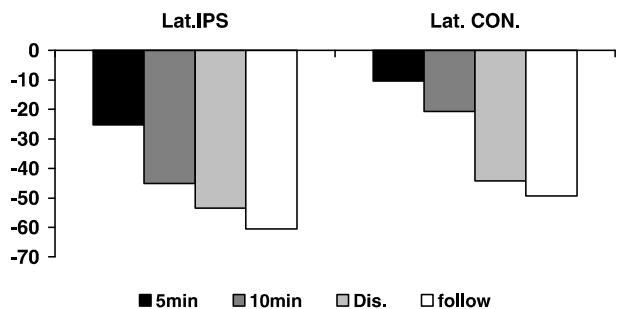
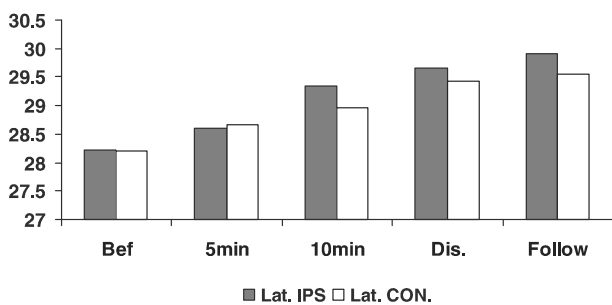
بحث

(۱۰،۲۰) نتایج تحقیق حاضر با نتایج Boucher و Hebert

مبنی بر کاهش تحریک پذیری نوروماسکولار متعاقب اعمال vibration سگمنتال در کف پا افراد سالم مطابقت دارد (۲۵). همچنین این نتایج با نتایج Iles، که اقدام به تحریک انتخابی اعصاب پلانتر همان طرف و مشاهده افزایش مهار پیش سیناپسی گردید مطابقت دارد؛ در حالیکه تحریک ناحیه پشتی پا همان طرف موجب کاهش مهار پیش سیناپسی گردید (۱۷)، در نتیجه، نتایج تحقیق حاضر نشان دهنده کاهش تحریک پذیری موتورنورون‌ها متعاقب تحریک مکانیکی فشاری می‌باشد. بعلاوه، wood نیز در زمان اعمال brushing روی عضله سولئوس، کاهش تحریک پذیری موتورنورون‌ها را گزارش نمود در حالیکه پس از قطع تحریک، میزان تحریک پذیری نورون حرکتی به مقدار اولیه باز گشت. (۱۶). تاثیر مهاری ماساژ عضله سولئوس بر روی رفلکس H توسط Morelli و Chapman نیز گزارش شده است. (۲۶) با مقایسه نتایج تحقیق حاضر و نتایج فوق می‌توان به نقش مهاری تحریکات مکانیکی بر تحریک پذیری نورونهای حرکتی پی برد. مشاهده استمرار اثر مهاری (علیرغم استفاده از بی حس کننده‌های موضعی و حذف آوران‌های پوستی) در

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که متعاقب تحریک مکانیکی عصب پلانتر خارجی، دامنه رفلکس H کاهش معناداری را در هر دو سمت پیدا کرد؛ بعلاوه زمان تأخیری این رفلکس نیز افزایش معناداری را در هر دو سمت نشان داد.

استفاده از تکنیک‌های تحریک جلدی برای تاثیر گذاری بر تحریک پذیری موتورنورون‌ها و در نتیجه در درمان اختلالات تون عضلانی در ضایعات نخاعی به دلیل تأثیرات مهاری و طولانی مدت آن بوده است. (۱۵) نتایج تحقیق حاضر نشان دهنده تاثیر مهاری اعمال Load به ناحیه خارجی کف پا میباشد که با نتایج مطالعات بدست آمده توسط ۲۰۰۳ Hiroaka و ۲۰۰۱ knikou و Conway و ۱۹۹۵ Conway مطابقت دارد. (۶،۱۱،۱۲) با مقایسه نتایج تحقیق حاضر و مطالعه Fung و Barbeau می‌توان احتمالاً به نقش تحریکات اعمالی در کاهش تحریک پذیری نورونهای حرکتی در افراد سالم و ضایعات نخاعی پی برد. نتایج مشابه تحقیق حاضر با نتایج Fung و Barbeau کارایی احتمالی اثرات تحریکات پوستی در اختلالات تونیسیتیه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تغییرات درصد زمان تأخیری رفلکس H در طول تحریک مکانیکی جلدی به ناحیه خارجی کف پای همان سمت و سمت مقابل در زمانهای T₀، T₅، T₁₀، T_{DIS}، T_F.

شکل ۲- درصد تغییرات دامنه رفلکس H در طول تحریک مکانیکی جلدی به ناحیه خارجی کف پای همان سمت و سمت مقابل در زمانهای T₀، T₅، T₁₀، T_{DIS}، T_F.

جدول ۳- شاخص‌های درصد تغییرات دامنه و زمان تأخیری رفلکس H در مقایسه با زمان قبل از اعمال تحریکات مکانیکی جلدی خارجی

T_F	T_{DIS}	T_{10}	T_5				
۶۰/۶۰	۵۳/۴۰	۴۵/۱۴	۲۵/۲۶	میانگین	دامنه (mv)	پای همان سمت	تحریرات مکانیکی جلدی اعمال شده به ناحیه خارجی کف پا
۲۶/۶۲	۲۳/۵۵	۲۲/۸۶	۲۲/۲۴	انحراف معیار	زمان تأخیری (ms)		
-۶/۰۶	-۵/۲۱	-۴/۰۰	-۱/۴۲	میانگین	دامنه (mv)	پای سمت مقابل	
۴/۴۹	۳/۴۴	۳/۷۴	۳/۷۷	انحراف معیار	زمان تأخیری (ms)		
۴۹/۳۲	۴۴/۱۸	۲۰/۰۸	۱۰/۳۸	میانگین	دامنه (mv)		
۲۸/۳۳	۲۹/۶۲	۲۶/۴۱	۲۰/۴۸	انحراف معیار	زمان تأخیری (ms)		
-۴/۸۳	-۴/۳۳	-۲/۶۷	-۱/۵۶	میانگین	دامنه (mv)		
۳/۱۱	۲/۴۳	۲/۱۴	۱/۵۶	انحراف معیار	زمان تأخیری (ms)		

شده مفید واقع شود. در رابطه با مکانیزمهای موثر در این پدیده می‌توان چنین اظهار نمود که کاهش تحریک پذیری می‌تواند توسط فیبرهای عصبی آوران عصب پلانتر خارجی (شاخه عصب تی بیال) منتقل شود. زیرا که این عصب، حس ناحیه خارجی کف پا را عصب دهی می‌کند. در مطالعات نوروفیزیولوژیک چنین گزارش شده است که تحریک الکتریکی عصب تی بیال در مچ پا موجب مهار تحریک پذیری عضله سولئوس با زمان تأخیری معادل ۵۰ msec و یا شروع در ۴۵-۵۰ msec در حالت ایستاده می‌نماید (۲۱).

مشارکت دو نوع گیرنده ممکن است در این رابطه موثر باشد. گیرنده‌های پروپریوسپتو در عضلات اینترنسیک و گیرنده‌های پوستی در کف پا. اعمال فشار توسط صفحه در مطالعه حاضر، موجب تحریک سطوح کف پا به صورت تونیک می‌گردد و بنابراین می‌تواند موجب افزایش دشارژهای آوران پوستی و کاهش تحریک پذیری مسیرهای پیش سیناپسی گردند (۲۱). در حالیکه در تحقیق حاضر تقویت مهار پیش سیناپسی ملاحظه شده است که با توجه به توضیحات قبل علت آن نمی‌تواند فعالیت آورانهای پوستی از طریق مهار پیش سیناپسی باشد (۲۱، ۶) و گروه دیگری از رسپتورها باید این مهار را ایجاد کرده باشند. همانطور که ذکر شد گیرنده‌های پروپریوسپتو نیز با اعمال فشار توسط صفحه تحریک می‌شوند. به نظر می‌آید که فعال شدن مکانورسپتورهای دوک‌های عضلانی در عضلات اینترنسیک متصل به متاتارسالها موجب این مهار باشند. این تفسیر در تطبیق با یافته‌های Gillies et. al می‌باشد که برای مشخص کردن نقش گیرنده‌های پوستی، پوست ناحیه ورود اعمال تحریک و ویراسیون را از بافت زیرین جدا نمودند (حذف

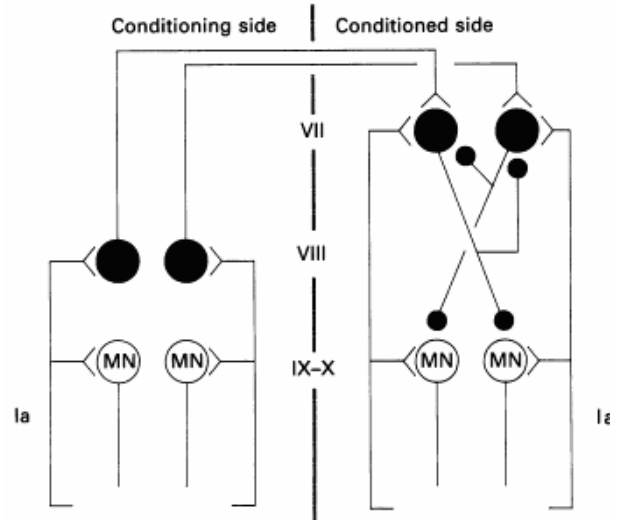
حالیکه تحریکات مکانیکی هنوز ادامه داشت دلیل دیگری بر نقش مکانورسپتورهای می‌باشد که با نتایج بدست آمده مطابقت دارد (۱۲ و ۱۷).

نتایج حاضر با نتایج Delwaide و Cheng و Brooke, Bergego که مهار موتورنورون‌های طرف دیگر را بدنال تحریکات همان طرف و طرف مقابل عصب سورال در شدت‌های مختلف را نشان دادند مطابقت دارد. (۱۰، ۱۹، ۲۷).

فشار اعمال شده به کف پا می‌تواند انواع گیرنده‌های مکانیکی پوستی را تحریک کند که موجب واکنش‌های ترکیبی و گسترده می‌گردد. همچنین قابل توجه است که تحریک توسط brushing موضعی به پوست روی عضله سولئوس نیز موجب کاهش در تحریک پذیری رفلکس هافمن می‌گردد این اثر بویژه در زمان اعمال تحریکات مکانیکی دوام داشته و پس از قطع تحریکات نیز ادامه داشته است. چنین پیشنهاد می‌شود که این مهار در نتیجه تحریک مستقیم گیرنده‌های مکانیکی توسط اعمال فشار می‌باشد. در این رابطه می‌توان گفت که گیرنده‌های مکانیکی تحت جلدی با قابلیت تطابق آهسته مهار رفلکس H عضله سولئوس را انتقال می‌دهند. (۱۶ و ۲۶) در مطالعه حاضر، فشار تونیک وارد بر سطح خارجی کف پا، موجب مهار رفلکس H عضله سولئوس می‌گردد. یافته فوق گواهی بر این نظریه است که فیدبک ناشی از گیرنده‌های حساس به load ممکن است نقش مهمی در در ارتباط با تنظیم تون عضلانی انسان داشته باشد. تحریک کافی این آورانها نه تنها در ارتباط با آموزش‌های حرکتی در افراد ضایعه نخاعی مفید است، بلکه می‌تواند در درمان hypertonicity رفلکسی ایجاد

گرفته از موتورنورون‌های اکستانسوری و فلکسوری می‌شوند که در گریه‌های بدون آسیب نخاعی مشاهده شد. (۱،۱۲)، آنها چنین یافتند که قطع ستون پشتی در سطح L5 موجب کاهش مهار گروه II ثبت شده از موتورنورون‌ها می‌گردد. این واقعیت که اینترنورونهای میانی لومبار موجب انتقال این مهار متقابل می‌گردند و می‌توانند رفلکس‌های سمت مقابل را همچون رفلکس‌های همان سمت انتقال دهند (۱،۱۲) و همچنین این امر که حداقل زمان تأخیری IPSPها با IPSPهای برانگیخته شده توسط آورانه‌های گروه II همان سمت قابل مقایسه می‌باشد، این معنی را می‌دهند که یک مسیر دوسیناپسی وجود دارد و بیان می‌کند که اینترنورونهای لامینا ۸ بایستی مسئول باشند. از آنجا که تنها اینترنورون‌هایی هستند که توانایی انتقال چنین عملکرد دوسیناپسی را در موتورنورون‌ها دارند. شواهدی قوی وجود دارد که آوران‌های دوک عضلانی در تحریک نورونهای میانی لومبار مشارکت دارند و این احتمال وجود دارد که در عملکرد متقابل در این مطالعه نقش داشته باشند. (۱،۱۲).

مکانیزم‌های مهار نورونهای حرکتی می‌تواند متعاقب تحریک فیبرهای آوران عصب پلاتتار خارجی (شاخه عصب تی بیال) ایجاد شود. به نظر می‌آید که فعال شدن مکانورسپتورهای دوک‌های عضلانی در عضلات اینترینسیک متصل به متاتارسال‌ها موجب این مهار باشند. اعمال تحریک مکانیکی فشاری جلدی به ناحیه خارجی کف پا می‌تواند عامل مهمی در ایجاد مهار رفلکس H عضله سولئوس باشد. گرچه مطالعات مستقیمی (انسان) در مورد بررسی نحوه ایجاد این مهار و مسیرهای عصبی دخیل در ایجاد این مهار وجود ندارد ولی بنظر می‌رسد بطور کلی پدیده مهار پیش سیناپسی ناشی از گیرنده‌های عمقی عضلانی و یا سایر مسیرهای مهار (بغیر از مهار پیش سیناپسی) ناشی از تحریک گیرنده‌های پوستی می‌تواند نقشی در ایجاد این مهار داشته باشد. به هر حال تأثیرات مهار تحریکات مکانیکی فشاری در کاهش اسپاستیسیتی به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. افراد مورد مطالعه در این مطالعه از لحاظ نورولوژیک سالم بودند. اثرات مهار مشاهده شده ممکن است در افراد با ضایعات نورولوژیک متفاوت باشد. اهمیت این مشاهدات بویژه برای افراد دارای اختلالات تونیسیتیته مخصوصا در افراد ضایعات نخاعی و افراد سکتة مغزی اهمیت دارد. بیان این



گیرنده‌های پوستی) و مشاهده نمودند که اعمال ویراسیون به فلپ پوستی جدا شده سبب کاهش و مهار رفلکس‌های تک سیناپسی نمی‌شود (۱۵). اما ویراسیون تاندون فاقد پوست تا زمانیکه عصب مربوطه به عضله سالم است سبب مهار این رفلکس‌ها می‌گردد. با وجود این احتمال فعالیت گیرنده‌های تاندونی نیز در این رابطه وجود دارد ولی با توجه به دامنه ویراسیون مورد استفاده به نظر می‌رسد که نقش اصلی در مهار رفلکسی را گیرنده‌های دوک‌های عضلانی بر عهده دارند (۱۲،۱۵).

شکل فوق یک احتمال از مکانیسم سیستم نخاعی در بیان اثرات سمت مقابل با فرض وجود اینترنورون تحریکی در انتقال اثرات Ia از سمت تحریک به سمت مقابل تحریک می‌باشد. در سمت تحریک، تحریک عصب موجب فعال شدن اینترنورونهای موجود در لامیناهای ۷ و ۸ که از خط میانی عبور می‌کنند و اینترنورونهای مهار Iα را در سمت مقابل فعال می‌نمایند. فیبرهای آوران مسئول این اثرات به احتمال بسیار زیاد آورانه‌های عضلانی Iα می‌باشند، نه آوران‌های پوستی.

مکانیسم احتمالی دیگر در روشن ساختن مسیر درون نخاعی انتقال دهنده به سمت مقابل توسط اینترنورونهای لامینا ۸ در سگمنت‌های میانی لومبار می‌باشد. اکثر اینترنورونهای ردیف آخر premotor ارتباطاتی با نورونهای همان طرف دارند و لیکن بعضی از این اینترنورونها بر روی موتورنورون‌های سمت مقابل فرود می‌آیند. همه اینترنورونهای ردیف آخر که به سمت مقابل می‌روند، در لامینا ۸ واقع شده‌اند (۲۷،۱۸) و یک گروه از آنها نیز در سگمنت‌های midlumbar می‌باشد (۲۸).

بعلاوه شواهدی وجود دارد که اینترنورونهای لامینا ۸ در سگمنت میانی لومبار، موجب انتقال مهار متقابل گروه II منشأ

جدول ۴- شاخص‌های نسبت Hmax/Mmax (علامت * نشان دهنده معنادر بودن است)

مقدار P	d/f	فاصله اطمینان ۹۵٪ برای تفاضل دو حالت			میانگین اختلاف		
		حداکثر	حداقل				
*./۰۰۰	۱۵	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۱۸	T5 تا T0	همان سمت	اعمال تحریک مکانیکی جلدی به ناحیه خارجی کف پا
*./۰۰۰	۱۵	۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۳۴	T10 تا T0		
*./۰۰۰	۱۵	۰/۴۸	۰/۳۱	۰/۳۹	TDIS تا T0		
*./۰۰۰	۱۵	۰/۵۴	۰/۳۳	۰/۴۴	TF تا T0		
*./۰۰۰	۱۵	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۱۶	T10 تا T5		
۰/۱۳۸	۱۵	۰/۱۲	-۰/۰۱۸	۰/۰۵	TDIS تا T10		
۰/۳۷۷	۱۵	۰/۱۴	-۰/۰۵	۰/۰۴۴	TF تا TDIS		
۰/۳۶	۱۵	۰/۱۵	-۰/۰۶	۰/۰۴	T5 تا T0		
*./۰۰۲	۱۵	۰/۲۱	۰/۰۱۹	۰/۱۱	T10 تا T0		
*./۰۰۲	۱۵	۰/۳۷	۰/۱۰	۰/۲۳	TDIS تا T0		
*./۰۰۰	۱۵	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۲۷	TF تا T0	سمت مقابل	
*./۰۴۲	۱۵	۰/۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۷	T10 تا T5		
*./۰۰۲	۱۵	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۱۲	TDIS تا T10		
۰/۴۷۸	۱۵	۰/۱۵	-۰/۰۷۶	۰/۰۳	TF تا TDIS		

منابع

- [1] Aniss AM, Gandevia SC, Burke D, Reflex responses elicited by stimulation of low-threshold afferents from the human foot. *J Neurophysiol* 67(5) (1992) 1375-84.
- [2] Bergego C, Pierrot-Deseilligny E, Mazieres L, Facilitation of transmission in Ib pathways by cutaneous afferents from the contralateral foot sole in man. *Neurosci Lett* 27 (3) (1981) 297-301.
- [3] Cheng J, Brooke JD, Misiaszek JE, Staines WR, Crossed inhibition of the soleus H reflex during passive pedaling movement. *Brain Res* 779 (1-2) (1998) 280-4.
- [4] Conway BA, knikou M, Modulation of soleus H-reflex following ipsilateral mechanical loading of the sole of the foot in normal and complete spinal cord injured humans. *Neurosci Lett* 303 (2) (2001) 107-10.
- [5] Conway BA, Scott DT, Riddell JS, Hadian MR, Effects of plantar nerve stimulation on the transmission of late flexion reflexes in the decerebrate spinal cat. *J Physiol* ??? (1994) 779-145.
- [6] Delwaide PJ, Crenna P, Fleron MH, Cutaneous nerve stimulation and motoneuronal excitability: I, soleus and tibialis anterior excitability after ipsilateral and contralateral sural nerve inhibition. *J Neurol Neurosur Ps* 44 (8) (1981) 699 – 707.
- [7] Gagnon DE, M. Ed., PT (Physiotherapist), Biddeford, Maine, USA. *Tone versus strength*, 1999.

مطلب از اهمیت خاصی برخوردار است، به این دلیل که می‌تواند کاربرد اساسی و حیاتی در استفاده درمانی مناسب از این تکنیک در درمان‌های عملی باشد. به هر حال تأثیرات مهارى تحریکات مکانیکی فشاری در کاهش اسپاستیسیته به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. چنانچه بتوان فرض فوق را پذیرفت طراحی کفی‌ها برای اعمال فشار به سطوح داخلی و بخصوص خارجی کف پا ممکن است برای کاهش اسپاستیسیته مفید باشد. سایر موارد ناشی از اختلالات تون عضلانی از قبیل افزایش تونیسیتة عضلانی، اختلالات حرکتی، عدم مهار رفلکس‌های تک سیناپسی از بین رفتن مهارت و ظرفیت حرکتی، کاهش قدرت عضلانی و در نهایت تغییرات ثانویه در سیستم حرکتی (از قبیل دفورمیتی‌های مفصلی) نیز می‌تواند با اعمال نیرو مناسب در مناطق مشخص کنترل و درمان گردد.

تشکر و قدردانی

انجام این پروژه با استفاده از بودجه تحقیقاتی دانشگاه علوم پزشکی تهران میسر گردید. نویسندگان بدین وسیله مراتب قدردانی خود را از دانشگاه ع. پ. تهران اعلام می‌دارند.

- human lower limb. *J Physiol* 491 (Pt1) (1996) 197-207.
- [19] Joodaki MR, Olyaei GR, Bagheri H, The effects of electrical nerve stimulation of the lower extremity on H-reflex and F-wave parameters. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 41(1) (2001) 23-8.
- [20] Kimura J, editor. *Electrodiagnosis in diseases of nerve & muscles, Principle & Practice*. 2nd ed. FA Davis Company, 1989, p. 356-368.
- [21] Mikko J, French AS, The Efficiency of sensory information coding by mechanoreceptor neurons. *Neuron* 18 (1997) 959-968.
- [22] Morelli M, Chapman CE, Sullivan SJ, Do cutaneous receptors contribute to the changes in the amplitude of the H-reflex during massage? *Electromyogr Clin Neurophysiol* 39 (7) (1999) 441-7.
- [23] Nordlund MM, Thorstensson AA, Cresswell G, Conditioning Ia-afferent stimulation reduces the soleus Hoffman reflex in humans when muscle spindles are assumed to be inactive. *Neurosci Lett* 366 (2004) 250-253.
- [24] Nurse MA, Nigg BM, Strfanyshyn DJ, Liu W, Miller JE, Differences in the sensation of the plantar surface of the human foot. *Abstract of North American Congress on Biomechanics* 1998 Aug. 14-18, Canada.
- [25] Paul M, Kennedy J, Inglis T, Distribution and behavior of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole. *J Physiol* 538 (3) (2002) 995-1002.
- [26] Pyndt HS, Nielsen JB, Modulation of transmission in the corticospinal and group Ia afferent pathways to soleus motoneurons during bicycling. *J Neurophysiol* 89 (2003) 304-314.
- [27] Sheldon O, Zisook A, Muscle Tone. *Cerebral Palsy* 140(1) (2002) 21-23.
- [28] Wood L, The effects of skin brushing on H reflex amplitude in normal human subjects. *Exp Physiol* 83 (1998) 175-183.
- [8] Duysens J, Clarac F, Cruse H, Load-Regulating mechanisms in Gait & Posture. *Physiol Rev* 80 (1) (2000) 83-133.
- [9] Pirrot E, Mazevet DD, The monosynaptic reflex: a tool to investigate motor control in humans. Interests and limits. *Neurophysiol Clin* 30 (2000) 67-80.
- [10] Fung J, Barbeau H, Effects of conditioning cutaneous stimulation on the H-reflex in normal and spastic paretic subjects during walking and standing. *J Neurophysiol* 72 (5) (1994) 2090-104.
- [11] Gillies JD, Lance JW, Neilson PD, Tassinari CA, Presynaptic inhibition of the monosynaptic reflex by vibration. *J Physiol* 205 (2) (1969) 329-39.
- [12] Goulet C, Arsenault AB, Levin MF, Bourbonnais D, Lepage Y, Absence of consistent effects of repetitive transcutaneous electrical stimulation on soleus H-reflex in normal subjects. *Arch Phys Med Rehab* 75 (10) (1994) 1132-6.
- [13] Hayashi R, Tako K, Tokuda T, Yanagisawa N, Comparison of amplitude of human soleus H-reflex during sitting and standing. *Neurosci Res* 13 (3) (1992) 227-33.
- [14] Hebert J, Boucher JP, Effect of manual segmental vibration on neuromuscular excitability. *J Manip Physiol Ther* 21 (8) (1998) 528-33.
- [15] Hiraoka K, Neural mechanisms underlying the effect of transcutaneous electrical nerve stimulation in humans. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 42 (6) (2002) 359-66.
- [16] Hiraoka K, Placement of a plate under the forefoot in stance: decreasing the excitability of the soleus motoneuron pool. *Am J Phys Med Rehab* 82 (11) (2003) 837-41.
- [17] Hwang IS, Assessment of soleus motoneuronal excitability using the joint angle dependent H-reflex in humans. *J Electromyogr Kinesiol* 12 (5) (2002) 361-6.
- [18] Iles JF, Evidence for cutaneous and corticospinal modulation of presynaptic inhibition of Ia afferents from the