

ارزیابی اطلاعاتی پاسخ‌های رفلکس H واحدهای حرکتی عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس به زوج تحریکات متوالی

علیرضا سرمدی^{۱*}، سید محمد فیروزآبادی^۲، گیتی ترکمان^۳، یعقوب فتح الهی^۴

۱- دانشجوی دکتری فیزیوتراپی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه فیزیکی پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار گروه فیزیوتراپی، دانشگاه تربیت مدرس

۴- دانشیار گروه فیزیولوژی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

هدف: این مطالعه به بررسی پاسخ عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس به تحریکات زوج متوالی پرداخته و محتوای اطلاعاتی رفلکس H عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس را بررسی کرده است.

مواد و روشها: چهار مرد سالم غیر ورزشکار ۲۰ تا ۲۶ ساله بررسی شده که این افراد از بین نمونه‌های در دسترس و به صورت تصادفی انتخاب شدند. از آنجا که برای ثبت رفلکس H عضله گاستروکنمیوس نقطه‌ای مطلوب - که بر اساس دلایل علمی انتخاب شده باشد - وجود نداشت. پس از بررسیهای آناتومیک، نقطه مطلوب و نحوه الکتروگذاری مناسب برای این عضله مشخص شد. سپس دو عضله سولئوس و گاستروکنمیوس تحت تأثیر تحریکات زوج متوالی قرار گرفته و منحنی ریکاوری رفلکس H آنها ثبت شد. برای ثبت منحنی ریکاوری، ۱۱ زوج تحریک به عضله اعمال شد که فاصله زمانی زوج تحریکات از ۵۰ms شروع شده و در هر تحریک، ۲۰ms افزایش می یافت تا به ۲۵۰ms می‌رسید. نسبت دامنه قله به قله رفلکس H ایجاد شده از تحریک دوم به دامنه قله به قله رفلکس H ایجاد شده از تحریک اول محاسبه و به درصد بیان شد. منحنی ریکاوری دامنه رفلکس H، براساس مقادیر به دست آمده برای هر زوج ترسیم شد.

نتایج و بحث: وقتی فاصله زوج تحریکات کمتر از ۱۱۰ ms بود رفتار منحنی ریکاوری دو عضله شبیه به هم می شد. می توان گفت در این مرحله دو عضله تحت تأثیر مهار سلولهای رنشاو و خستگی ناشی از تحریک اول هستند. وقتی فاصله زوج تحریکات از ۱۱۰ms بیشتر شود عضله سولئوس به میزان قابل توجهی بیشتر از عضله گاستروکنمیوس ریکاوری می شود. این امر را می توان به خستگی ناپذیری بیشتر در موتور نرونهای عضله سولئوس و کمتر بودن تأثیر رنشاو بر آنها دانست. وقتی فاصله زوج تحریکات از ۱۷۰ ms بیشتر شود رفتار دو عضله مجدداً شبیه یکدیگر می شود. این مسأله می تواند به علت رهایی دو عضله از مهار رنشاو و خستگی ناشی از تحریک اول باشد.

نتیجه گیری: هر چند به علل فیزیولوژیک، هنگام برانگیختن رفلکس H بیشتر، فیبرهای کند انقباض^۱ فعال می‌شوند؛ اما مقایسه رفتار منحنی ریکاوری عضله سولئوس و عضله گاستروکنمیوس نشان می‌دهد رفلکس H حاوی اطلاعات مربوط به فیبرهای نوع دوم^۲ نیز می باشد.

1. Slow twitch

E-mail: sarmadi_alireza@yahoo.com

* نشانی مکاتبه: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده پزشکی، گروه فیزیوتراپی

2. Fast

کلید واژگان: رفلکس H، تحریکات زوج متوالی، گاستروکنمیوس، موتورنرون

۱- مقدمه

اگر عاملی ویژگیهای قسمت ابتدایی منحنی را تحت تأثیر قرار دهد بر موتور نرونهای نوع اول اثر گذاشته و اگر قسمتهای نزدیک به قله را تحت تأثیر قرار دهد موتورنرونهای نوع دوم را متأثر کرده است [۴،۳]. مطالعات گذشته با استفاده از منحنی فراخوانی رفلکس H، به بحث پیرامون نحوه تغییر فعالیت موتورنرونهای نوع اول و نوع دوم پرداخته اند [۵]. در این مطالعه سعی شده با استفاده از منحنی ریکاوری رفلکس H محتوای اطلاعاتی رفلکس H بررسی شود؛ چون تحریکات زوج متوالی موتورنرونها را وادار به پاسخهای متوالی کرده و توان پاسخ دهی متوالی موتورنرونها به طور مستقیم با خصوصیات موتورنرونها بستگی دارد بنابراین به نظر می رسد با این روش بهتر بتوان نحوه عملکرد موتورنرونهای کند انقباض و نوع دوم را از یکدیگر متمایز کرد.

علاوه بر خصوصیات ذاتی موتورنرون، ارتباط آن با سایر مدارهای نخاع نیز می تواند در پاسخ گویی نرون به تحریک دوم مؤثر باشد. مهار پیش سیناپسی، پس سیناپسی و مهار پس از فعالیت در موتورنرونها عامل تأثیر گذار در آنهاست. نسبت دامنه پاسخ اول به پاسخ دوم نشان دهنده ریکاوری موتورنرونهاست و در مطالعات متعددی از آن به عنوان یک روش ارزیابی کارکرد موتورنرون استفاده شده است.

کرایتون^۶ منحنی ریکاوری رفلکس Hmax (رفلکس H با حداکثر دامنه قابل ثبت) سولتوس را در افراد سالم بررسی کرد. هدف او مشخص کردن رفتار نوسانی رفلکس H در منحنی ریکاوری بود. تحریکات دوتایی مساوی در فاصله های ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ میلی ثانیه به عصب تیپال خلفی اعمال شد و نسبت درصد $\frac{H2}{H1}$ تعیین و منحنی ریکاوری برای هر فرد رسم شد. بررسیها نشان داد منحنیها را می توان در سه گروه طبقه بندی کرد. گروه اول، منحنیهایی با خصوصیات سینوزوئیدی که با یک یا چند دوره از قله های تسهیل مشخص می شوند. گروه دوم،

هنگام بر انگیختن رفلکس H^۱ موتورنرونهای عضله مانند انقباض ارادی و بر اساس اصل اندازه وارد عمل می شوند. بنابراین بیشتر، موتورنرونهای نوع اول^۲ فعال می شوند. چنانچه برای فعال کردن موتورنرونهای نوع دوم^۳، شدت تحریک را زیادکنیم، فیبرهای محیطی قطور واحدهای حرکتی نوع دوم نیز تحریک شده و عواملی مانند تصادم جریانهای عصبی، تحریک ناپذیری تپه آکسونی و مهار سلولهای رنشاو باعث حذف پتانسیل مربوط به موتورنرونهای نوع دوم می شود. اما آیا در رفلکس H اطلاعاتی در مورد موتورنرونهای نوع دوم وجود ندارد؟ به بیان دیگر آیا محتوای اطلاعاتی رفلکس H یک عضله کند انقباض و یک عضله تند انقباض مشابه است؟

در مطالعات انجام شده به وسیله سایر محققین نیز تأثیر موتورنرونهای نوع دوم در رفلکس H مورد بحث قرار گرفته است. برای مثال گولت^۴ و همکاران در مطالعاتی که در مورد اثر TENS^۵ بر رفلکس H عضلات سولتوس انجام دادند تغییر ویژگیهای رفلکس H را ناشی از تغییر تحریک پذیری موتورنرونهای نوع اول، نوع دوم و بیشتر شدن بسیج موتورنرونهای نوع دوم می دانند [۱].

چاپمن و همکاران نیز تغییر شیب منحنی فراخوانی رفلکس H را که در اثر تغییر وضعیت مفصل هیپ به وجود می آید ناشی از تغییر در ترتیب وارد شدن موتورنرونهای نوع اول و نوع دوم در ایجاد رفلکس H می دانند [۲].

در مطالعاتی که از ویژگیهای منحنی فراخوانی رفلکس H استفاده شده است، قسمت ابتدایی منحنی، نشانگر وضعیت موتورنرونهای نوع اول بوده و قسمتهای نزدیک به قله آن با فعالیت موتورنرونهای نوع دوم در ارتباط است.

1. Hoffman Reflex
2. Small motoneurons (Slow twitch)
3. Large motoneurons (Fast twitch)
4. Goulet
5. Trans Cutaneous Electrical Nerve Stimulation

6. Crayton

داشته باشند و اندازهٔ رفلکس H افزایش یابد میزان ریکاوری افزایش خواهد یافت. مقایسهٔ میزان ریکاوری و اندازهٔ رفلکس H بر حسب درصدی از M_{max} تفاوت معناداری میان افراد سالم و اسپاستیک نشان نداد. در انتها آنها نتیجه گرفتند؛ تحریک دوتایی، روش مناسبی برای ارزیابی افزایش تحریک پذیری موتور نوروهای نخاعی در اسپاستی سیتی نیست [۸].

در سال ۲۰۰۲ ساباهی و همکاران تحقیقی انجام دادند که هدف از آن مقایسهٔ متدهای مختلف برای اندازه گیری تحریک پذیری موتورنورون در بیماران پارکینسونی بود. بدین منظور، رفلکس H ۱۶ بیمار پارکینسونی که در مراحل اولیهٔ بیماری بودند با رفلکس H در ۳۰ فرد سالم مقایسه شد. متدهای اندازه گیری شامل زمان تأخیر رفلکس H ، دامنهٔ H_{max}/M_{max} و مقدار نسبی دامنهٔ رفلکس H در حین ویریشن در مقایسه با دامنهٔ رفلکس H کنترل، و منحنی ریکاوری رفلکس H با تحریکات دوتایی با شدت H_{max} و فاصلهٔ بین تحریکی متفاوت از ۵۰۰-۱۰۰۰ میلی ثانیه بود. در این تحقیق نسبت دامنهٔ H_1 و H_2 منحنی ریکاوری رفلکس H در بیماران پارکینسونی به طور قابل توجهی در فاصلهٔ ۱۵۰-۷۰۰ ms بزرگتر از افراد گروه کنترل بود. با توجه به نتایج، چنین استنباط شد که منحنی ریکاوری رفلکس H یک متد حساس برای کشف مراحل اولیهٔ بیماری پارکینسون می باشد [۹].

صباحی و همکاران در سال ۲۰۰۲، ویژگیهای رفلکس H را در شرایط مختلف بیماری (ET) °، مراحل اولیهٔ بیماری پارکینسون و ET ترکیب شده با بیماری پارکینسون بررسی کردند. زمان تأخیر رفلکس H ، نسبت دامنهٔ H_{max}/M_{max} ، و منحنی ریکاوری رفلکس H (در فاصلهٔ ۵۰-۱۰۰۰ ms و با شدت برانگیختن حداکثر رفلکس H بهمراه حداقل پاسخ M) مورد بررسی و مقایسه بین گروهها قرار گرفت. هیچ تفاوت معنی دار آماری یا کلینیکی بین گروههای بیمار و گروه کنترل در زمان تأخیر رفلکس H و دامنهٔ H_{max}/M_{max} یافت نشد. اما مقادیر H_1 و H_2 به طور قابل توجهی در فاصلهٔ ۲۰۰-۳۰۰ ms بزرگتر از همهٔ گروهها بود، ولی در فاصلهٔ ۳۵۰-۱۰۰۰ میلی ثانیه تفاوتی بین بیماران پارکینسونی و ترکیب ET و پارکینسون وجود

خصوصیات خطی و یا نمایی دارند که در آن منحنی ریکاوری به طور یکنواختی افزایش می یابد. منحنی هایی با خصوصیات نامعین، که به هیچیک از دو گروه شباهت ندارند [۱۶]. ساباهی^۱ و همکاران رفلکس H را در ۱۲۰ موتورنورون سولئوس با استفاده از Single Fiber EMG ثبت کردند. ریکاوری این موتورنورونها در حین ثبتهای سطحی رفلکس H بررسی شد. نتایج نشان داد یک سری از موتور- نوروها، سطح آستانه ای بالایی برای تحریک الکتریکی، زمان ریکاوری و ریکاوری زمان آتش موتورنورونهای^۲ کوتاه دارند. این گروه که type A نام گرفت، رفتاری مشابه خصوصیات موتورنورونهای نوع اول داشتند. گروه دوم از موتورنورونها سطح آستانه ای پایینی برای تحریک، و زمان ریکاوری طولانی داشتند که type B نام گرفتند و رفتاری مشابه خصوصیات موتورنورونهای نوع دوم از خود نشان دادند [۷].

کاگامیهارا^۳ و همکاران نیز در سال ۱۹۹۸ منحنی ریکاوری رفلکس H را در افراد سالم و بیماران اسپاستیک بررسی کردند. دو هدف عمده در این مطالعه دنبال شد. اولاً بررسی اثر مکانیکی^۴ رفلکس H بر روی پاسخ دوم. ثانیاً بررسی اثر تغییر اندازهٔ رفلکس H بر روی تحریک پذیری موتور نوروهای عضلهٔ سولئوس. به منظور بررسی اثر مکانیکی رفلکس H بر منحنی ریکاوری رفلکس H ، مفصل مچ پا در دو وضعیت ثابت و دامنهٔ حرکتی آزاد قرار گرفت. زوج تحریکات با فاصلهٔ زمانی ms ۱۰-۸۰ بر عصب تیپال وارد شد. فاصلهٔ زمانی یک زوج تحریک تا زوج تحریک بعدی ۵ s بود. فاصلهٔ زمانی هر زوج تحریک ms ۸۰ در نظر گرفته شد؛ سپس میزان ریکاوری و اندازهٔ رفلکس H بر حسب درصدی از M_{max} (موج M) با بیشترین دامنه قابل ثبت) بیان شد. آنها با توجه به یافته های حاصل از تحقیق، نتیجه گرفتند تسهیل و مهار ویژه در شرایط آزاد مفصل مچ پا، ثانویه به ایمپالسهای Ia است که به علت کشش عضلهٔ اکستانسور مچ پا در حالت استراحت بوجود آمده است. در ضمن، آنها دریافتند وقتی H_1 و H_2 اندازه یکسانی

1. Sabbahi
2. Recovery firing time
3. Kagamihara
4. Conditioning

این مطالعات به جهت فیبرهای عضله توجه شده [۱۳] اما به‌طور کلی به نکات کافی برای انتخاب محل ثبت و نحوه الکترود -گذاری، توجه نشده است. به همین علت برای انجام مطالعه مورد نظر باید ابتدا نقاط مناسبی برای ثبت از عضله گاستروکنمیوس پیدا کرد. برای انتخاب نقطه مناسب، عواملی مانند محل منطقه عصب‌گیری، تعداد مناطق عصب‌گیری و معماری عضله باید مورد توجه قرار گیرد. در نظر نگرفتن هر یک از این عوامل می‌تواند بر سیگنال ثبت شده اثر بگذارد. برای مثال چنانچه الکترودها در طرفین منطقه عصب‌گیری عضله واقع شوند، دامنه سیگنال ثبت شده کاهش می‌یابد یا سیگنال به طور کلی محو می‌شود. نحوه قرارگیری الکترودها نسبت به منطقه عصب‌گیری می‌تواند به تغییر فازهای موج ثبت شده منجر شود. موازی قرارگرفتن الکترودها با مسیر فیبرهای عضله باعث قرینه شدن شکل موج ثبت شده و دست یافتن به حداکثر دامنه ممکن می‌گردد. فاصله الکترودها میدان دید آنها را تعیین می‌کند و می‌توان با محدود کردن میدان دید الکترودها، پتانسیلهای محدوده خاصی را ثبت کرد [۱۴].

علاوه بر مواردی که ذکر شد، موج ثبت شده باید خصوصیتی داشته باشد تا بتوان از آن برای بررسی تغییرات سیستم عصبی-عضلانی سود جست. در مورد عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس بهتر است موج M ثبت شده از این عضلات ۲ یا حداکثر ۳ فازی باشد و با افزایش شدت تحریک دچار پلی فازی نشود. رفلکس H نیز باید تا حد ممکن شبیه موج M باشد و در اثر افزایش شدت تحریک دچار پلی فازی نشود.

۲-۱- تعیین نقطه مناسب برای ثبت رفلکس H عضله گاستروکنمیوس

برای تعیین نقطه مناسب برای ثبت رفلکس H عضله گاستروکنمیوس نیمه فوقانی ساق به مربعهای ۳×۳ سانتی متر تقسیم شد. برای این کار ابتدا خطی رسم شد که پشت ساق را به دو قسمت تقریباً مساوی داخلی و خارجی تقسیم می‌کرد. در ادامه، چند خط موازی با این خط و به فاصله ۳ C از یکدیگر و در طرفین خط وسط ساق رسم شد سپس خطوطی موازی با

نداشت. بیماریهای ET، پارکینسون و بیماری ترکیب ET با پارکینسون، پاتولوژیهای متفاوتی دارند و تستهای منحنی ریکاوری رفلکس H، بیماران ET را از افراد نرمال تشخیص نداد اما به‌طور ویژه‌ای بین بیماری پارکینسون و بیماری ET ترکیب شده با پارکینسون و افراد نرمال تمایز قایل شد [۱۰].

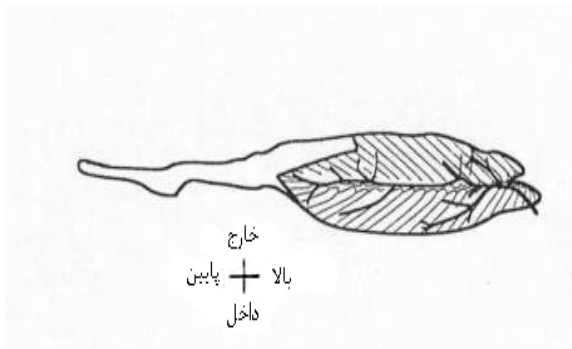
از آنجا که وضعیت موتورنرونهاي کند انقباض و تند انقباض در مطالعات مذکور و سایر مطالعات بحث شده است و نشان داده شده که برخی عوامل تأثیر بیشتری بر روی یک نوع از موتورنرونها دارند؛ شاید بتوان برای بارزتر شدن این تأثیرات از عضلاتی استفاده کرد که ترکیب نوع موتورنرونها در آنها متفاوت باشد. در این میان عضله سولئوس می‌تواند نماینده عضلات کند انقباض باشد [۱۱]. عضله گاستروکنمیوس نیز به علت نزدیکی عملکردی با سولئوس و عدم نیاز به تسهیل سازی به منظور ثبت رفلکس، نماینده مناسبی برای عضلات تند انقباض می‌باشد [۱۱،۱].

۲- مواد و روشها

در این آزمایش ۴ فرد در سنین بین ۲۰ تا ۲۶ سال بررسی گشتند. هیچ یک از این افراد سابقه آسیب ستون فقرات و اندام تحتانی نداشته و ورزشکار نیز نبودند. این افراد از بین نمونه های در دسترس و به صورت تصادفی انتخاب شدند. برای اعمال تحریکات یک دستگاه تحریک کننده ایزولاتور Nikon Kohden مدل ss104j استفاده شد و برای ثبت پتانسیلها از یک آمپلی فایر دارای ضریب بهره ۴۰۰ تا ۱۰۰۰۰ و پهنای باند فرکانسی ۳ تا ۱۰ کیلو هرتز و یک کامپیوتر 486 DX2 مجهز به برد آنالوگ به دیجیتال ۱۲ بیتی با فرکانس نمونه برداری ۳۳ کیلو هرتز استفاده شد. یک نرم افزار تهیه شده به زبان C++، اعمال تحریکات و ثبت پتانسیلها را بر عهده داشت.

برای ثبت رفلکس H عضله سولئوس (به دلیل کثرت مطالعات انجام شده) نقطه نسبتاً مشخصی وجود دارد اما رفلکس H عضله گاستروکنمیوس، کمتر بررسی شده است و آزمایشهایی که این کار را انجام داده‌اند برای ثبت رفلکس H عضله گاستروکنمیوس نقطه‌ای بر روی شکم عضله را انتخاب کرده‌اند [۱۲]. در برخی از

در مورد منطقه یا مناطق عصب گیری این عضلات، تا جایی که ما بررسی کردیم کاری انجام نشده است؛ اما محل عصب گیری عضله، تصویری از منطقه عصب گیری به ما می دهد.



شکل ۲ برای فیبرهای عضله گاستروکنمیوس داخلی

فاصله الکترودها C ۲ در نظر گرفته شده است که با توجه به ضخامت عضله و میدان دید الکترودها مناسب به نظر می رسد. در این مرحله با آگاهی از مورفولوژی عضله و نحوه عصب گیری آن، از مربعهای رسم شده در پشت ساق، Hmax ثبت شد تا با توجه به مطالب ذکر شده نقطه مناسب برای ثبت رفلکس H مشخص شود.

۲-۲- تحریکات دوتایی

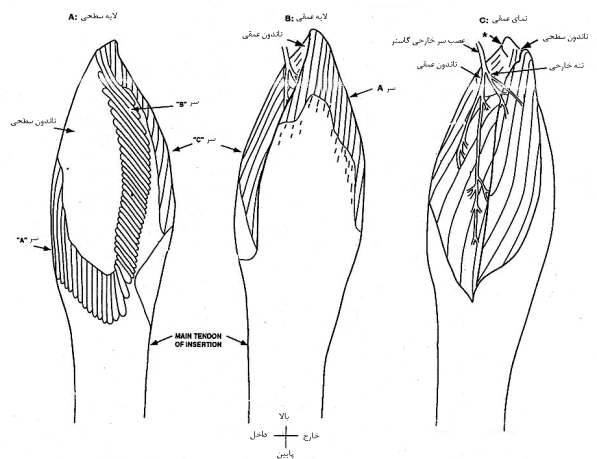
پس از مشخص شدن نقاط مطلوب برای ثبت رفلکس H عضلات گاستروکنمیوس داخلی و خارجی نقاط فوق، همراه با نقطه مشهور برای ثبت رفلکس H از عضله سولئوس (نصف فاصله چین پشت زانو و فوزک داخلی) تحت تأثیر تحریکات زوج متوالی قرار گرفتند تا رفتار رفلکس H عضله سولئوس (عضله کند انقباض) و عضله گاستروکنمیوس (عضله تند انقباض) با یکدیگر مقایسه شود.

اگر فاصله دو تحریک از حدی کمتر شود (حدود ۴۰ms) دومین تحریک باعث برانگیخته شدن رفلکس H نخواهد شد و وقتی فاصله دو تحریک از حدی بیشتر باشد (۸۰۰ms) هر دو تحریک رفلکس H تقریباً مشابهی به وجود خواهند آورد [۸]. در فاصله این دو مرز (۴۰ ms و ۸۰۰ ms) دامنه رفلکس H دوم،

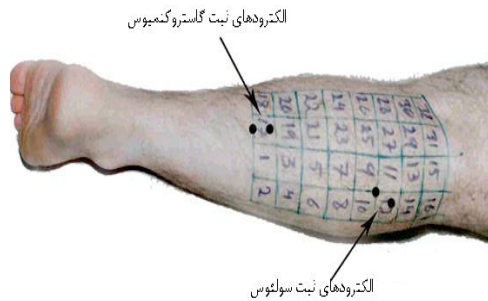
چین پشت زانو و به فاصله C ۳ از یکدیگر رسم شد تا مربعهای ۳×۳ سانتیمتری در پشت ساق به وجود آید. برای یافتن نقطه مناسب در هر یک از این مربعها الکتروگذاری انجام شد و رفلکس H ثبت شد.

از آنجا که باید برای الکتروگذاری مناسب، نحوه قرارگیری فیبرهای عضله و نحوه عصب گیری آنها مورد توجه قرارگیرد، مطالعات آناتومیک انجام شده بر روی عضله گاستروکنمیوس بررسی شدند و معلوم شد عضله گاستروکنمیوس خارجی دارای حالت پرشکل است و گاستروکنمیوس داخلی نیز فیبرهای ظاهراً موربی دارد. هر یک از این عضلات به طور جداگانه از ناحیه میانی خود عصب گیری می کنند [۱۵،۱۶]. با توجه به شکل، مشخص می شود برای ثبت از عضله گاستروکنمیوس خارجی باید الکترودها مطابق با جهت فیبرهای عضله قرار گرفته و در یک سمت منطقه عصب گیری احتمالی این عضله واقع شوند. به علاوه برای اینکه فازهای موج ثبت شده معکوس نشود باید به هنگام ثبت، از قسمت خارجی عضله جای آند و کاتد را عوض کرد.

شکل زیر ساختمان عضله گاستروکنمیوس داخلی را نشان می دهد و راهنمایهای لازم را برای چگونگی الکتروگذاری در اختیار ما می گذارد.



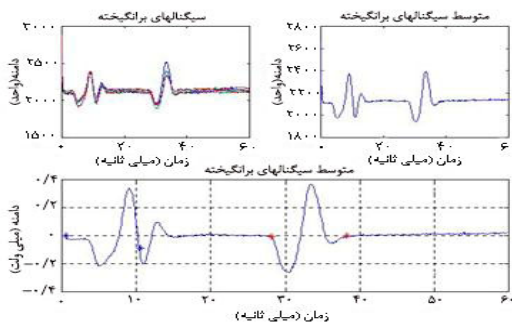
شکل ۱ جهت فیبرهای عضله گاستروکنمیوس خارجی



شکل ۳ نحوه قرارگیری الکترودهای ثبت رفلکس H عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس

وقتی الکترودهای ثبت را به خط وسط ساق نزدیک کنیم دامنه رفلکس H ثبت شده تا حد زیادی افت می‌کند. در ناحیه میانی عرض سر خارجی عضله گاستروکنمیوس سیگنال به نحو مطلوبی ثبت می‌شود، اما وقتی الکترودها را به ناحیه خارجی ساق منتقل کنیم فازهای پتانسیل ثبت شده معکوس می‌شود. این پدیده به علت نحوه قرارگیری فیبرهای عضلانی است.

سیگنال ثبت شده از ناحیه خارجی سر خارجی عضله گاستروکنمیوس، دامنه خوبی دارد و می‌توان معکوس بودن فازها را با جابجایی آند و کاتد جبران کرد اما معمولاً موج M دچار پلی‌فازی می‌شود. می‌دانیم این امر می‌تواند به علت تأثیر سایر لایه‌های عضله گاستروکنمیوس و یا مناسب نبودن محل تحریک باشد. البته نزدیک بودن این ناحیه به عضلات قدامی-خارجی ساق و سه فازی بودن رفلکس در بعضی مناطق، خالص بودن رفلکس H گاستروکنمیوس در این منطقه با تردید روبرو می‌سازد.



درصدی از دامنه رفلکس H اول خواهد بود. نسبت دامنه رفلکس H دوم نسبت به اول، درصد ریکاوری رفلکس H و به بیانی دیگر نمادی از ریکاوری موتورنرون خواهد بود. افزایش گام به گام فاصله دو تحریک و ثبت میزان ریکاوری رفلکس H، یک منحنی را ایجاد خواهد کرد که منحنی ریکاوری رفلکس H نامیده می‌شود.

در این مطالعه تحریکات زوج متوالی ابتدا با فاصله 50 sm اعمال شده و پس از هر زوج تحریک، 2500 ms استراحت در نظر گرفته شد. سپس یک تحریک منفرد اعمال شده و موج M و رفلکس H ثبت گشت. منظور از انجام این کار اطمینان از برگشت موتور نرونها به وضعیت اولیه و آمادگی برای دریافت زوج تحریک بعدی می‌باشد. پس از 2500 ms استراحت، یک زوج تحریک با فاصله بیشتر اعمال می‌شود. فاصله زوج تحریکها از 50 ms شروع شده و تا 250 ms افزایش می‌یافت و مجموعاً یازده زوج تحریک به فرد اعمال می‌شد. شدت تحریکات در حد برانگیختن Hmax در نظر گرفته شد. به علاوه، یکبار نیز رفلکس H با دامنه‌ای نصف دامنه Mmax (رفلکس H کوچکتر از Hmax) ثبت شد.

۳- نتایج

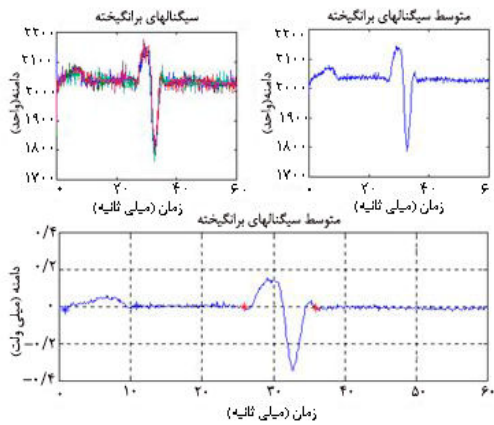
همانطور که ذکر شد نحوه و محل الکتروگذار مناسب برای ثبت رفلکس H عضله گاستروکنمیوس بررسی گشت و سپس با تعیین محل الکترو، آزمایش اصلی انجام شد.

۳-۱- الکتروگذار مناسب بر روی عضله گاستروکنمیوس

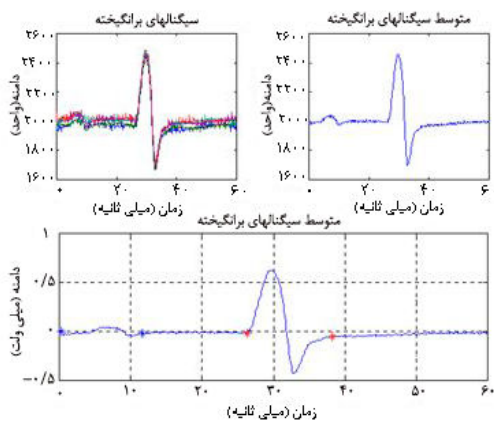
ثبتهای انجام شده از نقاط مختلف پشت ساق نشان داد که ناحیه ای در حدود محل اتصال 1/4 فوقانی و 3/4 تحتانی ساق (فاصله بین پشت زانو و قوزک داخلی) تقریباً 4 تا 6 سانتی متر خارج خط وسط ساق، محل مناسبی برای ثبت رفلکس H سرخارجی عضله گاستروکنمیوس است (شکل ۳).

شدن الکتروود ثبات به تحریک، ثبت رفلکس H با اشکال مواجه می شود؛ از این رو، این منطقه نیز محل مطلوبی برای ثبت رفلکس نمی باشد.

همانطور که قبلا ذکر شد قراردادن الکتروودها به موازات فیبرهای عضلانی باعث افزایش دامنه سیگنال ثبت شده می گردد. برای مشخص شدن این امر از نقطه مناسبی روی عضله گاستروکنمیوس، رفلکس را با دو نوع الکتروود گذاری (یکبار موازی با محور طولی ساق و یکبار با زاویه 45°) ثبت کردیم که نتیجه آن در شکلهای ۶ و ۷ ملاحظه می شود.



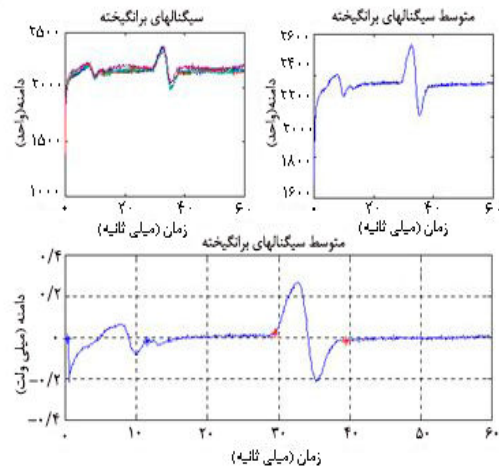
شکل ۶ الکتروود گذاری در امتداد طول ساق



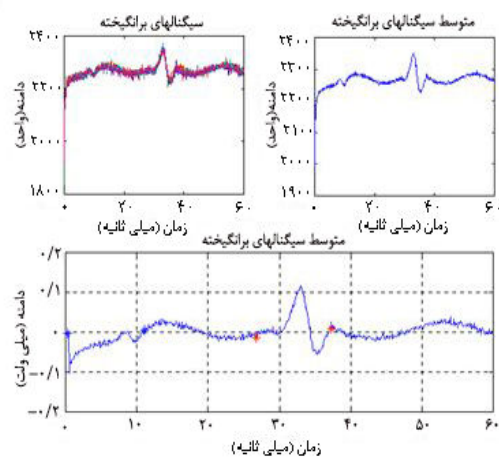
شکل ۷ الکتروود گذاری مورب، منطبق بر مسیر فیبرها

سر داخلی عضله گاستروکنمیوس نسبت به سر خارجی آن رفلکسی با دامنه کوچکتر به دست می دهد. قسمتهای تحتانی سر

شکل ۴ رفلکس H ثبت شده از ناحیه خارجی عضله گاستروکنمیوس خارجی



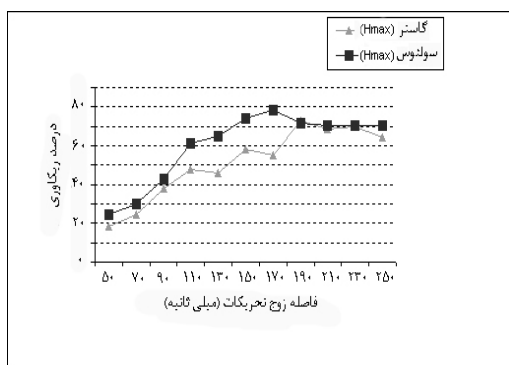
شکل ۵ الف رفلکس H ثبت شده از ناحیه میانی عضله گاستروکنمیوس خارجی



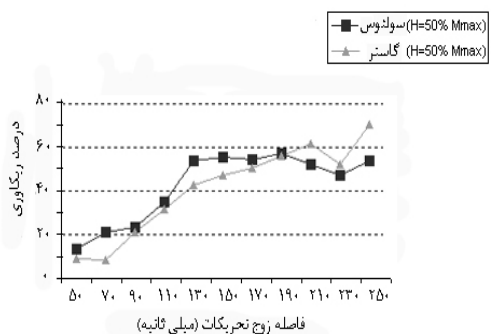
شکل ۵ ب رفلکس H ثبت شده از ناحیه داخلی عضله گاستروکنمیوس خارجی

ثبت رفلکس از ناحیه پایینی سر خارجی عضله گاستروکنمیوس، سیگنالی شبیه به رفلکس H سولئوس به دست می دهد؛ بنابراین، نمی توان آنرا به طور قطع مربوط به عضله گاستروکنمیوس دانست. در ثبتهای انجام شده از نواحی بالای ساق و نزدیک به زانو رفلکس H چند فازی شده و افت دامنه وجود دارد. از برخی نقاط نیز به علت مشکل تکنیکی و نزدیک

منحنی ریکاوری رفلکس H در زمانی که بدون حضور موج M ثبت شود (رفلکس H با دامنه نصف Hmax) در عضله سولئوس و گاستروکنمیوس الگویی مانند منحنی ریکاوری Hmax دارد (شکل ۹).



شکل ۸ مقایسه منحنیهای ریکاوری Hmax عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس (میانگین ۴ آزمودنی)



شکل ۹ مقایسه منحنیهای ریکاوری H با دامنه $M_{max}/0.50$ در عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس (میانگین ۴ آزمودنی)

به منظور حذف اثرات تحریک فیبرهای حرکتی، یک بار نیز تحریکات زوج متوالی با شدتی انجام شد که رفلکس H بدون وجود هرگونه موج M ثبت شود. دامنه H در این حالت حدود نصف Mmax عضله مورد آزمایش در نظر گرفته شد [۸]. نتایج این آزمایش نشان داد میزان ریکاوری موتور نورونها به هنگام ثبت Hmax بیشتر از زمانی است که تحریکات با شدت کمتری اعمال می‌شوند (H بدون حضور M ثبت شود). این حالت در

داخلی عضله گاستروکنمیوس دارای رفلکس H بسیار شبیه به رفلکس H عضله سولئوس هستند. در ثبتهای انجام از نواحی بالاتر، دامنه رفلکس H به مقدار زیادی کاهش پیدا می‌کند اما بر روی شکم عضله اغلب می‌توان یک موج دو فازی ثبت کرد. فیبرهای این عضله ظاهری مورب دارند و از خط میانی عصب می‌گیرند بنابراین بهتر است الکترودها به‌طور مایل و دور از خط وسط قرار داده شوند.

با توجه به این مطلب که رفلکس H سرخارجی عضله گاستروکنمیوس دارای دامنه بیشتری بوده و به تبع آن نسبت سیگنال به نویز بیشتری را ارائه می‌دهد و ثبت آن راحت‌تر صورت می‌گیرد، از این رو برای انجام تحریکات زوج متوالی از سرخارجی عضله گاستروکنمیوس استفاده شد.

۳-۲- نتایج تحریکات زوج متوالی

پس از اعمال تحریکات زوج متوالی، منحنی ریکاوری رفلکس H عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس ثبت و مقایسه شد. منحنی ریکاوری برای دو حالت Hmax و رفلکس H با دامنه‌ای برابر نصف دامنه Mmax (موج M با بیشترین دامنه قابل ثبت) ثبت شد.

برای بررسی اطلاعات به‌دست آمده، از نرم افزار SPSS استفاده شد و روشهای آماری غیر پارامتری و همچنین آمار توصیفی به‌کار رفت. البته به علت کم بودن تعداد نمونه‌ها و عدم معناداری آماری تفاوت‌های مشاهده شده، بیشتر به الگوی تغییرات توجه شده است و عدم معناداری آماری اختلافات مشاهده شده نیز بیشتر به همین علت می‌باشد. روشن است زمینه‌ای را که این مطالعه باز می‌کند باید با مطالعات گسترده تری بررسی کرد.

نتایج به‌دست آمده از مقایسه منحنی ریکاوری Hmax عضله سولئوس و سرخارجی عضله گاستروکنمیوس مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص شد دامنه رفلکس H عضله سولئوس سریع‌تر و بیشتر از سرخارجی عضله گاستروکنمیوس ریکاور می‌شود. البته این تفاوتها از نظر آماری معنادار نبودند (شکل ۸).

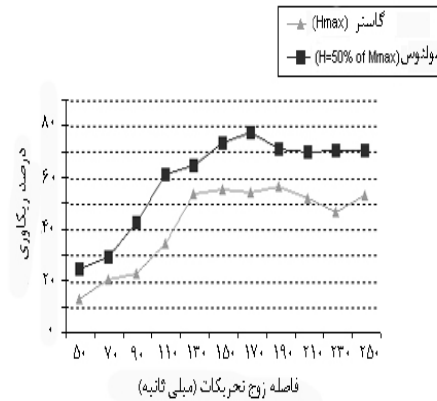
عضله سولئوس و عضله گاستروکنمیوس خارجی صادق است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

باشند باعث برانگیخته شدن دو رفلکس H پایبی می شوند، دامنه رفلکس H حاصل از تحریک دوم کمتر از دامنه H حاصل از تحریک اول است. هرچه فاصله دو تحریک زیاد شود رفلکس H دوم دامنه بیشتری پیدا می کند [۸].

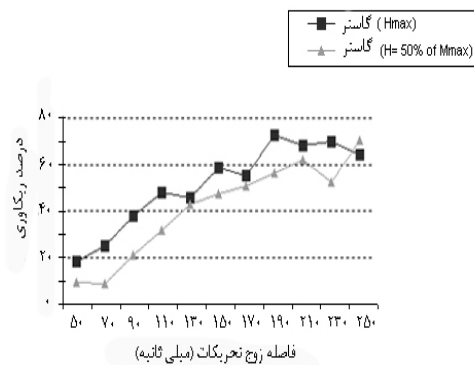
مقایسه منحنی ریکاوری رفلکس H عضله سولئوس در دو شدت مختلف نشان داد وقتی شدت تحریک بیشتر باشد (به اندازه بر انگیزتن Hmax) ریکاوری نیز بیشتر خواهد بود (شکل ۱۰) و این امر در کارهای سایرین نیز مورد تأیید قرار گرفته است. در مطالعات گذشته ملاحظه شد که دامنه رفلکس در تحریک اول^۱ بر دامنه رفلکس به هنگام تحریک دوم (Test) اثر دارد [۸]. وقتی تحریک الکتریکی از گیرنده‌های Ia به سمت موتور نرون می‌رود باعث تحریک برخی موتور نورها و ایجاد پتانسیل انبازه‌ای در برخی دیگر (بر اساس اندازه موتورنورها) می‌شود [۱۷]. اگر میزان شدت تحریک Ia زیاد شود تعداد بیشتری از موتورنورها تحریک یا تسهیل می‌شوند بنابراین، چنانچه با فاصله کوتاهی تحریک دیگری اعمال شود موتور نروهای تسهیل شده می‌توانند به تحریک جدید پاسخ دهند. اگر شدت تحریک فیبرهای Ia کاهش یابد تعداد موتور نروهای تحریک شده کاهش می‌یابد. به علاوه تعداد کمتری موتورنرون نیز تسهیل می‌شود. کمتر بودن تعداد موتورنروهای تسهیل شده باعث می‌شود هنگام رسیدن تحریک دوم تعداد کمتری موتورنرون آماده فعالیت باشند؛ لذا مجموعه نرونی واحدهای حرکتی عضله قادر به تولید رفلکس H کوچکتری خواهد بود [۱، ۱۸].

ریکاوری دامنه Hmax عضله گاستروکنمیوس نیز بیشتر از زمانی است که رفلکس H با دامنه کمتر (۵۰ درصد دامنه Mmax) برانگیخته شود (شکل ۱۱). علت این امر می‌تواند همان مسأله‌ای باشد که در مورد عضله سولئوس ذکر شد.

هنگامی که منحنی ریکاوری رفلکس H عضله سولئوس و گاستروکنمیوس را با یکدیگر مقایسه کنیم می‌توان دو حالت مختلف را در آنها مشاهده کرد. زمانی که شدت تحریک رفلکس H به اندازه برانگیزش Hmax باشد (شکل ۸) هر دو عضله تا زمانی که فاصله دو تحریک کمتر از ۱۱۰ ms است



شکل ۱۰ مقایسه منحنیهای ریکاوری رفلکس H عضله سولئوس با شدتهای تحریکی مختلف (میانگین ۴ آزمودنی)



شکل ۱۱ مقایسه منحنیهای ریکاوری رفلکس H عضله گاستروکنمیوس با شدتهای تحریکی مختلف (میانگین ۴ آزمودنی)

۴- بحث

هنگامی که تحریکات متوالی به عصب تیبیال خلفی وارد شود و این دو تحریک به اندازه کافی از یکدیگر فاصله زمانی داشته

اول به تدریج، بیشتر ریکاوری می‌شوند. عضله گاستروکنمیوس به علت کمتر بودن نسبی تعداد موتورنرونهاى نوع دوم، کمتر تحت تأثیر سلولهای رنشاو قرار می‌گیرد بنابراین، با کاهش اثر مهارى رنشاو منحنی ریکاوری گاستروکنمیوس دچار صعود ناگهانی نمی‌شود و بیشتر تحت تأثیر خستگی ناشی از تحریک اول رفتار می‌کند.

مرحله سوم منحنی ریکاوری با رسیدن فاصله زوج تحریکات به 170ms شروع می‌شود. با زیاد شدن فاصله دو تحریک تا بدین اندازه اثر سلولهای رنشاو و اثر خستگی در هردو عضله به حداقل می‌رسد؛ بنابراین رفتار منحنی ریکاوری آنها در این مرحله شبیه یکدیگر است.

بررسی منحنی ریکاوری عضله سولئوس و گاستروکنمیوس در زمانی که شدت تحریکات به اندازه ای باشد که دامنه رفلکس H ایجاد شده نصف دامنه M_{\max} باشد الگوی رفتاری مشابهی را با H_{\max} نشان می‌دهد. البته فاصله دو منحنی کمتر از منحنیهای H_{\max} این عضلات است که می‌تواند به علت کمتر بودن شدت تحریکات و کم شدن تسهیل موتور نرونها ایجاد شده باشد.

در مجموع شاید بتوان گفت سلولهای رنشاو تأثیر مهارى خود را تا حدود 110ms پس از تحریک شدن باقی می‌گذارند. بعضی مطالعات این اثر را برای یک سلول رنشاو تا 40ms گزارش کرده‌اند [20] و با توجه به اینکه اعمال هر تحریک به سلولهای رنشاو باعث ایجاد قطاری از پالسهای مهارى با فرکانس 1000 تا 1500 هرتز می‌شود [21] و سلولهای رنشاو نیز در زمانهای متفاوت فعال می‌شوند، پذیرفتن طولانی بودن مدت زمان مهار این سلولها منطقی است. البته برای تعیین زمان دقیق آن باید مطالعات بیشتری صورت گیرد و استفاده از زوج پالسها و مقایسه آن در عضلات مختلف و شرایط تسهیلی و مهارى مختلف می‌تواند به عنوان روشی غیر تهاجمی برای این کاوشها به‌کار گرفته شود.

با توجه به تفاوت سیر منحنیهای ریکاوری عضلات سولئوس و گاستروکنمیوس، با این روش می‌توان اطلاعات بیشتری راجع به واحدهای حرکتی این عضلات به دست آورد. به‌کارگیری این روش در کنار منحنی فراخوانی رفلکس H و سایر روشهای-

رفتار مشابهی را بروز می‌دهند. البته مقدار ریکاوری در عضله سولئوس بیشتر است و این هم به علت وجود موتور نرونهاى نوع اول بیشتر در این عضله می‌باشد؛ اما روند کلی ریکاوری دو عضله تا قبل از رسیدن فاصله دو پالس به 110ms شبیه است. زمانی که فاصله زوج تحریکات از 110ms بیشتر می‌شود سرعت ریکاوری رفلکس H عضله سولئوس به میزان محسوسی از گاستروکنمیوس بیشتر می‌گردد. این تفاوت در سرعت ریکاوری، تا رسیدن فاصله زوج پالسها به 170ms ادامه پیدا می‌کند. پس از 170ms ، منحنی ریکاوری دو عضله به یکدیگر نزدیک شده و روند تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند. به طور خلاصه مقایسه روند ریکاوری این دو عضله را می‌توان به سه مرحله تقسیم کرد. مرحله اول تا زمانی است که فاصله زوج تحریکها کمتر از 110ms است و هر دو عضله شبیه به یکدیگر عمل می‌کنند. در این مرحله به نظر می‌رسد موتورنرونهاى هر دو عضله تحت اثر خستگی ناشی از تحریک اول و همچنین مهار حاصل از فعالیت سلولهای رنشاو قرار دارند. البته لازم به ذکر است چون موتورنرونهاى عضله سولئوس مقاومت بیشتری در برابر خستگی دارند انتظار می‌رفت روند ریکاوری عضله سولئوس با شیب پیشرونده‌ای از گاستروکنمیوس فاصله بگیرد؛ ولی تا قبل از 110ms این اتفاق نمی‌افتد؛ لذا حدس بر این است که مهار سلولهای رنشاو که به‌طور بارزی بر موتورنرونهاى نوع اول اعمال می‌شود [19] موتورنرونهاى سولئوس را به شدت مهار کرده و منحنی ریکاوری آنرا در کنار منحنی ریکاوری گاستروکنمیوس نگه می‌دارد. پس شاید بتوان گفت در مرحله اول موتورنرونهاى هردو عضله تحت تأثیر خستگی و مهار رنشاو قرار دارند.

مرحله دوم منحنی ریکاوری زمانی است که فاصله زوج تحریکات بین 110 تا 170ms است. در این فاصله سرعت ریکاوری عضله سولئوس (کند انقباض) به میزان قابل توجهی از میزان ریکاوری عضله گاستروکنمیوس (تند انقباض) بیشتر می‌شود. به نظر می‌رسد در این مرحله موتورنرونهاى سولئوس که خستگی ناپذیرتر از موتورنرونهاى گاستروکنمیوس هستند ولی به مقدار بیشتری تحت تأثیر فعالیت سلولهای رنشاو قرار دارند از مهار رنشاو خلاص شده و با کاهش اثر خستگی ناشی از تحریک

بررسی نحوه فعالیت موتورنرون می تواند به آشکار شدن مکانیزم اثرگذاری تحریکات عصبی-عضلانی بر سیستم عصبی کمک کند.

۶۸

۵- منابع

- [1] Goulet C, Arsenault G, Bourbonnais D, Levin MF. Effects of TENS on H-reflex of muscle of different fiber type composition. *EMG Clin Neurophys* 1997; 37: 335-42.
- [2] Chapman C, Sullivan SJ. Changes in hip position modulate soleus H-reflex excitability in man. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1991; 31: 131-43.
- [۳] سعیدی، نرگس. بررسی منحنی فراخوانی رفلکس H و موج M در حضور H قبل و بعد از تحریک الکتریکی سطحی ستون فقرات کمری. دانشگاه تربیت مدرس، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیوتراپی ۱۳۷۸.
- [۴] ابراهیمی، فاطمه. مقایسه پارامترهای رفلکس H عضله سولئوس در دو روش تحریک الکتریکی سطحی ستون فقرات و فیبرهای عصبی محیطی. دانشگاه تربیت مدرس، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیوتراپی ۱۳۷۸.
- [۵] گلجاریان، سکینه. بررسی مقایسه ای تأثیر TENS دو قطبی و سه قطبی، بر منحنی فراخوانی رفلکس H و موج Mh. دانشگاه تربیت مدرس، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیوتراپی ۱۳۸۰.
- [6] Crayton JW, Rude R. An oscillatory component of H-reflex. *J Neurol Neurosurg Psych* 1980; 43: 239-42.
- [7] Sabbahi MA, Sedgwick EM. Recovery profile of single motoneurons after electrical stimuli in man. *Brain Res* 1987; 432: 125-34.
- [8] Kagamihara Y, Hayashi A. Reassessment of H-reflex recovery curve using the double stimulation procedure. *Muscle Nerve* 1998; 21: 352-60.
- [9] Sabbahi M, Etnyre B, Al-Jawayed IA, Hassan S, Jankovic J. Methods of H-reflex evaluation in early stages of parkinson's disease. *J Clin Neurophysiol* 2002; 19(1): 67-72.
- [10] Sabbahi M, Etnyre B, Al-Jawayed IA, Jankovic J. H-reflex recovery curve differentiate essential tremor, parkinson's disease, and the combination of essential tremor and parkinson's disease. *J Clin Neurophysiol* 2002; 19(3): 245-51.
- [11] Edgerton VR, Smith jt, Simpson DR. Muscle fiber type population of human leg muscles. *Histochem J* 1975; 7: pp:259-66.
- [12] Burke J R. Multi electrode recording of tibial H-reflexes at various triceps surae muscle sites in right and left leg. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1997; 37: pp:277-86.
- [13] Morelli M, Sullivan SJ, Chapman CE. Inhibitory influence of soleus massage onto the medial gastrocnemius H-reflex. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1998; 38: 87-93.
- [۱۴] فیروزآبادی م. هاشمی م ر، رضایی اح. جایگاه هندسه الکتروود سطحی در برداشت و پردازش سیگنال EMG. نشریه علمی-خبری دانشگاه شاهد، سال اول، شماره ۱ و ۲، ۱۳۷۲: صص ۱۹-۲۲.
- [15] Segal RL, Wolf MF. Anatomical partitioning of three multiarticular human muscles. *Acta Anat* 1991; 142: 261-66.
- [16] Wolf SL, Kim JH. Morphological analysis of the human tibialis anterior and medial gastrocnemius muscles. *Acta Anata* 1997; 158: 287-95.
- [17] Katz R, Pierrot-Deseilligny E. Recurrent inhibition in humans. *Prog Neurobiol* 1998; 57: 352-355.

- [18]Magladery JW, Teasdall RD, Park AM, Porter WE. Electrophysiological studies of reflex activity in normal man. V. Excitation and inhibition of two neuron reflexes by afferent impulses in the same nerve trunk. Bull Johns Hopkins Hos 1951; 88:520-537.
- [19]Akazawa K, Kato K. Neural network model for control of muscle force based on the size principle of motor unit. Proceeding of IEEE 1990; 78(9): 35-1531.
- [20]Windhorst U. On the role of recurrent inhibitory feedback in motor control. Progress Neurobiol 1996; 49: 517-578.
- [21]Agarawl GC, Gottlieb GB. Mathematical modeling and stimulation of the postural control loop. Crit Rev Bioeng 1982; 8: 93-134.