مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد
دوره ۱۸، شماره ٤، مرداد و شهریور ۱۳۸۹
صفحه: ۲۹۸-۲۹۲

Journal of Shaheed Sadoughi University of Medical Sciences
Vol. 18, No. 4, Aug/Sep 2010
Pages: 292-298

مقایسه‌ی تمرینات ایزومتریک ارادی و تحریک الکتریکی در تقویت عضله چهارسران متعاقب رفع بیحرکتی زانو در افراد بالای ٤٠ سال

محمد حسینی شریف آباد*[1]

۱- استادیار گروه آناتومی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی یزد

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۶/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۶

چکیده

مقدمه: با آنکه سالیان زیادی است که در طب توانبخشی، تحریک الکتریکی برای جلوگیری از آتروفی و افزایش قدرت عضلانی مورد استفاده بوده است، کاربرد تحریک الکتریکی برای تقویت عضلات در پژوهش‌ها و در تمرینات بالینی عمومیت زیادی پیدا نموده است. عضله چهار سر ران متحمل بیشترین آتروفی از بیت سایر عضلات ران می‌شود.

این مطالعه با هدف مقایسه اثر تحریکات الکتریکی و انقباضات ایزومتریک ارادی برای افزایش قدرت عضله چهار سر و محیط ران در بیماران میانسال و مسن بعد از رفع بی‌حرکتی در قالب گچی ا نجام شد.

روش بررسی: ۸۷ نفر بیمار که زانوهایشان متعاقب شکستکی اندام تحتانی بی‌حرکت شده بود، بطور تصادفی در دو گروه قرار گرفتند: گروه تحریکات الکتریکی فارادیک و گروه تمرینات ایزومتریک ارادی. بیماران به مدت شش هفته، سه روز در هفته و هر روز ۲۰ دقیقه تمرین داشتند. قطر ران و قدرت عضلانی چهار سر قبل و بعد از دوره درمانی ارزیابی گردید.

نتایج: افزایش قدرت عضله چهار سرگروه تحریک الکتریکی(۲۸٪) بطور معنی‌داری از گروه تمرینات ایزومتریک (۴۰٪) کمتر بود در حالیکه تفاوت معنی‌داری بین دو روش درمانی از نظر میانگین افزایش دور ران وجود نداشت(۰/۳۶±۱/۴۱ و ۰/۲۷±۱/۴۲ سانتیمتر P=۰/۹۶).

نتیجه گیری: این مطالعه نشان داد که گرچه تحریکات الکتریکی یک وسیله جایگزین وبالقوه مؤثر برای افزایش قدرت عضله چهار سر بیماران میانسال و مسن متعاقب بیحرکتی زانو است اما مؤثرتر از تمرین ایزومتریک ارادی نیست.

واژه‌های کلیدی: عضله چهار سر- تحریک الکتریکی- تمرین ایزومتریک ارادی

* (نویسنده مسئول)؛تلفن: ۶۲۴۰۶۹۱- ۰۳۵۱، نمابر : ۶۲۳۸۵۶۱- ۰۳۵۱، پست الکترونیکی: mhosseini81@yahoo.com

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-22]

مقدمه

ضعف عضلانی و کاهش قدرت عضله چهار سر ران عموماً یکی از عوارض کاملاً مشخص سالمندی است. به طور طبیعی ماکزیمم نیروی انقباضی ارادی این عضله به میزان ۳۵٪ تا ۵۰٪ در سنین پیری کاهش می‌یابد. این تغییرات از ۲۵ سالگی شروع و بعد از آن افزایش می‌یابد. در افراد مسن و جوان تفاوتی در ایمپالس عصبی دیده نمی‌شود و عمده تغییرات مربوط به عناصر انقباض عضلانی است(۲،۱). کاهش تعداد کل فیبرهای نوع ۱ و ۲ عضله و آتروفی فیبرهای نوع ۲ به میزان زیادی مسئول کاهش توان تولید نیرو عضلانی در افراد مسن می‌باشد(۳). از طرف دیگر چون آسیب‌های استخوانی عضلانی با بالا رفتن سن افزایش می‌یابد آتروفی و کاهش تونیسیته عضله‌ی چهار سر ران (Quadriceps Femoris) متعاقب بی‌حرکتی اندام تحتانی به علت بیماری، تروما و جراحی به طور غیر قابل اجتنابی روی می‌دهد(۴،۵). لذا کاهش قدرت عضله چهار سر به همراه محدودیت حرکتی زانو، می‌تواند از بازگشت سریع و کامل فرد به فعالیت‌های عملکردی و روزمره جلوگیری کند. با توجه به اهمیت کاملاً برجسته و بارز این عضله برای تحرک و زندگی مستقل و نیز در مطالعات بالینی و روند پیری طبیعی انسان، اکثر مراکز درمانی، برنامه‌های نوتوانی متنوعی بعد از بیحرکتی را طراحی و به کار می‌گیرند. امروزه در طب ورزشی، تحریک الکتریکی (Electrical stimulation) برای تقویت عضله و حفظ توده‌ی عضلانی به صورت فزآینده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد(۶،۷). براساس شواهد موجود، تحریک الکتریکی می‌تواند بر تمرینات ارادی، برای تمرین در داخل قالب گچی و شاید موارد خاصی که تمرینات ارادی نتواند پاسخ کافی بیمار را دریافت کند ترجیح داده شود(۸).

براساس نتایج مطالعات، انجام سه جلسه تمرینی در هفته با تحریک الکتریکی و ادامه آن به مدت چهار هفته با توجه به پارامترهای تحریک الکتریکی موجب افزایش قدرت عضله می‌شود(۹).

با آنکه اثر تحریک الکتریکی بر عضله، چهار سر افراد مسن مبتلا به آرتروز زانو بررسی شده است و نتایج چشمگیری در افزایش قدرت این عضله بدون افزایش درد گزارش شده است(۱۰)، اما هنوز مقایسه اثر روش تحریک الکتریکی با روش تمرینات ایزومتریک برای افزایش قدرت عضله در افراد میانسال و مسن بطور گسترده بررسی نشده است(۱۱). بنابراین مطالعه حاضر با هدف مقایسه اثر روش انقباضات ایزومتریک و تحریک الکتریکی در درمان آتروفی عضله چهار سر ران افراد بالای ۴۰ سال متعاقب بیحرکتی ناشی از درمان شکستگی‌های اندام تحتانی در مراجعه کنندگان به مرکز فیزیوتراپی پیروزی شهر یزد انجام گرفت.

روش بررسی

این مطالعه تجربی بر روی مراجعین بالای ۴۰ سال مرکز فیزیوتراپی پیروزی یزد که متعاقب بی‌حرکتی به منظور درمان شکستگی در اندام تحتانی دچار آتروفی عضله چهار سر یکطرف شده بودند، انجام گرفت. پس از همسان سازی افراد از لحاظ سن، جنس، مدت بیحرکتی، نوع شکستگی و غالب بودن سمت مورد درمان با استفاده از جدول اعداد تصادفی نمونه‌ها به دو گروه تمرینات ایزومتریک ارادی و تحریکات الکتریکی تقسیم شدند. با درنظر گرفتن خطای نوع اول ۵٪ و توان آزمون ۸۰٪ برای رسیدن به اختلاف معنی‌دار حداقل ۰/۵ واحد در میانگین قدرت عضله، حداقل تعداد نمونه مورد نیاز ۴۰ نفر در هر گروه تعیین شد.

برای تعیین میزان آتروفی، دور ران مبتلا را با متر نواری و در ۱۵ سانتیمتر بالای برجستگی استخوان درشت نی اندازه‌گیری و با طرف سالم مقایسه گردید.

معیارهای ارزیابی قدرت عضله چهار سر رانی (معیار ۱تا ۵): ۱- انقباض عضله با دست ملموس بوده اما قادر به انجام هیچگونه کاری نیست. ۲- انقباض عضله باعث صاف شدن زانو شود در حالتی که قوه ثقل از اندام گرفته شود. ۳- انقباض عضله باعث صاف شدن زانو در مقابل قوه ثقل شود. ۴- انقباض عضله باعث صاف شدن زانو در مقابل قوه ثقل شود و علیه مقاومت هم تا اندازه‌ای بتواند کار کند ۵- قدرت انقباضی عضله طبیعی بوده و بخوبی می‌تواند علیه مقاومت کار کند(۱۲). ارزیابی بطور مستقل

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-22]

توسط فیزیوتراپیست و پژوهشگر انجام گرفت.

گروه تمرینات ایزومتریک: به بیماران این گروه انجام تمرینات ایزومتریک چهار سر ران به وسیله فیزیوتراپیست آموزش داده شد. در این روش از فرد خواسته شد عضله چهار سر ران را با حداکثر نیرو منقبض نموده و به مدت ۵ ثانیه (۵ شماره) آن را نگه دارند، سپس عضله را به مدت ۵ ثانیه (۵ شماره) شل و در حال استراحت قرار دهند(۱۳).

گروه تحریک الکتریکی: یک الکترود(آند) ۷-۵ سانتیمتر بالای کنار فوقانی کشکک و روی عضله چهار سر و الکترود دیگر(کاتد=فعال) برروی عصب فمورال در ناحیه کشاله ران گذاشته شد. برای ایجاد تحریک از یک استیمولاتور الکتریکی(ساخت شرکت مهندسی پزشکی نوین- اصفهان- ایران) با فرکانس ۲۰۰ هرتز استفاده شد. زمان هر انقباض ۵ ثانیه و زمان استراحت بین هر انقباض ۵ ثانیه بود. به افراد اجازه داده شد که خودشان ولتاژ دستگاه را تنظیم کنند تا بتوانند شدت تحریکات را زیر آستانه درد نگه دارند(معمولاً ۱۰۰ ولت). این تحریک باعث یک انقباض تقریباً تتانیک در کل عضله چهارسر شد.

دوره درمانی در هر دو گروه، هفته‌ای سه جلسه و هر جلسه ۲۰ دقیقه به مدت۶ هفته برنامه‌ریزی گردید. افرادی که نظم و تعداد جلسات را رعایت ننموده بودند از مطالعه حذف شدند.

داده‌ها از طریق پرسشنامه و با اندازه‌گیری دور ران و قدرت عضله چهار سر ران جمع‌آوری و با نرم افزار SPSS ۱۱/۵ و آزمون t تجزیه و تحلیل شد.

نتایج

از مجموع ۸۷ نفر شرکت کننده در این مطالعه ۴۲ نفر(۴۸٪) را زن و ۴۵ نفر(۵۲٪) مرد تشکیل دادند. میانگین سنی در افرادی که به روش تمرینات ایزومتریک درمان شده بودند ۶/۳۳±۴۹/۷ سال و در افراد درمان شده با تحریک الکتریکی ۷/۱۴±۴۸/۳ سال بود و تحلیل آماری نشان داد که بین افراد دو گروه از لحاظ میانگین سنی اختلاف معنی داری وجود ندارد(P=۰/۳۶).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های بدست آمده در دو گروه مورد مطالعه نشان داد که بین دو گروه مورد مطالعه اختلاف معناداری از لحاظ میانگین اندازه دور ران سالم و مبتلا و میانگین میزان آتروفی و میانگین اندازه قدرت عضله نیز وجود ندارد(جداول ۱ و۲).

همچنین نتایج حاکی از آن بود که بین میانگین دور ران و تغییر اندازه دور ران بعد از درمان در گروه تمرین درمانی و گروه تحریک الکتریکی تفاوت معناداری وجود نداشت(جدول ۱) در حالیکه میانگین قدرت عضلانی و تغییر اندازه قدرت عضلانی بعد از درمان در دو گروه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند(جدول ۲) به طوریکه میانگین قدرت عضلانی در گروه تمرین درمانی از ۰/۴۶±۳/۰۹ قبل از درمان به ۰/۴۹±۴/۳۲ بعد از درمان افزایش یافت(۴۰ ٪ افزایش) و در گروه تحریکات الکتریکی نیز اندازه‌ی میانگین قدرت عضلانی از ۰/۴۸±۳/۰۱ در قبل از درمان به ۰/۴۹±۳/۸۵ بعد از درمان (۲۸٪ افزایش) رسید(P= ۰/۰۰۰).

جدول۱: میانگین و انحراف معیار شاخصهای اندازه‌ی دور ران(محیط) سالم و مبتلا و میزان آتروفی ران افراد مورد مطالعه قبل از شروع درمان و افزایش دور ران مبتلا و اندازه تغییر دور ران بعد از درمان(بر حسب سانتیمتر)

گروه درمانی	محیط ران سالم	محیط ران مبتلا	میزان آتروفی	محیط ران مبتلا بعد ازدرمان	تغییر اندازه‌ی محیط ران بعد ازدرمان
تمرینات ایزومتریک	۵۲/۴ ± ۵/۵۶	۴۹/۹ ± ۵/۴۸	۲/۴۸ ± ۰/۳۴	۵۱/۳ ± ۵/۶۲	۱/۴۱ ± ۰/۳۶
تحریک الکتریکی	۵۱/۵ ± ۵/۰۳	۴۹/۰ ± ۵/۰۲	۲/۵۲ ± ۰/۲۸	۵۰/۴ ± ۵/۰۳	۱/۴۲ ± ۰/۲۷
	P = ۰/۴۲	P= ۰/۴۰	P = ۰/۵۴	P= ۰/۴۱	P = ۰/۹۶

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-22]

جدول۲: میانگین و انحراف معیار شاخصهای قدرت عضلهی مبتلا قبل و بعد از درمان و میزان تغییرقدرت عضله بعد از درمان

گروه درمانی	قدرت عضلهی مبتلا قبل از درمان (معیار ۱ تا ۵)	قدرت عضلهی مبتلا بعد از درمان	میزان تغییر قدرت عضله بعد از درمان
تمرینات ایزومتریک	۳/۰۹ ± ۰/۴۶	۴/۳۲ ± ۰/۴۹	۱/۲۴ ± ۰/۲۵
تحریک الکتریکی	۳/۰۱ ± ۰/۴۸	۳/۸۵ ± ۰/۴۹	۰/۸۴ ± ۰/۳۲
	P= ۰/۴۴	P= ۰/۰۰۰	P= ۰/۰۰۰

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که قدرت عضلانی افرادی که عضله چهار سر ران آنها به روش تحریک الکتریکی منقبض شده بود نسبت به افرادی که با تمرینات ایزومتریک تمرین نموده بودند کمتر بود اما قطر دور ران در دو گروه با یکدیگر تفاوت معنیداری نداشت.

در توضیح علت برتری روش تمرینات ایزومتریک بر روش تحریک الکتریکی در افزایش قدرت عضلانی عضله جهار سر رانی میتوان به علل زیر اشاره نمود:

در روش تمرین درمانی مغز به صورت وابران، انقباض عضله را شروع میکند(۱۴) ولی در انقباض ناشی از تحریک الکتریکی راههای حرکتی به میزان حداقل دخالت دارند، لذا به نظر میرسد که احتمالاً استیمولوس، در خود بافت عضله باقی میماند(۱۵،۱۶).

به عبارتی ساده در انقباض ناشی از تحریک الکتریکی، سیستم عصبی مرکزی در انقباض دخالت چندانی ندارد و تغییرات در عضله رخ میدهد. اما شایان ذکر است تغییراتی که در سیستم عصبی رخ میدهد اهمیت عمده دارند و تغییراتی که در عضله رخ میدهد ثانویه هستند(۱۷) و اگر حرکت همراه با اراده و کنترل بیمار باشد اثر بیشتری خواهد داشت(۱۸).

یک عامل تعیین کننده دیگر، شدت تحریک است. مطالعات دیگر نشان داده است که افرادی که تمرینات ایزومتریک انجام دادهاند، ۷۸٪ ، ماکزیمم نیروی انقباضی داشتهاند و افرادی که تحریک الکتریکی را دریافت داشتهاند فقط ۳۳٪ ماکزیمم نیروی انقباضی داشتهاند که این کاهش را میتوان به واکنش مقاومتی افراد تحت درمان دربرابر انقباض ناشی از تحریک الکتریکی(۱۹) و نیز کاهش سریع منابع انرژی عضله و خستگی زودرس نسبت داد. لازم به ذکر است که تحمل عضلانی نیز متعاقب روش تمرینات ایزومتریک نسبت به تحریک الکتریکی بیشتر است، بدین علت که در تحریک الکتریکی عضله، نورونهای حرکتی بزرگتر که فیبرها با انقباضی سریع (Fast twich) را عصبدهی میکنند بیشتر و نورونهای حرکتی فیبرهای انقباضی آهسته (Slow twitch)، که مسئول تحمل عضله میباشند، کمتر تحریک میشوند(۲۰،۲۱).

در بررسی متون، مطالعات متعددی وجود دارد که اثر تحریک الکتریکی در افزایش قدرت عضله چهار سر رانی را نشان دادهاند. به عنوان نمونه Selkowitz در مطالعهی خود، افزایش معنیدار قدرت عضلانی متعاقب ۱۲ جلسه تحریک الکتریکی با زمان انقباض ۱۰ ثانیه و استراحت ۲ دقیقهای بین انقباضات را در مقایسه با گروه شاهد گزارش نمود(۲۲).

در مطالعهای دیگر با مقایسهی دو برنامه تحریک الکتریکی مشابه ولی با دفعات متفاوت در هفته(دو بار و سه بار در هفته) به مدت ۴ هفته مشخص شد که فقط تحریک الکتریکی به میزان سه بار در هفته باعث افزایش معنیدار قدرت عضلانی شده است(۲۳).

در سال ۱۹۸۳، Laughman و همکارانش درمطالعهای بر روی ۵۸ نفر در سه گروه شاهد(۱۹ نفر)، تمرینات ایزومتریک(۱۹ نفر) و تحریک الکتریکی(۲۰ نفر)بررسی نمودند که آیا تحریک الکتریکی میتواند قدرت عضله را بیشتر از برنامه تمرینات ایزومتریک افزایش دهد. آنها بعد از ۲۵ جلسه درمان گزارش کردند که اختلاف معنیداری در افزایش قدرت بین گروه

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-22]

تمرینات ایزومتریک (۱۸٪ افزایش) و گروه تحریک الکتریکی (۲۲٪ افزایش) وجود ندارد(۲۴).

Lieber و همکاران، ۴۰ مرد و زن ۴۴-۱۵ ساله، بعد از جراحی ترمیمی لیگامان متقاطع قدامی زانو را به مدت ۳۰ دقیقه در روز و ۵ روز در هفته و بمدت ۴ هفته تحت درمان تحریک الکتریکی و انقباضات ارادی قرار دادند، آنها نتیجه گرفتند که تحریک الکتریکی عضلات و انقباض ارادی عضلات وقتی که در شدت‌های مشابه انجام شوند در تقویت عضله چهار سری که به خاطر ترمیم جراحی A.C.L ضعیف شده، اثر مساوی دارند(۲۵).

با مقایسه‌ی نتایج دو مطالعه‌ی فوق با یافته های این تحقیق می‌توان دریافت که تحریک الکتریکی و انقباض ایزومتریک در سنین جوانی اثر مشابهی در تقویت عضله چهار سر رانی داشته‌اند در حالیکه در سنین میانسالی و پیری اثر انقباضات ایزومتریک بیش از تحریک الکتریکی بوده است. علت این اختلاف را می‌توان به نقش مؤثر انقباضات ایزومتریک در افزایش تحمل عضله که با سالمندی کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد، نسبت داد.

مطالعه‌ای که روی ۱۸ نفر مرد بالای ۶۵ سال با میانگین سنی ۴±۷۲ سال صورت گرفت نشان داد که تحریک الکتریکی و تمرینات درمانی اثر مشابهی در افزایش قدرت عضله چهار سر در مردان مسن دارد(۱۱).

Yabe و Ikai در تحقیق خود اذعان داشتند که تحریک الکتریکی، تانسیون عضلانی بیشتری را نسبت به انقباض عضلانی ارادی ایجاد می‌کند(۲۶) همچنین Synder-Makler و همکاران، با مقایسه‌ی دو روش تحریک الکتریکی و تمرینات ارادی در دو گروه بیمار بعد از بازسازی لیگامان صلیبی قدامی زانو نتیجه گرفتند که عضلات کوادریسپس افرادی که تحریک الکتریکی دریافت کرده بودند نسبت به گروه تمرینات ارادی، افزایش قدرت بیشتری را نشان داده است(۲۷) که با نتایج این مطالعه مغایرت دارد. که علت مغایرت را می‌توان به ۱- تفاوت در نوع آسیبهای وارده به بیمار (آسیب لیگامانی زانو) در مقایسه با شکستگی استخوانهای اندام تحتانی ۲- تفاوت در برنامه درمانی تحریک الکتریکی از حیث شکل موج، فرکانس و مدت زمان اعمال تحریکات ۳- انجام برنامه‌ی توانبخشی تمرینی خاص بعد از بازسازی لیگامان صلیبی قدامی یا بطور خلاصه بیماران متفاوت و پروتوکول‌های درمانی متفاوت نسبت داد.

نتایج مطالعه‌ی Bax و همکارانش نشان داد که در تقویت عضله‌ی چهار سر استفاده از تحریک الکتریکی در مقایسه با کسانی که تمرینی انجام نمی‌دهند موثر است، اما در مقایسه با کسانی که تمرینات ارادی انجام می‌دهند موثرتر نیست و تحریک الکتریکی در مواقعی که تقویت عضله در قالب گچی نیاز باشد یا در برخی مواقع خاص موثر است(۸) که با نتایج این مطالعه همخوانی دارند.

Rich با مطالعه بر روی ۲۰ مرد و ۲۰ زن که در ۱۸ جلسه تحریک الکتریکی با فرکانس بالا به عضله دو سر و سه سر بازو اعمال شده بود دریافت که هیچ تفاوت معنی‌داری قبل و بعد درمان در قدرت، قطر و تحمل عضله مشاهده نمی‌شود و پیشنهاد کرد که تحریک الکتریکی به تنهایی یک ابزار مناسب تمرینی نمی‌باشد و برای افزایش قدرت عضلانی به تمرینات ارادی نیاز است(۲۸).

در این راستا اخیراً مطالعاتی اثر مثبت استفاده‌ی همزمان و ترکیبی تحریک الکتریکی و تمرینات ارادی را در حفظ توده و قدرت عضلانی، بازگرداندن تواناییهایی عملکردی، تطابق عضلانی بیشتر و هماهنگی آگونیستها و آنتاگونیستها گزارش نموده‌اند(۳۱-۲۹).

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که انجام تحریکات ایزومتریک در افراد میانسال و سالمند اثر تقویتی بیشتری بر روی عضله چهار سر رانی نسبت به اعمال تحریکات الکتریکی دارد، لذا پیشنهاد می‌گردد در برنامه‌های نوتوانی در این گروه سنی تمرینات ایزومتریک در اولویت قرار گیرد یا با تحریک الکتریکی ترکیب شود.

سپاسگزاری

از زحمات پرسنل مرکز فیزیوتراپی پیروزی شهر یزد و فیزیوتراپیست‌های محترم آن مرکز که در انجام این طرح پژوهشی صمیمانه همکاری داشته‌اند و همچنین از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد برای تصویب و تأمین هزینه این طرح قدردانی می‌شود.

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-22]

منابع:

1- Roos MR, Rice CL, Connelly DM, Vandervoort AA. ***Quadriceps muscle strength, contractile properties, and motor unit firing rates in young and old men***. Muscle Nerve 1999; 22(8):1094-103.

2- Roos MR, Rice CL, Vandervoort AA. ***Age-related changes in motor unit function***. Muscle Nerve 1997; 20(6): 679-90.

3- Lexell J, Taylor CC, Sjöström M. ***What is the cause of the aging atrophy? Total number, size, and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men.*** J Neurol Sci. 1988; 84(2-3):275-94.

4- Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK, Mazzuca S, Braunstein EM, Katz BP, et al. ***Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee***, Ann Intern Med 1997;127(2): 97-104.

5- Lorentzen JS, Petersen MM, Brot C, Madsen OR. ***Early changes in muscle strength after total knee arthroplasty: a 6-month follow-up of 30 knees***. Acta Orthop Scand 1999; 70(2): 176-79.

6- Lake DA. ***Neuromuscular electrical stimulation, An overview and its application in the treatment of sports injuries***. Sports Med. 1992;13(5): 320-36.

7- Vanderthommen M, Crielaard JM. ***Muscle electric stimulation in sports medicine***. Rev Med Liege 2001;56(5):391-95.

8- Bax L, Staes F, Verhagen A. ***Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials.*** Sports Med. 2005; 35(3):191-212.

9- Parker MG, Bennett MJ, Hieb MA, Hollar AC, Roe AA. ***Strength response in human femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs.*** J Orthop Sports Phys Ther. 2003; 33(12): 719-26.

10- Talbot LA, Gaines JM, Ling SM, Metter EJ. ***A home-based protocol of electrical muscle stimulation for quadriceps muscle strength in older adults with osteoarthritis of the knee***, J Rheumatol. 2003; 30(7):1571-8.

11- Caggiano E, Emrey T, Shirley S, Craik RL. ***Effects of electrical stimulation or voluntary contraction for strengthening the quadriceps femoris muscles in an aged male population***. J Orthop Sports Phys Ther. 1994;20(1):22-8.

12- Kendell FP, McCreary E, Provance P. ***Muscles: testing and function***. 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1993.p. 221.

13- Eriksson E, Häggmark T. ***Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery. A preliminary report***. Am J Sports Med. 1979;7(3):169-71.

14- Duchateau J, Hainaut K. ***Training effects of sub-maximal electrostimulation in a human muscle***. Med Sci Sports Exerc. 1988; 20(1):99-104.

15- Moritani T, deVries HA. ***Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain***. Am J Phys Med. 1979;58(3):115-30.

16- Gabriel DA, Kamen G, Frost G. ***Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations***

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-22]

for training practices. Sports Med. 2006;36(2):133-49.

17- Brewerton DA, Darcus HD. ***Discussion on an evaluation of the methods of increasing muscle strength***. Proc R Soc Med. 1956;49(12):999-1008.

18- Hummelsheim H. ***Rationales for improving motor function***. Curr Opin Neurol. 1999;12(6):697-701.

19- Laughman RK, Youdas JW, Garrett TR, Chao EY. ***Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation***. Phys Ther. 1983;63(4):494-9.

20- Cabric M, Appell HJ, Resic A. ***Fine structural changes in electrostimulated human skeletal muscle. Evidence for predominant effects on fast muscle fibres***. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1988;57(1):1-5.

21- Vodovnik L, Rebersek S, Stefanovska A, Zidar J, Aćimović R, Gros N. ***Electrical stimulation for control of paralysis and therapy of abnormal movements.*** Scand J Rehabil Med Suppl. 1988;17:91-7.

22- Selkowitz DM. ***Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation***. Phys Ther, 1985; 65(2):186-96.

23- Parker MG, Bennett MJ, Hieb MA, Hollar AC, Roe AA. ***Strength response in human femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs***. J Orthop Sports Phys Ther. 2003;33(2):719-26.

24- Laughman RK, Youdas JW, Garrett TR, Chao EY. ***Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation***. Phys Ther. 1983;63(4):494-9.

25- Lieber RL, Silva PD, Daniel DM. ***Equal effectiveness of electrical and volitional strength training for quadriceps femoris muscles after anterior cruciate ligament surgery***. J Orthop Res. 1996;14(1):131-8.

26- Ikai M, Yabe K. ***Training effect of muscular endurance by means by voluntary and electrical stimulation***. Int Z Angew Physiol. 1969;28(1):55-60.

27- Snyder-Mackler L, Ladin Z, Schepsis AA, Young JC. ***Electrical stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament. Effects of electrically elicited contraction of the quadriceps femoris and hamstring muscles on gait and on strength of the thigh muscles***. J Bone Joint Surg Am. 1991;73(7): 1025-36.

28- Rich NC. ***Strength training via high frequency electrical stimulation***. J Sports Med Phys Fitness. 1992;32(1): 19-25.

29- Matsuse H, Shiba N, Umezu Y, Nago T, Tagawa Y, Kakuma T, et al. ***Muscle training by means of combined electrical stimulation and volitional contraction***. Aviat Space Environ Med. 2006;77(6):581-5.

30- Paillard T. ***Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions***. Sports Med. 2008;38(2):161-77.

31- Paillard T, Noé F, Passelergue P, Dupui P. ***Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction.*** Sports Med. 2005;35(11):951-66.

[Downloaded from jssu.ssu.ac.ir on 2026-11-22]