

# Effect of an Exercise Protocol Focusing on Vastus Medialis Activation on the Cross-Sectional Area and Electrical Activity of the Vastus Medialis and Vastus Lateralis

Seyyed Hossein Hosseini<sup>1\*</sup>, Shahabeddin Bagheri<sup>2</sup>

1. Assistant Professor of Sport Biomechanics, Department of Physical Education, University of Guilan, Iran
2. Assistant Professor of Corrective Exercises, Department of Physical Education, University of Nahavand

Received: 2019 September 06 Revised: 2019 October 09 Accepted: 2020 March 18 Published Online: 2020 April 20

## ABSTRACT

**Background and Aims:** In patients with lateral patellofemoral compression syndrome, the vastus medialis muscle is weaker than the vastus lateralis muscle. The purpose of the present study was to investigate the effect of an exercise protocol focusing on vastus medialis activation on the electrical activity and cross-sectional areas of the vastus medialis and vastus lateralis muscles.

**Materials and Methods:** In the current study, 30 females with lateral patellofemoral compression syndrome, aged  $25.4 \pm 5.7$ , were selected and randomly divided into two groups. The experimental group participated in isokinetic knee extension exercises at terminal  $30^\circ$  extension arc with maximal external rotation of the leg for eight weeks. The control group did not participate in any regular exercise. Before and after the intervention, the cross sectional areas and electrical activities of the vastus medialis and vastus lateralis muscles were measured using ultrasonography and electromyography. Data were analyzed running independent and paired t-tests at the significance level of  $P < 0.05$ .

**Results:** There were no significant differences in any of the variables between the two groups before intervention ( $P < 0.05$ ). But after the intervention, the vastus medialis/vastus lateralis activity and cross-sectional area ratio in the experimental group were found to be significantly higher than those of the control group ( $P < 0.001$ ).

**Conclusion:** According to the results, using isokinetic knee extension exercises can selectively strengthen the vastus medialis muscle and reduce the imbalance between vastus medialis and lateralis muscles in patients with lateral patellofemoral compression syndrome.

**Keywords:** Muscular activation; Vastus medialis; Vastus lateralis; Cross sectional area; Electrical activity

**How to cite this article:** Seyyed Hossein Hosseini, Shahabeddin Bagheri. Effect of an exercise protocol focusing on vastus medialis activation on the cross-sectional area and electrical activity of the vastus medialis and vastus lateralis. J Rehab Med. 2021, 9(4):196-206.

\*Corresponding Author: Seyyed Hossein Hosseini. Assistant professor, Department of physical education, Faculty of sports sciences, University of Guilan, Iran  
Email: hoseini.papers@gmail.com

## تاثیر یک پروتکل تمرینی متمرکز بر فعال سازی عضله پهن داخلی بر سطح مقطع و فعالیت الکتریکی عضلات پهن داخلی و پهن خارجی

سید حسین حسینی\*<sup>۱</sup>، شهاب‌الدین باقری<sup>۲</sup>

۱. استادیار بیومکانیک ورزشی، گروه تربیت بدنی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران  
 ۲. استادیار حرکات اصلاحی، گروه تربیت بدنی، دانشگاه نهاوند

پذیرش مقاله ۱۳۹۸/۱۲/۲۸

بازنگری مقاله ۱۳۹۸/۰۷/۱۷

دریافت مقاله ۱۳۹۸/۰۶/۱۵

### چکیده

**مقدمه و اهداف:** در بیماران واجد سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال، عضله پهن داخلی ضعیف‌تر از عضله پهن خارجی می‌باشد. هدف پژوهش حاضر بررسی اثر یک پروتکل تمرینی متمرکز بر فعال‌سازی عضله پهن داخلی بر سطح مقطع و فعالیت الکتریکی عضلات پهن داخلی و خارجی می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در مطالعه حاضر، ۳۰ زن مبتلا به سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال با میانگین سنی ۲۵/۴±۵/۷ سال انتخاب و به‌طور تصادفی به دو گروه برابر تقسیم شدند. گروه تجربی، در تمرینات ایزوکینتیک اکستنشن زانو در قوس حرکتی ۳۰ درجه انتهایی با چرخش خارجی بیشینه ساق پا به مدت ۸ هفته شرکت نمودند. گروه کنترل در هیچ تمرین منظمی مشارکت نداشتند. قبل و پس از مداخله، سطح مقطع و فعالیت الکتریکی عضلات پهن داخلی و خارجی به‌وسیله اولتراسونوگرافی و الکترومایوگرافی اندازه‌گیری شد. داده‌ها، با آزمون t مستقل و همبسته در سطح معناداری  $P < 0/05$  آنالیز گردید.

**یافته‌ها:** قبل از مداخله، در هیچ‌یک از متغیرها بین دو گروه اختلاف معناداری مشاهده نشد ( $P > 0/05$ )، اما بعد از مداخله، نسبت فعالیت و سطح مقطع عضله پهن داخلی به پهن خارجی در گروه تجربی به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود ( $P < 0/001$ ).

**نتیجه‌گیری:** استفاده از تمرینات ایزوکینتیک اکستنشن زانو مطابق پژوهش حاضر، می‌تواند سبب تقویت انتخابی عضله پهن داخلی و کاهش ایملانس بین عضلات پهن داخلی و خارجی در بیماران مبتلا به سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال گردد.

**واژه‌های کلیدی:** فعال‌سازی عضلانی؛ پهن داخلی؛ پهن خارجی؛ سطح مقطع عضله؛ فعالیت الکتریکی

نویسنده مسئول: سید حسین حسینی، استادیار بیومکانیک ورزشی، گروه تربیت بدنی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران  
 آدرس ایمیل: hoseini.papers@gmail.com

## مقدمه و اهداف

و بسته را روی معماری عضله پهن داخلی مایل بررسی کرده و نشان دادند که هر دو برنامه سبب افزایش زاویه تار و طول محل اتصال دیستال این عضله می‌شوند، اما هیچ‌کدام بر دیگری ارجحیت ندارند.<sup>[۷]</sup> همچنین سالاری و همکاران اثر ۸ هفته تمرینات مقاومتی را بر سطح مقطع عضلات پهن داخلی و پهن خارجی در زنان مبتلا به درد کشکی-رانی بررسی کردند؛ در این تحقیق اگرچه سطح مقطع عضله پهن داخلی اندکی بیشتر از عضله پهن خارجی افزایش پیدا کرد، اما تفاوت این دو به لحاظ آماری معنادار نبود.<sup>[۸]</sup> یک مطالعه که نتایج موفقی را نشان داد، مطالعه خشخو و همکاران بود که در آن تمریناتی برای تقویت جداگانه عضله پهن داخلی طراحی شده بود<sup>[۹]</sup>، ولی این تمرینات جنبه کلینیکی داشتند و مقایسه‌ای بین عضله پهن داخلی با سایر عضلات چهارسر ران صورت نگرفته بود.

از این رو، ضرورت دارد که تمریناتی با مکانیزم مشخص طراحی شود که به موجب آن عضله پهن داخلی به صورت جداگانه و بیشتر از سایر عضلات گروه چهارسر تقویت شود که تاکنون چنین تمریناتی برای شرایط پاتولوژیک از قبیل سندروم درد پاتلوفمورال، سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال و درد قدامی زانو طراحی نشده است. حسینی و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی مشابه اما به روشی متفاوت چنین موضوعی را در یک مدل عضلانی-اسکلتی اجرا کرده و نتایج مثبتی گرفته‌اند.<sup>[۱۰]</sup> با الگوبرداری از چنین تحقیقی، پژوهشگران مطالعه حاضر درصدد برآمدند تا همان تحقیق را این بار روی افراد انسانی با شرایط پاتولوژیک (سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال) و در شرایط واقعی (و نه بر روی مدل) اجرا کنند. همچنین تمرکز مقالات محدودی که در گذشته انجام شده بر روی افراد سالم بوده است و غالباً به اندازه‌گیری قدرت به روش آزمون دستی یا دینامومتر و یا بررسی فعالیت الکتریکی پرداخته‌اند که هیچ‌کدام برآورد دقیقی از قدرت عضله نشان نمی‌دهد؛ بنابراین از مهمترین دلایل تمایز پژوهش حاضر، بررسی اثر تمرینات ایزوکینتیک بر تقویت انتخابی عضله پهن داخلی است که نه در افراد سالم بلکه در شرایط پاتولوژیک (افراد مبتلا به سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال) انجام شده است. همچنین در این تحقیق از اولتراسونوگرافی در کنار الکترومایوگرافی استفاده شده است زیرا به کار بردن این دو ابزار در کنار هم می‌تواند برآورد دقیق‌تری از فعالیت و ویژگی‌های عضلات فراهم نماید؛ لذا هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی اثر یک پروتکل تمرینی ویژه شامل تمرین اکستنشن ایزوکینتیک زانو در ۳۰ درجه انتهایی قوس حرکتی با چرخش خارجی بیشینه ساق پا بر نسبت

یکی از آسیب‌پذیرترین و پیچیده‌ترین مفاصل در بدن انسان، مفصل زانو است که خود از دو مفصل تیبیوفمورال و پاتلوفمورال تشکیل شده است. درد پاتلوفمورال از شایع‌ترین آسیب‌های مجموعه مفصلی زانو است که در میان جوانان به‌خصوص زنان شیوع بیشتری دارد و از مهمترین نشانه‌های آن احساس درد در سطوح مفصلی کشکی-رانی به‌ویژه در ناحیه قدامی و خارجی مفصل می‌باشد.<sup>[۱]</sup> در صورتی که درد پاتلوفمورال به طول انجامد یا به‌درستی درمان نشود، به علت انحراف کشکک به خارج در اثر اختلالات پاتولوژیک بافت نرم خارجی زانو، به سطح مفصلی خارجی کشکک فشاری غیرطبیعی تحمیل می‌گردد که به سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال<sup>۱</sup> موسوم است و سبب درد و ناتوانی این ناحیه به‌ویژه در هنگام فلکشن زانو می‌شود.<sup>[۲]</sup> از جمله عوامل دخیل در بروز این سندروم می‌توان به افزایش زاویه کیو، استفاده بیش‌ازحد از مفصل پاتلوفمورال مخصوصاً در دوندگان یا افرادی که به‌صورت مکرر بالا و پایین رفتن از پله‌ها را تجربه می‌کنند و همچنین نشستن و چمپاتمه زدن به مدت طولانی اشاره داشت.<sup>[۳]</sup> همچنین عوامل ساختاری از قبیل شیفت پاتلا به بالا،<sup>۲</sup> اختلالات کنديل ران و ژنوالگوم (زانو ضربدری) نیز از عوامل سهیم در ایجاد این سندروم می‌باشد.<sup>[۴]</sup> به‌علاوه، شواهد علمی نشان داده است که افراد مبتلا به این سندروم نسبت به افراد سالم، دارای ضعف عضلات هیپ و زانو هستند.<sup>[۵]</sup> به‌رحال اگرچه در علت‌شناسی چنین اختلالی یک مکانیسم چندعاملی پیشنهاد شده است، لیکن یکی از مهمترین دلایل پذیرفته‌شده آن ایمبالانس بین عضلات پهن داخلی و خارجی و مورفولوژی غیرطبیعی عضلات اکستنسور زانو بوده است.<sup>[۶]</sup> اتفاق نظر وجود دارد که عدم تعادل در بین نیروهای عضلات پهن داخلی و پهن خارجی می‌تواند موجب حرکت غیرطبیعی کشکک در شیار کشکی ران و در نتیجه توسعه سندروم درد پاتلوفمورال شود.<sup>[۱]</sup> عضلات پهن داخلی و پهن خارجی به دلیل جهت امتداد تارها نقش مهمی در جابه‌جایی و تیلت استخوان کشکک به سمت داخل و خارج دارند.

تحقیقات نشان می‌دهد تقویت بیشتر عضله پهن داخلی مایل نسبت به عضله پهن خارجی سبب بازگشت کشکک به درون شیار کشکی ران شده و عامل مهم و تاثیرگذاری در پیشگیری و درمان سندروم پاتلوفمورال می‌باشد؛ بنابراین محققان تلاش کرده‌اند تا تمریناتی طراحی کنند که عضله پهن داخلی مایل به‌صورت ایزوله (انتخابی) تقویت شود، لیکن تاکنون تلاش‌های انجام‌شده موفقیت‌آمیز نبوده است. از جمله النیل و همکاران (۲۰۱۷) اثر دو برنامه تمرینی در زنجیره‌های حرکتی باز

<sup>2</sup> Patella Alta

<sup>1</sup> Lateral Patellar Compression Syndrome

نداشتن مقدار شاخص توده بدنی نرمال و بوریسیت قدام زانو.

### روش‌های اندازه‌گیری متغیرها

#### سطح مقطع عضلات

از یک دستگاه اولتراسوند دیجیتال دوبعدی (SonoSite M-Turbo, Inc., Bothell, WA, USA) مجهز به یک پروب خطی (HFL38 mm 6-13 MHz Linear Probe)، ساخت کمپانی SonoSite کشور امریکا برای تصویربرداری از سطح مقطع<sup>۱</sup> عضلات استفاده شد. این دستگاه، تصویری با کیفیت بالا که دارای رزولوشن و کنتراست بسیار بالایی است، ارائه می‌دهد. قبل و پس از اعمال برنامه تمرینی، رویه‌های قدامی-داخلی (عضله پهن داخلی) و قدامی-خارجی (عضله پهن خارجی) انتهای دیستال ران با استفاده از دستگاه مذکور تحت شرایط استریل، اسکن شد. مساحت سطح مقطع عضلات در سطح قاعده پاتلا (عضله پهن داخلی): از پروکسیمال‌ترین نقطه اتصالش در کناره بالایی پاتلا تا دیستال‌ترین نقطه اتصالش در کناره داخلی پاتلا و عضله پهن خارجی: از پروکسیمال‌ترین نقطه اتصالش در کناره بالایی پاتلا تا دیستال‌ترین نقطه اتصالش در کناره خارجی پاتلا) برحسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد.<sup>۱۱۱</sup> هنگام ارزیابی، آزمودنی‌ها به صورت طاقباز روی یک تخت قرار گرفتند و زانو در پوزیشن فول‌اکستنشن و هر دو اندام تحتانی در حالت ریلکس بوده (شکل ۱) و اندام مورد آزمون، برای جلوگیری از چرخش، از ناحیه پا ثابت گردید.<sup>۱۱۲</sup> هنگام قرار دادن پروب اولتراسوند روی پوست آزمودنی، حداقل فشار اعمال گردید تا از خارج شدن سطح عضله از شکل طبیعی خود جلوگیری شود. تمامی ارزیابی‌های سونوگرافیک توسط یک دستگاه و یک تکنسین متخصص صورت گرفت.

فعالیت الکتریکی و سطح مقطع عضله پهن داخلی به عضله پهن خارجی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### جامعه و نمونه تحقیق

پژوهش حاضر از نوع پژوهش‌های نیمه‌تجربی و به لحاظ هدف از نوع پژوهش‌های کاربردی است. جامعه آماری پژوهش را کلیه زنان مبتلا به سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال تشکیل داده‌اند. نمونه‌های تحقیق به روش در دسترس از بین مراجعه‌کنندگان شهر تهران به کلینیک‌های ارتوپدی و فیزیوتراپی که شرایط ورود به مطالعه را داشته و حاضر به شرکت در مطالعه بودند، انتخاب شدند. ۳۰ نفر از این بیماران به‌طور تصادفی به یکی از ۲ گروه تجربی (۱۵ نفر) و کنترل (۱۵ نفر) اختصاص داده شدند. از بین آزمودنی‌ها، ۲۴ نفر راست‌پا و ۶ نفر چپ‌پا بودند. معیارهای ورود آزمودنی‌ها به تحقیق<sup>۱۲</sup> عبارت بودند از احساس درد در اطراف مفصل پاتلوفمورال به‌ویژه کناره خارجی آن در حداقل دو مورد از فعالیت‌های نشستن طولانی‌مدت، بالا رفتن از پله‌ها، اسکات، دویدن، دو زانو نشستن و لی‌لی کردن، مثبت بودن جواب تست کلارک، مثبت بودن جواب تست عملکردی زانو، مثبت بودن جواب تست فشار پاتلا، مثبت بودن جواب تست وحشت پاتلا، وجود علائم سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال در طول مدتی بیش از ۶ ماه و محدوده سنی ۱۸ تا ۳۰ سال. معیارهای خروج از پژوهش<sup>۱۱</sup> حاضر عبارت بودند از وجود هر گونه آسیب‌های منیسکی یا لیگامنتی زانو، آرتروز زانو، سابقه دررفتگی شدید پاتلا، سابقه قفل‌شدگی زانو، سابقه فیزیوتراپی یا جراحی زانو، وجود اختلالات نورولوژیکی مانند نقص در سیستم دهلیزی، باردار بودن آزمودنی‌ها،



شکل ۱. پوزیشن آزمودنی و روش تصویربرداری سونوگرافی

\*آزمودنی روی یک تخت در پوزیشن طاقباز قرار گرفته و زانو در اکستنشن و هر دو اندام تحتانی در حالت ریلکس بودند.

## فعالیت الکتریکی عضلات

به منظور ارزیابی فعالیت الکتریکی عضلات پهن داخلی و خارجی قبل و پس از اعمال برنامه تمرینی از یک دستگاه الکترومایوگرافی سطحی ۸ کاناله (P3X8, DataLog, Biometrics Ltd, Cwmfelinfach, Gwent, UK) و الکترودهای فعال<sup>۱</sup> دوقطبی از جنس نقره-کلرید نقره به قطر ۱۰ میلی متر، با بهره ۱۰۰۰، مقاومت ورودی ۱۰<sup>۱۵</sup> اهم، نسبت سیگنال به نویز ۱۱۰ دسی بل در ۶۰ هرتز و پهنای باند ۲۰-۴۵۰ هرتز استفاده شد. بعد از آماده کردن پوست محل مورد نظر، یک جفت الکتروده سطحی با فاصله ۲۰ میلی متری از مرکز یکدیگر روی محل های تعیین شده قرار داده شد. الکترودها برای عضله پهن داخلی، تقریباً ۴ سانتی متر بالاتر و ۳ سانتی متر داخل تر نسبت به گوشه فوقانی-داخلی پاتلا و در زاویه ای ۵۵ درجه ای نسبت به محور طولی ران و برای عضله پهن خارجی، ۱۰ سانتی متر بالاتر و ۷ سانتی متر خارج تر از گوشه فوقانی پاتلا در زاویه ای ۱۵ درجه ای با محور طولی ران نصب شدند.<sup>۱۳۱</sup> برای پردازش سیگنال های EMG از نرم افزار DataLOG استفاده شد. سیگنال های خام EMG به وسیله یک کانورتر ۱۲ A/D-بیتی با سرعت سمپلینگ ۱۰۰۰ هرتز، به عدد تبدیل شده و در باند ۲۰-۴۵۰ هرتز فیلتر شده و به شیوه ریشه میانگین مجزورات (RMS) تحلیل گردید.

فعالیت EMG عضلات در عمل اکستنشن کانسنتریک از پوزیشن مرجع فلکشن ۴۵ درجه زانو در وضعیت نشسته با انکل در وضعیت نئوترال، در طی ۳ ثانیه ثبت شد. زانو در پایان این حرکت، ۲ ثانیه در فول اکستنشن نگه داشته می شد. عمل مذکور ۳ بار با فاصله زمانی ۹۰ ثانیه تکرار شده و میانگین داده های این سه بار محاسبه می شد. برای نرمالیز کردن سیگنال های الکترومایوگرافی، انقباض MVIC هم قبل از مداخلات و هم پس از آن انجام شد. برای MVIC، آزمودنی ها تشویق شدند تا با فرمان شفاهی، عضلات کوادریسپس را در فول اکستنشن به طور ایزومتریک با حداکثر تلاش منقبض نمایند. سه انقباض MVIC هر یک به مدت ۶ ثانیه و با فاصله زمانی ۹۰ ثانیه از هم اجرا شد. میانگین RMS برای هر یک از عضلات مورد مطالعه در طی عمل اکستنشن کانسنتریک، بر میانگین RMS به دست آمده از انقباضات مرجع همان عضله در طول MVIC در فول اکستنشن زانو، تقسیم و سپس در عدد ۱۰۰ ضرب گردید؛ لذا مقادیر فعالیت میوالکتریکی به صورت درصد (/) ارائه شد.

## پروتکل تمرینی

برای اجرای برنامه تمرینی از دستگاه دینامومتر ایزوکینتیک بایودکس (Biodex System 4 Pro Multi-joint Machine) ساخت کمپانی بایودکس آمریکا استفاده شد. آزمودنی ها قبل از اجرای تمرینات خود، در یک دوره ۷ دقیقه ای گرم کردن شامل عضلات همسترینگ، دوقلو، چهارسر ران و نوار ایلئوتیبیال شرکت نمودند. پروتکل تمرینی به صورت تمرین اکستنشن ایزوکینتیک زانو با سرعت های ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه بر ثانیه و در وضعیت حداکثر چرخش خارجی قابل تحمل ساق پا از پوزیشن مرجع فلکشن ۳۰ درجه زانو بود. این تمرین به صورت سیکل کانسنتریک-اکسنتریک اجرا شد. در طی اجرای تمرینات با استفاده از ایزوکینتیک، آزمودنی ها در حالت نشسته بوده (زاویه هیپ ۱۰۰ درجه) و تنه آنها در پوزیشن نسبتاً عمودی قرار داشت و مرکز دینامومتر، منطبق بر محور چرخش زانو تنظیم گردید. محور چرخش زانو منطبق بر انتهای ران در راستای دو کندیل دیستال آن در نظر گرفته شد. با استفاده از بلت های ویژه، تنه به پشتی صندلی و ران به نشیمنگاه بسته و محکم شده و ساق پا کمی بالاتر از مچ به بازوی دینامومتر متصل گردید (شکل ۳) و از این قسمت، در حین اکستنشن زانو، حداکثر گشتاور به زانو اعمال می شد. همچنین با استفاده از یک نوار محکم بدون هر گونه قابلیت کش آمدن، حداکثر میزان چرخش خارجی قابل تحمل به ساق پا اعمال می گردید (شکل ۳).

تمرینات به مدت ۸ هفته، هر هفته ۳ روز، هر روز، ۳ تمرین، و هر تمرین ۳ ست ۱۰ تا ۱۶ تکراری انجام شد. بین ست ها ۱ تا ۲ دقیقه و بین تمرین ها ۱/۵ تا ۳ دقیقه استراحت در نظر گرفته شد. در پایان هر جلسه تمرینات اصلی، آزمودنی ها در یک دوره تمرینات خنک کردن به مدت ۵ دقیقه شرکت کردند. مدت زمان متوسط هر جلسه تمرینی با احتساب تمرینات گرم کردن و خنک کردن، ۲۸ دقیقه و تعداد جلسات تمرینی ۲۴ جلسه (۸ هفته × ۳ روز در هفته) بود؛ بنابراین حجم کلی تمرین برابر با ۶۷۲ دقیقه (۲۴ × ۲۸) بود. افراد مختص به گروه کنترل در ابتدای مطالعه ارزیابی شدند، سپس به آنها توصیه گردید تا از هر گونه اشکال جدید و اختصاصی برنامه های تمرینی خودداری کنند تا به دنبال ارزیابی اولیه، ۸ هفته بعد مجدداً ارزیابی شوند.

<sup>1</sup> Active Electrode





شکل ۳. نحوه نشستن بر روی دستگاه ایزوکینتیک

\*مفصل هیپ در زاویه تقریباً ۱۰۰ درجه تنظیم شد و تنه و ران با بلت‌های ویژه به صندلی بسته و محکم شد. ساق پا با استفاده از تسمه‌ای ویژه در پوزیشن حداکثر چرخش خارجی قابل تحمل آزمودنی قرار گرفت.

## نتایج

در جدول ۱، اطلاعات آنترپومتریکی و شخصی آزمودنی‌ها به تفکیک دو گروه مورد مطالعه نشان داده شده است. چنانچه از اطلاعات این جدول مشاهده می‌شود، در هیچ‌یک از این متغیرها تفاوت معناداری بین دو گروه وجود ندارد ( $P > 0/05$ ). به بیانی دیگر، آزمودنی‌های دو گروه به لحاظ ویژگی‌های آنترپومتریکی و شخصی با همدیگر همگن بودند. همچنین، بر اساس نتایج آزمون شاپیرو-ویلک، توزیع همه داده‌ها نرمال بود؛ بنابراین در ادامه آنالیزها از آزمون‌های پارامتریک استفاده شده است.

## روش‌های آنالیز آماری

از میانگین و انحراف معیار جهت توصیف متغیرها و آزمون‌های  $t$  مستقل و همبسته جهت مقایسه میانگین متغیرها قبل و پس از هر برنامه تمرینی و نیز بین گروه‌های مختلف استفاده گردید. سطح معناداری تفاوت‌ها  $P < 0/05$  در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده در محیط نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۱ و ترسیم نمودارها در محیط نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

جدول ۱. مشخصات آنترپومتریکی و شخصی آزمودنی‌ها به تفکیک دو گروه\*

متغیر	گروه تجربی (n=15)	گروه کنترل (n=15)	سطح معناداری
سن (سال)	۲۴/۹±۶/۶	۲۶/۸±۶/۹	۰/۷۱۴
وزن (kg)	۶۹/۲±۱۰/۱	۶۶/۹±۹/۵	۰/۳۴۹
قد (cm)	۱۶۸/۶±۱۷/۳	۱۶۶/۱±۱۷/۱	۰/۶۵۱
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	۲۲/۵±۴/۰	۲۲/۱±۳/۱	۰/۷۰۷
مدت زمان علائم بیماری (ماه)	۳۴/۷±۱۲/۵	۳۵/۸±۱۴/۹	۰/۵۶۳
حداکثر چرخش خارجی تیبیا (درجه)	۴۷/۶±۱۷/۴	۴۴/۹±۱۴/۶	۰/۳۹۸
زاویه Q (درجه)	۱۵/۸±۳/۴	۱۶/۵±۴/۲	۰/۴۷۲

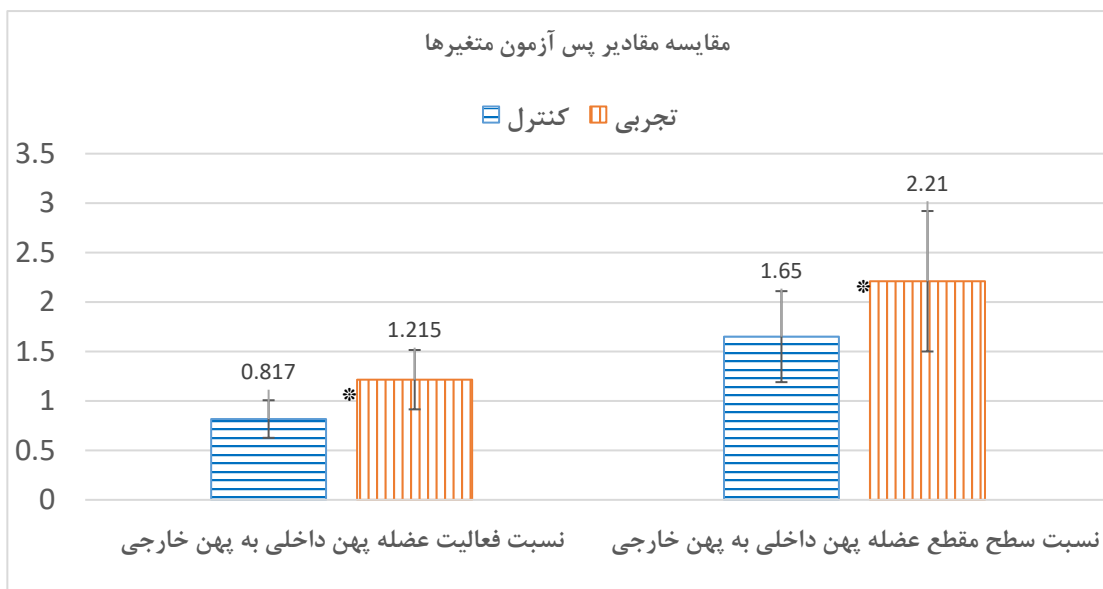
\*داده‌ها به صورت میانگین±انحراف استاندارد گزارش شده است.

که شکل ۳ نشان می‌دهد، نسبت فعالیت عضله پهن داخلی به پهن خارجی در گروه تجربی به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود ( $P = 0/000$ ). همچنین اطلاعات شکل ۳ نشان می‌دهد که نسبت سطح مقطع عضله پهن داخلی به پهن خارجی در گروه تجربی به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود ( $P = 0/000$ ).

به‌علاوه، مطابق نتایج آزمون  $t$  مستقل (جدول ۲)، قبل از مداخله تفاوت معناداری در متغیرهای وابسته بین دو گروه وجود نداشت ( $P > 0/05$ )، اما مقایسه مقادیر متغیرها بعد از دوره تمرینی (پس‌آزمون) نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های معناداری بین دو گروه بود. همان‌گونه

جدول ۲. مقایسه مقادیر متغیرهای الکترومایوگرافی و سونوگرافی بین دو گروه در قبل از مداخله

متغیر	گروه	میانگین	مقدار t	Sig
نسبت فعالیت عضله پهن داخلی به پهن خارجی	کنترل	0/۸۳۹±0/۱۷	۲/۲۷	0/۴۹۳
	تجربی	0/۸۰۸±0/۱۵		
نسبت سطح مقطع عضله پهن داخلی به پهن خارجی	کنترل	۱/۶۷±0/۴۷	۴/۶۶	0/۷۱۵
	تجربی	۱/۶۴±0/۴۸		



شکل ۳. مقایسه متغیرهای نسبت فعالیت و سطح مقطع عضلات پهن داخلی به پهن خارجی بین دو گروه کنترل و تجربی در پس آزمون

\* تفاوت معنادار بین دو گروه در سطح  $P < 0/01$

داخلی می شود<sup>[۱۶]</sup>؛ از این رو، تارهای پهن داخلی برای پارگی های میکروسکوپی درون عضلانی و لذا هایپرتروفی مستعدتر از تارهای کندانقباض پهن خارجی می باشد.<sup>[۱۷]</sup> به علاوه، تارهای عضله پهن داخلی کوتاهتر از تارهای عضله پهن خارجی بوده<sup>[۱۹]</sup> و لذا در طی یک عملکرد عضلانی مشترک روی زانو، سارکومرهای پهن داخلی ممکن است تحت کشش بیشتری قرار گرفته و میکروروپچرهای بیشتری را متحمل شوند. علاوه بر این، پاسخ هایپرتروفیک بیشتر عضله پهن داخلی احتمالاً با تفاوت در جهت انتقال نیرو بی ارتباط نباشد زیرا در عضله پهن داخلی نیروها نه تنها به طور طولی به ساختارهای تاندونی منتقل می شود بلکه به طور عرضی به بافت های همبند نیز منتقل می گردد.<sup>[۲۰]</sup>

در تمرینات ایزوکینتیک پژوهش حاضر از هر دو نوع تمرین کانسنتریک و اکسنتریک استفاده شد. از آنجایی که در تمرینات اکسنتریک به دلیل تولید نیروی غیرفعال به وسیله اجزای الاستیک، تنش بیشتری در عضله هدف تولید می شود<sup>[۲۱]</sup>، لذا این تمرینات با تولید نیروی بیشتری همراه خواهد بود. این رفتار ویژه، همراه با غیریکنواخت بودن طول سارکومر در طی این نوع عمل عضلانی سبب پارگی هایی در ساختارهای میکروسکوپی بافت عضلانی می شود.<sup>[۱۷، ۲۲]</sup> نشان داده شده است که

## بحث

### نسبت سطح مقطع عضلات

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که شرکت در تمرینات گروه تجربی سبب افزایش معنادار نسبت سطح مقطع عضله پهن داخلی به عضله پهن خارجی می شود؛ این بدان معنا است که با تمرینات اکستنشن ایزوکینتیک زانو در قوس انتهایی حرکت اکستنشن با حداکثر چرخش خارجی تبیبا، سطح مقطع عضله پهن داخلی افزایش می یابد، درحالی که سطح مقطع عضله پهن خارجی بدون تغییر بوده یا افزایش کمتری داشته است. این یافته از آن جهت قابل توجه است که اغلب پیشنهاد شده است که آتروفی عضله پهن داخلی نقش مهمی را در پاتوفیزیولوژی یک مفصل پاتلوفمورال ناپایدار بازی می کند.<sup>[۱۴]</sup> از طرفی دیگر، نشان داده شده است که تیلت خارجی پاتلا با سطح مقطع این عضله رابطه منفی دارد.<sup>[۱۲]</sup> به بیان دیگر، می توان انتظار داشت که در حضور آتروفی و ضعف عضله پهن داخلی احتمال تیلت و بدراستایی خارجی پاتلا و در نتیجه احتمال ظهور درد و فشار خارجی پاتلوفمورال بیشتر باشد.

درصد تارهای تندانقباض در عضله پهن داخلی بیشتر از عضله پهن خارجی است.<sup>[۱۵]</sup> این امر سبب ظرفیت اکسیداتیو کم و ظرفیت تولید نیروی بالای تارهای پهن

کاهش ناپایداری خارجی پاتلا شود.<sup>[۲۶]</sup> همچنین اخیراً فرانک و همکاران افزایش‌های معناداری را در ضخامت هر دو عضله پهن داخلی و پهن خارجی در مردان سالم پس از تمرین اکسنتریک ایزوکینتیک نشان دادند و اظهار داشتند که تمرین اکسنتریک ایزوکینتیک، سازگاری‌های مورفولوژیکی بیشتری را در عضله پهن داخلی در مقایسه با پهن خارجی تولید می‌کند. آنها اظهار داشتند که این عضلات سینرجیست به یک برنامه تمرین قدرتی ایزوکینتیک پاسخ متفاوتی می‌دهد.<sup>[۲۱]</sup> بنابراین می‌توان اذعان نمود که چنین رفتار متفاوتی از این دو عضله می‌تواند در هنگام مواجهه با اختلالاتی از قبیل سندروم درد پاتلوفمورال و سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال که سبب ایمبالانس پاسخ مورفولوژیکی و عصبی این دو عضله می‌شود، حائز اهمیت باشد.

### نسبت فعالیت الکتریکی عضلات

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، ۸ هفته اجرای تمرینات اکستنشن ایزوکینتیک زانو در قوس انتهایی حرکت اکستنشن (۳۰ درجه انتهایی) با حداکثر چرخش خارجی تیبیا توانست سبب افزایش نسبت فعالیت عضله پهن داخلی به پهن خارجی گردد؛ این بدان معنا است که با چنین تمرینی فعالیت عضله پهن داخلی افزایش می‌یابد، درحالی‌که فعالیت عضله پهن خارجی کاهش یافته یا بدون تغییر باقی می‌ماند. یک دلیل مهم برای افزایش فعالیت عضله پهن داخلی پس از تمرینات گروه تجربی، به رابطه طول-تنش این عضله مربوط می‌شود. در پروتکل تمرینی گروه تجربی، چرخش خارجی بیشینه ساق پا سبب کشش عضله پهن داخلی شده است؛ لذا نیروی انقباضی آن به اوج خود می‌رسد. این امر را می‌توان با افزایش طول و افزایش فعالیت الکتریکی عضله پهن خارجی در طی چرخش داخلی تیبیا که توسط محققان گزارش شده است<sup>[۲۷]</sup>، همسو دانست. این محققان بر اساس شواهد خود مبنی بر افزایش فعالیت پهن خارجی در طی چرخش داخلی تیبیا پیشنهاد کردند که چرخش داخلی برای تقویت انتخابی پهن داخلی کارساز نخواهد بود.<sup>[۲۷]</sup> دلیل مهم دیگر برای فعالیت بیشتر پهن داخلی با پروتکل تمرینات ایزوکینتیک پژوهش حاضر احتمالاً به فاز تمرینی اکسنتریک از سیکل کانسنتریک-اکسنتریک این پروتکل مربوط باشد چرا که مشخص شده است در این‌گونه تمرینات، بخش داخلی کوادریسپس بیشتر مورد تاکید قرار می‌گیرد.<sup>[۲۱]</sup> بنابراین به نظر می‌رسد بخش‌های مختلف کوادریسپس پاسخ‌های ویژه و متفاوتی به تمرینات ایزوکینتیک بدهد. سومین دلیل قابل توجه، اثربخشی بیشتر تمرینات ایزوکینتیک (در قیاس با سایر انواع تمرینات) بر تقویت تارهای تندانقباض از جمله عضله کوادریسپس است.<sup>[۲۸]</sup> از طرفی دیگر، اثبات شده است که عضله پهن داخلی از درصد بیشتری از تارهای تندانقباض در مقایسه با پهن خارجی تشکیل شده است.<sup>[۱۵]</sup>

چنین میکروویچرهایی در بافت عضلانی، عامل اصلی هایپرتروفی و افزایش سطح مقطع عضله است.<sup>[۲۳]</sup> سازگاری مورفولوژیکی از قبیل هایپرتروفی تارهای عضلانی، پاسخی کلیدی به تمرینات اکسنتریک است و ارجحیت تمرینات اکسنتریک بر تمرینات کانسنتریک به لحاظ تاثیر بر توده عضلانی مورد تایید قرار گرفته است.<sup>[۲۴]</sup> این مشاهدات به‌طور معمول با سطوح بالاتر پارگی‌های میکروسکوپی در بافت عضله در اثر تمرینات اکسنتریک مرتبط است زیرا این پارگی‌ها یک مکانیسم کلیدی برای فرآیند بازسازی است که سبب افزودن سارکومرهای موازی و هایپرتروفی عضلانی می‌شود.<sup>[۲۳]</sup> متأسفانه ادبیات تحقیقاتی بسیار اندکی راجع به مداخلات تمرینی برای بهبود مورفولوژی عضلات بیماران مبتلا به اختلالات مزمن مفصل پاتلوفمورال وجود دارد؛ اندک مطالعات موجود نیز غالباً بر زاویه تار و طول محل اتصال دیستال عضله پهن داخلی متمرکز داشته‌اند و کمتر به مقایسه حجم عضلات پهن داخلی و خارجی پرداخته‌اند. از جمله النیل و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که هر دو برنامه تمرینی در زنجیره‌های حرکتی باز و بسته سبب افزایش زاویه تار و طول محل اتصال دیستال این عضله می‌شوند، اما هیچ‌کدام بر دیگری ارجحیت ندارند.<sup>[۷]</sup> آرناتا و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که برنامه‌های تمرینی تجویز شده برای درد پاتلوفمورال اگرچه ممکن است از اثر مثبتی روی زاویه تار و طول اتصال عضله پهن داخلی برخوردار باشد، اما ضروری است برای حفظ فواید حاصله، این تمرینات حداقل به‌صورت دوبار در هفته ادامه داشته باشد.<sup>[۶]</sup> هیلال و همکاران (۲۰۱۸) اثر برنامه تقویت عضله پهن داخلی مایل با و بدون تحریک الکتریکی نروماسکولار را روی زاویه تار و طول اتصال اینسرشن عضله پهن داخلی مایل مورد مقایسه قرار داده و نشان دادند که تحریک الکتریکی عضله، اثرات برنامه تمرینی روی زاویه تارهای این عضله را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد.<sup>[۲۵]</sup> در توافق با یافته‌های پژوهش حاضر، سونگ و همکاران پس از یک مداخله ۸ هفته‌ای تمرینات پرس پا، بهبود معناداری در سطح مقطع و حجم عضله پهن داخلی در بیماران واجد سندروم درد پاتلوفمورال نشان دادند؛ آنها نتیجه گرفتند که تمرینات پرس پا می‌تواند در مراکز بالینی در مواجهه با مبتلایان به سندروم درد پاتلوفمورال به کار رود.<sup>[۱۱]</sup> همچنین، ونگ و همکاران در پژوهشی با مقایسه اثر ۲ نوع تمرین شامل تمرین هایپرتروفی عضلانی (با هدف افزایش توده عضله) و تمرین قدرتی (با هدف افزایش قدرت عضله) در افراد سالم، بهبودهای مشابهی را در حجم عضله پهن داخلی و قدرت اکستنشن زانو در هر دو گروه تمرینی گزارش کردند و این مقادیر در هر دو گروه تمرینی از گروه کنترل بیشتر بودند. آنها پیشنهاد کردند که یک برنامه تمرینی مناسب، چه با هدف افزایش توده عضله و یا با هدف افزایش قدرت عضله، می‌تواند منجر به هایپرتروفی عضله پهن داخلی و



این محققان، در پژوهشی روی مردان سالم نشان دادند که تمرین اکسنتریک ایزوکینتیک می‌تواند سبب افزایش معنادار فعالیت الکتریکی عضله پهن داخلی در قیاس با پهن خارجی شود. این محققان پیشنهاد کردند که چنین پاسخ متفاوتی می‌تواند در بهبود بالانس بین فعالیت این دو عضله در مواجهه با اختلالاتی نظیر سندروم درد پاتلوفمورال حائز اهمیت باشد<sup>[۲۱]</sup> (۲۰).

با وجود نتایج قابل توجه پژوهش حاضر، فقدان یک گروه سالم از محدودیت‌های این تحقیق می‌باشد. به نظر می‌رسد که گنجاندن یک گروه کنترل سالم بتواند به درک و تحلیل نتایج کمک بیشتری نماید. به‌علاوه، عدم بررسی آزمایشگاهی ضعف و آتروفی عضلات پهن داخلی و خارجی بیماران در بدو ورود به تحقیق نیز می‌تواند به‌عنوان یکی دیگر از محدودیت‌های تحقیق حاضر مطرح گردد.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، پروتکل تمرینی اکستنشن ایزوکینتیک در حداکثر چرخش خارجی ساق پا با سرعت بالا در قوس حرکتی ۳۰ درجه انتهایی اکستنشن زانو سبب افزایش قابل توجه نسبت فعالیت و سطح مقطع عضله پهن داخلی به عضله پهن خارجی و در نتیجه کاهش ایمبالانس عضلانی بین این دو عضله گردید. بر اساس نتایج پژوهش حاضر و از آنجایی که تشدید ایمبالانس عضلانی بین عضلات پهن داخلی و خارجی از مهمترین مکانیسم‌های اختلالات مزمن مفصل پاتلوفمورال است، این پروتکل تمرینی را می‌توان به‌عنوان شیوه درمانی جدیدی برای بیماران مبتلا به اختلالات مزمن مفصل پاتلوفمورال از جمله سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال مطرح کرد.

### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از طرح پژوهشی مصوب در دانشگاه نهاوند با عنوان «مقایسه تاثیر دو نوع برنامه تمرینی عضلات چهارسر ران بر ویژگی‌های الکترومیوگرافی و اولتراسونوگرافی عضلات اکستنسور زانو در مبتلایان به سندروم فشار خارجی پاتلوفمورال» است؛ بدین‌وسیله از تمامی آزمودنی‌های شرکت‌کننده در این پژوهش و معاونت آموزشی و پژوهشی دانشگاه نهاوند به جهت مساعدت‌های بی‌چشمداشتشان قدردانی به عمل می‌آید.

برخلاف نتایج پژوهش حاضر، محققان دیگر نشان داده‌اند که هر دو نوع تمرینات زنجیره باز و بسته، بخش‌های عضلانی پهن داخلی و پهن خارجی را به‌طور مشابهی فعال می‌کنند و اظهار داشته‌اند که در این تمرینات، فعال‌سازی انتخابی عضله پهن داخلی نسبت به پهن خارجی در انقباضات ایزومتریک زیربیشینه قابل حصول نیست.<sup>[۲۹]</sup> میرزاییگی و همکاران، ۹ سری تمرینات تقویتی طراحی کردند تا عضله پهن داخلی به‌صورت جداگانه نسبت به دو عضله پهن میانی و پهن خارجی تقویت شود، اما تلاش‌های این محققان بی‌نتیجه بود و این تمرینات نتوانست باعث تقویت ایزوله عضله پهن داخلی شود.<sup>[۳۰]</sup> به‌علاوه، کوشیون و همکاران هیچ تفاوتی را در نسبت فعالیت عضله پهن داخلی به پهن خارجی بین ۴ نوع وظیفه حرکتی گزارش نکردند، لیکن نشان دادند که اکستنشن در یک قوس کوچک در هر دو پوزیشن چرخش خارجی یا نئوترال هیچ سبب افزایش فعالیت پهن داخلی و پهن خارجی به‌طور مستقل می‌شود.<sup>[۳۱]</sup> محققان دیگر، در مقایسه دو پروتکل تمرینی آداکشن هیپ و ترمینال اکستنشن زانو در افراد سالم اظهار داشتند که هیچ‌یک از تمرینات مورد مطالعه در فعال‌سازی پهن داخلی یا پهن خارجی موثرتر از دیگری نبود.<sup>[۳۲]</sup> برخلاف مطالعات قبلی که اغلب نسبت‌های فعالیت عضله پهن داخلی به پهن خارجی مشابهی را بین تمرینات مختلف مورد بررسی گزارش کرده بودند<sup>[۲۷، ۳۲-۳۴]</sup> و غالباً در زمینه افزایش نسبت فعالیت عضله پهن داخلی به پهن خارجی ناموفق بوده‌اند<sup>[۳۱، ۳۲، ۳۵-۳۷]</sup>، تحقیق حاضر نتایج متفاوتی را گزارش کرد.

با این وجود، نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های ویلیس و همکاران (۲۰۰۵) همخوانی داشت. این محققان، حرکت رکاب زدن با چرخش خارجی ساق را حرکتی موثر در افزایش نسبت فعالیت دو عضله ذکر کرده بودند<sup>[۳۸]</sup>، لیکن آنها مکانیسم عملکرد عضلات در تمرین پیشنهادی را گزارش نکرده‌اند. از طرفی دیگر، تحقیقات نشان داده است که قوس حرکتی ۳۰ درجه فلکشن تا فول‌اکستنشن، بهترین قوس حرکتی برای افزایش نسبت فعالیت الکتریکی عضله پهن داخلی مایل به عضله پهن خارجی است<sup>[۳۹، ۴۰]</sup>؛ لذا در مورد اثرگذاری قابل توجه تمرین پیشنهادی ویلیس و همکاران با توجه به قوس بسیار بزرگ سیکل فلکشن-اکستنشن در عمل رکاب زدن تردید وجود دارد. علاوه بر این، نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های فرانک و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی داشت.

### منابع

1. Cook C, Mabry L, Reiman MP, Hegedus EJ. Best tests/clinical findings for screening and diagnosis of patellofemoral pain syndrome: a systematic review. *Physiotherapy* 2012; 98: 93-100.
2. Saper, MG, Shneider DA. Diagnosis and Treatment of Lateral Patellar Compression Syndrome. *Arthrosc Tech* 2014; 3(5): e6war33-e638.
3. Lankhorst NE, Bierma-Zeinstra SM, van Middelkoop M. Factors associated with

- patellofemoral pain syndrome: a systematic review. *Br J Sports Med* 2013; 47(4):193-206.
4. Petersen w, Ellermann A, Gösele-Koppenburg A, et al. Patellofemoral pain syndrome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014; 22(10): 2264–74.
  5. Fukuda TY, Rossetto FM, Magalhães E, Bryk FF. Short-term effects of hip abductors and lateral rotators strengthening in females with patellofemoral pain syndrome: a randomized controlled clinical trial. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy* 2010;40(11):736-42.
  6. Arnantha H, Robertson C, Killingback A, Adds PJ. Maintenance of exercise-induced changes in the architecture of the VMO: how much is enough? An in-vivo ultrasound study. *Orthop Spine Sports Med* 2017; 1(1): 1-7.
  7. Elniel AR, Robertson C, Killingback A and Adds PJ. Open-chain and closed-chain exercise regimes: an ultrasound investigation into the effects of exercise on the architecture of the vastus medialis oblique. *Phys Ther Rehabil* 2017; 4:3.
  8. Salari F, Anbarian M, Saleh AE, Sahebalzamani M. Effects of a resistance-training program on cross sectional areas of vastus medialis and vastus lateralis muscles in women with patellofemoral pain syndrome. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences* 2015; 20(2):32-9.
  9. Khoshkhoo M, Killingback A, Robertson CJ, Adds PJ. The effect of exercise on vastus medialis oblique muscle architecture: An ultrasound investigation. *Clinical anatomy* 2016; 29(6):752-8.
  10. Hoseini SH, Farahmand F, Seifi MM. Determining the Optimum Training Conditions for Selective Strengthening of Vastus Medialis Oblique Muscle over Vastus Lateralis through Using Musculoskeletal Modeling. *Journal of Sport Biomechanics* 2016; 2(2):65-76.
  11. Song, CY, and Jan, MH. Leg press exercises in patellofemoral pain- a one-year follow-up study. 27 International Conference on Biomechanics in Sports, Limerick, Ireland, August 2009; 17–21.
  12. Lin, Y.F., Lin, J.J., Cheng, C.K., Lin, D.H., & Jan, M.H. Association between sonographic morphology of vastus medialis obliquus and patellar alignment in patients with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 2008; 38: 196e202.
  13. Boling MC, Bolgla LA, Mattacola CG, Uhl TL, Hosey RG. Outcomes of a weight-bearing rehabilitation program for patients diagnosed with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87:1428-1435.
  14. Balcarek, P, Oberthür, S, Frosch, S, Schüttrumpf, JP, Stürmer, KM. Vastus Medialis Obliquus Muscle Morphology in Primary and Recurrent Lateral Patellar Instability. *Biomed Res Int* 2014; 326586.
  15. Travnik, L., Pernus, F., Erzen, I. Histochemical and morphometric characteristics of the normal human vastus medialis longus and vastus medialis oblique muscles. *Journal of Anatomy* 1995; 187: 403-411.
  16. Hedayatpour, N., & Falla, D. Non-uniform muscle adaptations to eccentric exercise and the implications for training and sport. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2012; 22: 329-333.
  17. Clarkson, P.M., & Hubal, M.J. Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation* 2002; 81: 52-69.
  18. Folland JP, Williams AG. The Adaptations to Strength Training Morphological and Neurological Contributions to Increased Strength. *Sports Med* 2007; 37(2): 145-168
  19. Ward, S.R., Eng, C.M., Smallwood, L.H., & Lieber, R.L. Are current measurements of lower extremity muscle architecture accurate? *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2009; 467: 1074-82.
  20. Seynnes, O.R., Boer, M., Narici, M.V. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology* 2007; 102: 368-373.
  21. Franke, RA, Baroni, BM, Rodrigues, R, Geremia, JM, Lanferdini, FJ. Neural and morphological adaptations of vastus lateralis and vastus medialis muscles to isokinetic eccentric training. 2014; 20(3): 317-324.
  22. Howatson, G., & Someren, K.A. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine* 2008; 38: 483-503.
  23. Schoenfeld, B.J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2010; 24: 2857-2872.
  24. Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 2009; 43: 556-68.
  25. Hilal Z, Robertson CJ, Killingback A, Philip A. The Effect of Exercise and Electrical Muscle Stimulation on the Architecture of the Vastus Medialis Oblique - The 'Empi' Electrotherapy System *J Ortho & Sport Med.* 2018; 1(1): 1-5.
  26. Wong YM, Chan ST, Tang KW, Ng GY. Two modes of weight training programs and patellar stabilization. *J Athl Train* 2009; 44:264–71.
  27. Serrão FV, Cabral CMN. Effect of tibia rotation on the electromyographical activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis longus muscles during isometric leg press. *Phys Ther in Sport* 2005; 6(1): 15-23.
  28. Timm K.E. Postsurgical knee rehabilitation: A five year study of four methods and 5,381

- patients. *Am J Sports Med* 1998; 16: 463-468.
29. Spairani L, Barbero M, Cescon C, Combi F, Gemelli T, Giovanetti G. An electromyographic study of the vastii muscles during open and closed kinetic chain submaximal isometric exercises. *Int J Sports Phys Ther* 2012; 7:617-26.
30. Mirzabeigi E, Jordan C, Gronley JK, Rockowitz NL, Perry J. Isolation of the vastus medialis oblique muscle during exercise. *The American journal of sports medicine* 1999; 27(1):50
31. Kushion, D., Rheaume, J. EMG Activation of the Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis During Four Rehabilitative Exercises. *The open rehabilitation Journal* 2012; 5(1): 1-7.
32. Balogun JA, Broderick K, Dolan-Aiello M. Comparison of EMG Activities in the Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis Muscles During Hip Adduction and Terminal Knee Extension Exercise Protocols. *AJPARS* 2010; 2(1): 1-5.
33. Livecchi, NM, Armstrong, CW, Cordova, ML, Merrick, MA, Rankin, JM. Vastus Lateralis and Vastus Medialis Obliquus Activity During a Straight-Leg Raise and Knee Extension With Lateral Hip Rotation. *J Sport Rehabil* 2002; 11:120-126.
34. Peng, H.T., Kernozek, T.W., Song, C.Y. Muscle activation of vastus medialis obliquus and vastus lateralis during a dynamic leg press exercise with and without isometric hip adduction. *Physical Therapy in Sport* 2013; 14(1): 44-49.
35. Coqueiro KRR, Bevilaqua-Grossi D, Berzin F, Soares AB. Analysis on the activation of the VMO and VLL muscles during semisquat exercises with and without hip adduction in individuals with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol* 2005; 15: 596-603
36. Vicente SA, Carolina AC, Jaime MPP, Carlos MA, Enrique C. Anterior Knee Pain and Patellar Instability. 2nd edition, Chapter 6: Biomechanical bases for anterior knee pain and patellar instability, Springer 2011; 69-87.
37. Irish SE, Millward AJ. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. *JSCR* 2010; 24(5): 1256-1262.
38. Willis FB, Burkhardt EJ. Preferential vastus medialis oblique activation achieved as a treatment for knee disorders. *JSCR* 2005; 19(2): 286-291.
39. Park, S, Ko, YM, Jang, GU, Hwang, YT, Park, JW. A Study on the Differences of Quadriceps Femoris Activities by Knee Alignment during Isometric Contraction. *J. Phys. Ther. Sci* 2014; 26: 1685-1688.
40. Duffell LD, Dharni H, Strutton PH. Electromyographic activity of the quadriceps components during the final degrees of knee extension. *J Back Musculoskeletal Rehabil* 2011; 24: 215-223.