

A comparison of plantar pressure variables and muscular frequency content between individuals with anterior cruciate ligament reconstruction and pronated feet and healthy controls

Amir Ali Jafarnezhadgero ^{1*}, Ehsan Fakhri Mirzanag ¹, Raziye Alizadeh ², Davood khezri ³

¹ Dept of Sport Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² Dept of Sports Biomechanics, Islamic Azad University of Tehran, Tehran, Iran

³ Dept of Sports Biomechanics, Sport Sciences Research Institute, Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research article

Article History:

Received: Nov. 18, 2023

Revised: Dec. 09, 2023

Accepted: Mar. 11, 2024

Published Online: July. 22, 2024

* Correspondence to:

Amir Ali Jafarnezhadgero
Dept of Sport Biomechanics,
Faculty of Educational
Sciences and Psychology,
University of Mohaghegh
Ardabili, Ardabil, Iran
Email:
amiralijafarnezhad@gmail.com

ABSTRACT

Introduction: Asymmetrical gait mechanics after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) are associated with the development of post-traumatic knee osteoarthritis. Current measures of gait mechanics have focused on peak magnitudes of knee kinematics, kinetics, and joint contact forces; nonetheless, they have seldom considered the plantar pressure and muscular frequency content in individuals with ACLR and pronate feet (PF). The present study aimed to compare ACLR and PF with healthy controls during walking.

Material & Methods: The present study was conducted based on a quasi-experimental and laboratory design. The sample of this study comprised 13 people with ACLR and PF and 13 subjects from the healthy group. The mean age scores of patients in the two groups of healthy and sick participants were 22.9 ± 4.1 and 23.2 ± 4.5 years, respectively. During the test, subjects walked barefoot on an 18-m runway. Peak plantar pressure variables in both groups were recorded by a foot scan system (sampling rate: 300 Hz). The electromyography activity of the tibialis anterior, gastrocnemius medialis, vastus lateralis, vastus medialis, rectus femoris, biceps femoris, semitendinosus, and gluteus medius were recorded during walking.

Results: The results demonstrated that the peak midfoot region plantar pressure values ($P=0.018$) were higher in the ACLR/PF group than in the healthy group during walking. In addition, the results highlighted a significant difference in the muscle frequency content of the rectus femoris ($P=0.012$, $d=0.68$) and vastus lateralis ($P=0.042$) during the loading response and push-off phase in the ACLR/PF group compared to the healthy group during walking.

Discussion & Conclusion: Peak plantar pressure values at the midfoot region and rectus femoris and vastus lateralis muscular frequency content in the ACLR/PF group differed from that of the healthy group during walking.

Keywords: Anterior cruciate ligament, Electromyography, Pronate feet, Plantar pressure

How to cite this paper

Jafarnezhadgero AA, Fakhri Mirzanag E, Alizadeh R, khezri D. A comparison of plantar pressure variables and muscular frequency content between individuals with anterior cruciate ligament reconstruction and pronated feet and healthy controls. Journal of Ilam University of Medical Sciences. 2024;32(3): 1-11.

مقایسه متغیرهای فشار کف پای و فرکانس فعالیت عضلات در افراد سالم و افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی

امیرعلی جعفرنژادگرو*^۱ ID، احسان فخری میرزائق^۱ ID، راضیه علیزاده^۲ ID، داود خضری^۱ ID

^۱ گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

^۲ گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۳ گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

مقدمه: پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی (ACLR)، مکانیک راه رفتن با ایجاد استوآرتрит در مفصل زانو نامتقارن می شود. در مطالعات پیشین، پژوهشگران بیشتر بر اندازه گیری مقادیر مکانیک راه رفتن بر متغیر اوج سینماتیک و سینتیک و نیروهای تماس مفصلی متمرکز شده اند؛ اما به ندرت مقادیر فشار کف پای و فرکانس فعالیت الکتریکی عضلات در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی و پای پروتیت بررسی شده است. هدف از این مطالعه مقایسه متغیرهای فشار کف پای و فرکانس فعالیت عضلات طی راه رفتن میان افراد دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پروتیت و افراد سالم بود.

مواد و روش ها: مطالعه حاضر از نوع نیمه تجربی و آزمایشگاهی است. نمونه آماری پژوهش حاضر شامل ۱۳ فرد مبتلا به بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پروتیت و ۱۳ فرد سالم بود که میانگین (انحراف معیار) سن آنان به ترتیب (۴/۵) (۲۳/۲) و (۴/۱) (۲۲/۹) سال بود. در طول آزمون، شرکت کنندگان با پای برهنه در یک مسیر ۱۸ متری راه رفتند. اوج متغیر فشار کف پای در هر دو گروه توسط دستگاه فوت اسکن (نرخ نمونه برداری: ۳۰۰ هرتز) ثبت شد؛ همچنین فعالیت الکتریکی عضلات درشت نی قدامی، دوقلوی داخلی، پهن خارجی، پهن داخلی، راست رانی، دوسررانی، نیمه وتری و سرینی میانی طی راه رفتن ثبت گردید.

یافته های پژوهش: نتایج پژوهش حاضر نشان دهنده افزایش مقادیر اوج فشار کف پای در قسمت میانی پا ($P=0.018$) در گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پروتیت نسبت به گروه سالم طی راه رفتن است. علاوه بر این، نتایج تفاوت معنی داری را برای میانگین فرکانس عضلات راست رانی ($P=0.012$) و پهن خارجی ($P=0.042$) در مرحله فاز پاسخ بارگذاری و هل دادن در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پروتیت در مقایسه با گروه سالم طی راه رفتن نشان داد.

بحث و نتیجه گیری: مقادیر اوج فشار کف پای در قسمت میانی پا و فرکانس فعالیت عضلات راست رانی و پهن خارجی در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی و پای پروتیت در مقایسه با افراد سالم طی راه رفتن متفاوت است.

واژه های کلیدی: بازسازی رباط صلیبی قدامی، فعالیت الکتریکی عضلات، پای پروتیت، فشار کف پای

نویسنده مسئول:

امیرعلی جعفرنژادگرو

گروه بیومکانیک ورزشی،

دانشکده علوم تربیتی و

روانشناسی، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران

Email:

amiralijafarnezhad@gmail.com

استناد: جعفرنژادگرو امیرعلی، فخری میرزائق احسان، علیزاده راضیه، خضری داود. مقایسه متغیرهای فشار کف پای و فرکانس فعالیت عضلات در

افراد سالم و افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی. مجله دانشگاه علوم پزشکی ایلام، مرداد ۱۴۰۳؛ ۱۱-۱.



بازسازی رباط صلیبی قدامی (ACLR) یکی از روش های جراحی پرکاربرد در مدیریت آسیب رباط صلیبی قدامی حاد و مزمن است (۱). علی‌رغم ترمیم کافی عملکرد زانو در ۹۰ درصد بیماران (۲)، تنها ۶۵ درصد از بیماران پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی به عملکرد ورزشی پیش از آسیب بازمی‌گردند (۳). آسیب به غضروف‌های مفصلی یکی از نتایج ضعیف پس از ۵ تا ۱۵ سال در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی و به دنبال آن، آسیب مینیسک داخلی و سپس مینیسک جانبی عوارض شایع‌تر گزارش شده است (۲)؛ اما با این حال، میزان بازسازی مجدد رباط صلیبی قدامی بسیار پایین است و از ۲ تا ۶ درصد در مطالعات پیشین گزارش شده است (۴، ۳).

عارضه پای پرونیت یکی از عارضه‌های اندام تحتانی در مفصل میچ پا است (۴). پای پرونیت یکی از شایع‌ترین عارضه‌هایی است که به علت تغییرات بیومکانیکی با ناکارآمدی در ناحیه مفصل میچ پا مشاهده می‌شود. میزان شیوع عارضه پرونیت پا در سنین ۱۲-۶ سالگی ۱۷/۲ درصد، در ۱۳-۳ سالگی ۱۶/۴ درصد و در ۱۴-۷ سالگی ۱۷/۱ درصد است (۵). گزارش شده است که پروناسیون مفصل ساب تالار به افزایش چرخش داخلی استخوان تیبیا در طول فعالیت‌های دینامیک منجر می‌شود که به افزایش فشار در مفصل زانو و رباط‌های احاطه‌کننده مفصل می‌انجامد (۶). پای پرونیت یکی از عوامل ایجادکننده درد در بخش قدامی مفصل زانو است. در پژوهشی، میزان شیوع درد در بخش قدامی مفصل زانو در شرکت‌کنندگان مرد و زن با پای پرونیت به ترتیب ۱۶/۲۳ و ۱۱/۳۱ درصد گزارش شد (۷). طی تحمل وزن، پا و زانو به‌عنوان بخش‌های تعاملی عمل می‌کنند و پرونیشن پا با چرخش داخلی استخوان درشت‌نی به‌طور هم‌زمان اتفاق می‌افتد (۸). محدود کردن چرخش داخلی درشت‌نی یکی از عملکردهای مکانیکی رباط صلیبی قدامی (ACL) در زانو است (۹). مطالعات نشان می‌دهند که چرخش بیش‌ازحد درشت‌نی به‌سبب پرونیشن مفصل ساب تالار یکی از سازوکارهای کمک‌کننده به بروز آسیب ACL است که در نتیجه فشار

بر روی ACL به افزایش خطر پارگی منجر می‌شود (۱۰). در ورزشکاران مبتلا به پارگی ACL و ACLR، متغیرهای بیومکانیکی اندام تحتانی در مقایسه با افراد سالم تغییر می‌کند، و به ایجاد ناپایداری در غضروف‌های مفصلی و مینیسک در مفصل زانو منجر می‌گردد (۱۱). بیماران با بازسازی رباط صلیبی قدامی از مجموعه‌ای از راهبردهای جبرانی در اندام تحتانی برای کاهش بار خارجی و نیروی عکس‌العمل زمین استفاده می‌کنند (۱۲) که ممکن است با ایجاد تغییر در گشتاور عضلانی در صفحه ساجیتال همراه باشد (۱۳، ۱۴). بازسازی رباط صلیبی قدامی می‌تواند به تغییر در مؤلفه‌ها طی راه رفتن و دویدن منجر شود (۱۵). گزارش شده است، اختلال عملکرد عصبی-عضلانی پس از پارگی ACL و ACLR رخ می‌دهد (۱۶). این اختلال عملکردی شامل ضعف در فعال‌سازی عضلات است که پس از آسیب و بازسازی آن باقی می‌ماند (۱۷). در مطالعه‌ای با عنوان «اثر تمرینات توان‌بخشی بر روی متغیرهای EMG در افراد دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی حاد و مزمن طی راه رفتن» گزارش شد که تمرینات توان‌بخشی پس از عمل، آثار چشمگیری بر مؤلفه‌های حرکتی، جنبشی و EMG طی راه رفتن در ACLR حاد نسبت به ACLR مزمن دارد؛ بنابراین، اجرای مداخله زود هنگام جراحی پس از توان‌بخشی برای به‌دست آوردن آثار چشمگیر در مؤلفه‌های بالینی در آسیب حاد و مزمن ACL الزامی است (۱۸).

دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار کف پا یکی از ابزارهایی است که برای تجزیه و تحلیل راه رفتن استفاده می‌شود. ویلیامز و یاکل در اعتبارسنجی دستگاه اندازه‌گیری توزیع فشار پا، به چهارده روش توجه کردند و پیشنهاد نمودند که کاهش قدرت عضلانی و ناهنجاری‌ها طی راه رفتن در بخش اندام آسیب‌دیده را می‌توان با استفاده از این دستگاه تعیین کرد. با این حال، برای افراد دارای پای پرونیت، درباره اینکه کدام ناحیه بیشترین فشار را تحمل می‌کند، نتایج مشابه وجود ندارد. برخی از مطالعات نشان می‌دهند که حداکثر فشار در ناحیه مرکزی جلوی پا قرار دارد (۱۱، ۱۹)، درحالی‌که برخی دیگر به قسمت ناحیه انگشتان پا، به‌عنوان ناحیه

آناتومیکی با بیشترین فشار اشاره می‌کنند (۱۹).

با استفاده از فشار کف پای و فعالیت عضلات، بسیاری از متغیرها را می‌توان استخراج کرد تا میان الگوهای رفتار طبیعی و غیرطبیعی تمایز قائل شد (۲۰). به نظر می‌رسد، اجرای پژوهش با هدف مقایسه فشار کف پای و فعالیت الکتریکی عضلات در بیماران مبتلا به بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت در مقایسه با افراد سالم طی راه رفتن مهم و ضروری است. لذا هدف از پژوهش حاضر مقایسه متغیرهای فشار کف پای و فرکانس فعالیت عضلات طی راه رفتن بین افراد دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و افراد سالم است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق از نوع نیمه تجربی است که در سال ۱۴۰۱ در شهرستان اردبیل انجام شد. ۲۶ نفر در دو گروه (۱۳ نفر با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و ۱۳ نفر افراد سالم) شرکت کردند. معیارهای ورود به مطالعه حاضر برای گروه ACLR با پای پرونیت عبارت بودند از: افراد دارای ACLR در یک پا با استفاده از اتوگراف تاندون همسترینگ ۶ تا ۱۰ ماه پیش از اجرای پژوهش و بدون سایر آسیب‌های ارتوپدی (۱)، افت استخوان ناولیکولار بیشتر از ۱۰ میلی‌متر (۲۱)، شاخص وضعیت پا بیشتر از ۱۰ و راست پا بودن.

افتادگی استخوان ناولیکولار یک معیار بالینی برای اندازه‌گیری پای پرونیت است که تغییر ارتفاع این استخوان زمانی تعریف می‌شود که مفصل ساب‌تالار از حالت بدون تحمل وزن به حالت تحمل وزن آرام حرکت می‌کند (۱۵). به علت وجود مطالعاتی که افت ناولیکولار را در افراد با سابقه پارگی ACL بررسی کردند (۱۰، ۲۲)، در پژوهش حاضر، ما از اندازه‌گیری افت استخوان ناوی و شاخص پاسچر پا برای تشخیص پای پرونیت شرکت‌کنندگان استفاده کردیم.

معیارهای خروج از مطالعه حاضر شامل این موارد بود: اسپاسم عضلانی، اختلالات عصبی عضلانی، بیماری‌های مرتبط با ارتوپدی و مواردی که به ایجاد وضعیتی دردناک در اندام تحتانی منجر می‌گردید.

رضایت‌نامه کتبی مبنی بر شرکت در پژوهش از همه

آزمودنی‌ها گرفته شد. با استفاده از آزمون یک‌سو کور، اطلاعاتی که می‌توانست باعث منحرف شدن نتیجه آزمایش شوند، از دید شرکت‌کننده مخفی ماند. پژوهش حاضر توسط کمیته اخلاقی پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی با کد IR.SSRC.REC.1401.140 تصویب شد.

داده‌های فشار کف پای: از دستگاه فوت اسکن برای ثبت داده‌های متغیر فشار کف پای با استفاده از نرم‌افزار (آر، اس، اسکن) با فرکانس نمونه‌برداری ۳۰۰ هرتز استفاده گردید. دستگاه در میانه مسیر راه رفتن ۱۸ متری قرار گرفت. ابتدا فرایند کالیبره کردن دستگاه فوت اسکن انجام شد. در ابتدا برای هر آزمودنی یک کوشش ایستا ثبت گردید که در آن، وزن آزمودنی و طول پای وی در نرم‌افزار دستگاه ثبت شد. کوشش راه رفتن صحیح شامل برخورد کامل پا روی بخش میانی دستگاه فوت اسکن بود. اگر فوت اسکن توسط آزمودنی برای تنظیم گام مورد هدف قرار می‌گرفت یا تعادل آزمودنی دچار اختلال می‌شد، کوشش راه رفتن تکرار می‌گردید. داده‌های فشار کف پای طی مرحله اتکای راه رفتن استخراج شد. برای تنظیم قرارگیری پای آزمودنی‌ها بر روی فوت‌اسکن طی راه رفتن، ۵ مرتبه عمل راه رفتن به‌طور آزمایشی توسط هر آزمودنی انجام گرفت. متغیرهای مدنظر اوج فشار کف پای در نواحی ده‌گانه با استخراج گردید که این نواحی به ترتیب شامل انگشت شست، انگشتان دوم تا پنجم، استخوان کف پای اول، استخوان کف پای دوم، استخوان کف پای سوم، استخوان کف پای چهارم، استخوان کف پای پنجم، بخش میانه پا، بخش داخلی پاشنه و بخش خارجی پاشنه بود.

مرحله برخورد پاشنه با زمین توسط بیشتر بودن نیروی عمودی عکس‌العمل بیشتر از ۲۰ نیوتن و جدا شدن پنجه توسط آخرین داده بیشتر از ۲۰ نیوتن مشخص گردید. داده‌های نیروی عمودی عکس‌العمل زمین توسط فیلتر باتروورث پایین‌گذر مرتبه چهارم و با برش فرکانس ۲۰ هرتز انجام شد. برای نرمال کردن مقادیر نیروی عکس‌العمل زمین، این مقادیر بر جرم بدن تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب گردیدند.

داده‌های الکترومایوگرافی: برای ثبت فعالیت

های الکترومایوگرافی توسط پژوهشگر و با کمک کارشناس آزمایشگاه و زیر نظر متخصص صورت گرفت. مدت زمان ثبت آزمون‌ها برای هر فرد حدود ۳۰ دقیقه بود.

تحلیل آماری: برای بررسی طبیعی بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. برای تحلیل آماری داده‌ها از آزمون تی مستقل در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده گردید. همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. داده‌های آمار توصیفی به صورت میانگین (انحراف استاندارد) برای هر دو گروه بیان گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌های آماری از آزمون تی مستقل استفاده شد؛ همچنین برای محاسبه اندازه اثر، از d کوهن استفاده گردید: $d \leq 0.2$ کوچک، $d > 0.8$ بزرگ و بین این مقادیر، متوسط در نظر گرفته شد (۳۳). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS vol.18 تجزیه و تحلیل گردید.

یافته‌های پژوهش

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۱ در شهرستان اردبیل انجام شد که ۲۶ نفر در دو گروه ۱۳ نفری شرکت کردند. مشخصات دموگرافیک هر دو گروه در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. مطابق جدول شماره ۱، نتایج پژوهش حاضر نشان داد، تفاوت معناداری میان مشخصات دموگرافیک گروه‌ها وجود ندارد.

الکتریکی عضلات از یک دستگاه الکترومایوگرافی DataL Bandwidth: 10-490HZ (ITE EMG. Biometrics Ltd) ساخت کشور انگلستان استفاده شد. فعالیت عضلات درشت نی قدامی، دوقلوی داخلی، پهن داخلی، پهن خارجی، راست رانی، دوسرانی، نیم‌وتری و سرنی میانی توسط دستگاه الکترومایوگرافی یابوسیستم طی راه رفتن در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و سالم ثبت گردید. مواضع عضلانی محل نصب الکترودها، مطابق با توصیه‌های انجمن اروپایی الکترومایوگرافی (۲۳، ۱۴) آماده‌سازی شد. برای این منظور، ابتدا در محل‌های مدنظر برای نصب الکترودها، موهای سطوح تراشیده شد و پوست با پنبه آغشته به الکل ایزوپروپیل ۰/۵ تمیز گردید. جهت قرارگیری الکترودها به موازات تارهای عضلات بود. برای ثبت، همه اصول دستورالعمل انجمن اروپایی (سنیام) رعایت شد (۲۳). نرخ نمونه‌برداری در دستگاه الکترومایوگرافی برابر ۱۰۰۰ هرتز (۲۴) و فاصله مرکز تا الکترودها برابر ۲ سانتی‌متر بود مقادیر میانه فرکانس فعالیت عضلات توسط نرم‌افزار دیتالیت استخراج گردید. برای مشخص کردن مرحله‌های مختلف راه رفتن، از دستگاه صفحه نیرو برتک با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز استفاده شد. مرحله‌های بررسی شده شامل پاسخ بارگذاری (۰ تا ۲۰ درصد سیکل راه رفتن)، میانه اتکا (۲۰ تا ۴۷ درصد سیکل راه رفتن) و هل دادن (۴۷ تا ۷۰ درصد سیکل راه رفتن) بود. ثبت داده

جدول شماره ۱. مقایسه میانگین سن، قد و وزن گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و گروه سالم

| مقدار P | گروه سالم انحراف معیار \pm میانگین | گروه بیمار انحراف معیار \pm میانگین | مشخصات |
|---------|---|--|-----------------------------|
| ۰/۷۶۶ | ۲۲/۰۹ \pm ۴/۱۵ | ۲۳/۰۲ \pm ۴/۰۵ | سن (سال) |
| ۰/۶۵۶ | ۱۷۶/۰۸ \pm ۸/۰۱ | ۱۷۷/۰۱ \pm ۷/۰۴ | قد (سانتی‌متر) |
| ۰/۵۹۸ | ۷۲/۰۷ \pm ۶/۰۱ | ۷۱/۰۷ \pm ۶/۰۴ | وزن (کیلوگرم) |
| >۰/۰۰۱ | ۷/۰۷ \pm ۰/۹ | ۱۵/۰۲ \pm ۱/۴ | افت استخوان ناوی (میلی‌متر) |

نیروی عکس‌العمل زمین در راستای محور عمودی وجود ندارد ($P > ۰,۰۰۵$).

در جدول شماره ۲، نتایج آزمون تی مستقل نشان داد، از لحاظ آماری تفاوت معناداری میان مقادیر اوج اولیه و ثانویه

جدول شماره ۲. میانگین و انحراف استاندارد متغیر اوج اولیه و ثانویه نیروی عکس‌العمل زمین در دو گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و گروه سالم طی راه رفتن

| متغیر | بازسازی رباط صلیبی قدامی | گروه سالم | سطح معناداری | اندازه اثر |
|---------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|------------|
| اوج اولیه نیروی عکس‌العمل زمین | ۲۶۱/۶۰±۵۲/۸۸ | ۲۸۰/۹۲±۶۲/۵۶ | ۰/۴۰۴ | ۰/۳۳ |
| اوج ثانویه نیروی عکس‌العمل زمین | ۲۶۹/۳۱±۵۷/۸۲ | ۲۸۳/۸۷±۶۲/۳۹ | ۰/۵۴۳ | ۰/۲۴ |

مطابق جدول شماره ۳، نتایج نشان داد که متغیر اوج فشار کف پای در بخش میانی کف پا بین دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود دارد ($P=0.018$)، به طوری که اوج فشار کف پای در بخش میانی پا در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت نسبت به گروه سالم بیشتر بود. با وجود این، نتایج در سایر متغیرهای اوج فشار کف پای در هر دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان نداد ($P>0.05$).

جدول شماره ۳. میانگین و انحراف استاندارد متغیر فشار کف پای نواحی ده گانه پا در دو گروه بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و گروه سالم طی راه رفتن

| متغیر | بازسازی رباط صلیبی قدامی | گروه سالم | سطح معناداری | اندازه اثر |
|---------------------|--------------------------|---------------|--------------|------------|
| انگشت شست | ۱۵۳/۹۸±۳۱/۵۲ | ۱۲۷/۷۸±۲۹/۰۳ | ۰/۳۳۷ | ۰/۸۶۷ |
| انگشتان دوم تا پنجم | ۲۱۵/۷۳±۶۰/۷۴ | ۱۹۵/۱۹±۸۰/۸۱ | ۰/۴۷۱ | ۰/۲۹ |
| کف پای اول | ۴۲۰/۵۸±۱۰۷/۵۶ | ۳۹۹/۸۱±۹۵/۸۳ | ۰/۶۰۸ | ۰/۲۰ |
| کف پای دوم | ۲۲۹/۲۵±۶۵/۲۵ | ۲۶۰/۳۸±۱۰۵/۸۳ | ۰/۳۷۷ | ۰/۱۸ |
| کف پای سوم | ۲۶۰/۲۱±۶۶/۵۶ | ۲۹۶/۳۵±۹۹/۷۸ | ۰/۲۹۰ | ۰/۴۳ |
| کف پای چهارم | ۲۷۱/۵۸±۸۷/۰۳ | ۳۰۷/۴۵±۱۰۷/۲۹ | ۰/۳۵۹ | ۰/۳۶ |
| کف پای پنجم | ۱۶۹/۴۴±۶۷/۰۹ | ۲۰۰/۴۱±۶۷/۴۵ | ۰/۲۵۲ | ۰/۴۵ |
| میانی کف پا | ۶۱۶/۳۶±۱۹۱/۴۵ | ۴۲۴/۷۱±۱۹۵/۶۹ | ۰/۰۱۸ | ۰/۹۹ |
| داخلی پاشنه | ۶۴۵/۰۷±۱۹۵/۰۷ | ۷۱۵/۳۷±۱۲۲/۰۲ | ۰/۲۸۴ | ۰/۴۳ |
| خارجی پاشنه | ۶۰۳/۱۱±۲۳۸/۳۳ | ۶۶۱/۹۱±۱۵۶/۴۸ | ۰/۴۶۵ | ۰/۲۹ |

همان‌طور که در جدول شماره ۴ ملاحظه می‌شود، نتایج نشان داد در میانگین فرکانس میانی عضله راست‌رانی در مرحله پاسخ بارگیری طی راه رفتن، میان دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود دارد ($P=0.012$)، به طوری که میانگین فرکانس عضله راست‌رانی در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت افزایش معناداری را نسبت به گروه سالم نشان داد. فرکانس عضله پهن خارجی در مرحله هل دادن طی راه رفتن، در دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان داد ($P=0.042$)، به طوری که میانگین فرکانس این عضله در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت بیشتر از گروه سالم بود. با این حال، نتایج در سایر مقادیر میانگین فرکانس عضلات در هر دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان ندادند ($P>0.05$).

هل دادن طی راه رفتن، در دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان نداد ($P=0.042$)، به طوری که میانگین فرکانس این عضله در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت بیشتر از گروه سالم بود. با این حال، نتایج در سایر مقادیر میانگین فرکانس عضلات در هر دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان ندادند ($P>0.05$).

جدول شماره ۴. میانگین و انحراف استاندارد فرکانس فعالیت الکتریکی عضلات در دو گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و گروه سالم طی راه رفتن

| عضلات | بازسازی رباط صلیبی قدامی | سالم | سطح معناداری | اندازه اثر |
|--------------------|--------------------------|--------------|--------------|------------|
| مرحله پاسخ بارگیری | درشت نی قدامی | ۹۰/۷۳±۲۹/۳۷ | ۰/۸۶۴ | ۰/۰۴ |
| | دوقلوی داخلی | ۹۶/۹۱±۲۵/۷۲ | ۰/۱۰۲ | ۰/۴۳ |
| | پهن خارجی | ۸۷/۳۰±۲۸/۷۵ | ۰/۵۹۸ | ۰/۱۳ |
| | پهن داخلی | ۸۰/۲۰±۲۶/۳۰ | ۰/۶۲۳ | ۰/۱۲ |
| | راست رانی | ۷۴/۳۶±۱۷/۳۰ | ۰/۱۰۲ | ۰/۶۸ |
| | دوسر رانی | ۹۲/۱۰±۲۴/۷۱ | ۰/۹۵۹ | ۰/۰۱ |
| | نیم وتری | ۹۰/۰۶±۱۹/۵۳ | ۰/۲۸۹ | ۰/۲۷ |
| | سرینی میانی | ۷۵/۵۷±۲۵/۸۲ | ۰/۷۰۸ | ۰/۱۰ |
| میانه اتکا | درشت نی قدامی | ۱۰۰/۸۱±۲۵/۹۸ | ۰/۸۷۶ | ۰/۰۴ |
| | دوقلوی داخلی | ۹۷/۸۳±۱۸/۷۲ | ۰/۵۱۳ | ۰/۱۳ |
| | پهن خارجی | ۷۵/۸۷±۲۲/۴۴ | ۰/۱۰۸ | ۰/۶۷ |
| | پهن داخلی | ۷۶/۱۶±۱۶/۵۳ | ۰/۳۶۵ | ۰/۳۹ |
| | راست رانی | ۸۴/۷۳±۲۸/۱۰ | ۰/۲۷۴ | ۰/۳۹ |
| | دوسر رانی | ۱۱۲/۹۷±۳۴/۷۲ | ۰/۸۳۸ | ۰/۴۶ |
| | نیم وتری | ۹۷/۹۶±۲۷/۷۷ | ۰/۴۵۸ | ۰/۰۸ |
| | سرینی میانی | ۸۱/۱۳±۲۴/۲۴ | ۰/۵۱۶ | ۰/۲۹ |
| هل دادن | درشت نی قدامی | ۱۰۷/۵۷±۳۷/۰۸ | ۰/۳۴۴ | ۰/۹۴ |
| | دوقلوی داخلی | ۱۱۳/۴۴±۳۳/۰۵ | ۰/۱۶۸ | ۰/۶۰ |
| | پهن خارجی | ۷۳/۰۱±۲۲/۹۵ | ۰/۸۹۷ | ۰/۰۶ |
| | پهن داخلی | ۶۹/۷۰±۱۶/۴۷ | ۰/۰۴۲ | ۰/۸۶ |
| | راست رانی | ۹۲/۲۶±۲۵/۳۴ | ۰/۹۹۹ | ۰/۰۰ |
| | دوسرانی | ۱۰۵/۶۳±۲۰/۱۵ | ۰/۳۳۱ | ۰/۲۴ |
| | نیمه غشایی | ۱۰۲/۹۳±۳۷/۰۶ | ۰/۸۳۶ | ۰/۰۸ |
| | سرینی-میانی | ۸۱/۶۰±۲۵/۶۸ | ۰/۵۶۸ | ۰/۲۴ |

بحث و نتیجه گیری

حرکات پرونیشن و سوپینشن در طول الگوی حرکتی چرخش پا رخ می دهد و به حرکت طبیعی در حین راه رفتن و دویدن کمک می کند. گزارش شده که پرونیشن بیش از حد مفصل ساب تالار ممکن است به بروز آسیب ACL منجر گردد (۲۵)؛ با این حال، هیچ اختلاف نظری در ارتباط با این موضوع در مطالعات وجود ندارد (۲۰، ۲۶)؛ بنابراین، هدف از این مطالعه مقایسه متغیرهای فشار کف پای و فرکانس فعالیت

عضلات طی راه رفتن میان افراد دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت و افراد سالم بود. نتایج پژوهش حاضر از لحاظ آماری تفاوت معناداری را در متغیر اوج فشار کف پای در بخش میانی کف پا در دو گروه نشان داد، به طوری که اوج فشار کف پای در قسمت میانی پا در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت نسبت به گروه سالم بیشتر بود؛ همچنین نتایج در سایر متغیرهای اوج فشار کف پای در هر دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان نداد.

یافته‌های اصلی مطالعه حاضر این است که فرکانس میانی عضله راست‌رانی در مرحله پاسخ بارگیری طی راه رفتن در دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان داد، به طوری که فرکانس عضله راست‌رانی در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت افزایش معناداری را نسبت به گروه سالم نشان داد؛ همچنین فرکانس عضله پهن خارجی در مرحله هل دادن طی راه رفتن، در دو گروه از لحاظ آماری متفاوت بود، به طوری که فرکانس این عضله در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت نسبت به گروه سالم بیشتر بود. گفتنی است، نتایج در سایر مقادیر فرکانس عضلات در هر دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان نداد.

بر اساس مطالعه دیکاک و همکاران (۱۱)، افزایش فشار به صورت جانبی از بخش استخوان پنجم کف پای شروع می‌شود و به دنبال آن، یک الگوی فشاری هم‌زمان به ترتیب از استخوان کف پای چهارم، سوم و اول ایجاد می‌گردد و در نهایت، در استخوان کف پای دوم تقریباً در ۶۲ درصد تماس کل پا با سطح زمین، به حداکثر فشار خود می‌رسد (۱۱) که با نتایج پژوهش حاضر غیر همسو است. به نظر می‌رسد، یک الگوی مکانیکی غیر طبیعی به افزایش فشار در ناحیه بخش میانی استخوان کف پای در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی منجر شده است. اردیم و همکاران در پژوهشی گزارش کردند که دویدن مداوم با سرعت متوسط باعث افزایش فشار زیر سر استخوان کف پای دوم و تغییر بار از ناحیه جانبی به بخش ناحیه داخلی پاشنه پا می‌شود و این تغییر وضعیت ممکن است یکی از علل مرتبط با ایجاد پرونیشن پا باشد (۲۷) که با نتایج پژوهش حاضر غیر همسو است؛ همچنین همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، سیتین و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی توزیع متغیرهای فشار کف پای در افراد با آسیب رباط صلیبی قدامی پرداختند. نتایج نشان داد که آسیب رباط صلیبی قدامی منجر به تغییر در توزیع متغیر فشار کف پای و بازسازی رباط صلیبی منجر به توزیع طبیعی متغیر فشار کف پای در این افراد می‌گردد (۲۸). میلتمایر و همکاران طی مطالعه‌ای به بررسی توزیع متغیرهای فشار کف پای در افراد با

بازسازی رباط صلیبی قدامی پرداختند. نتایج کاهش معنادار فشار در زیر استخوان پاشنه را نشان داد و در سایر متغیرهای فشار کف پای، تفاوت معناداری را گزارش نکردند (۲۹).

یافته‌های اصلی مطالعه حاضر این است که فرکانس میانی عضله راست‌رانی در مرحله پاسخ بارگیری طی راه رفتن در دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان داد، به طوری که فرکانس عضله راست‌رانی در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت افزایش معناداری را نسبت به گروه سالم نشان داد؛ همچنین فرکانس عضله پهن خارجی در مرحله هل دادن طی راه رفتن، در دو گروه از لحاظ آماری متفاوت بود، به طوری که فرکانس این عضله در گروه افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت نسبت به گروه سالم بیشتر بود؛ همچنین نتایج در سایر مقادیر فرکانس عضلات در هر دو گروه از لحاظ آماری تفاوت معناداری را نشان نداد.

در ارتباط با دامنه فعالیت عضلات می‌توان به پژوهش بولگرونی و همکاران اشاره کرد که نتایج افزایش معنادار فعالیت عضلات چهارسرانی را طی مرحله پاسخ بارگیری در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی در مقایسه با گروه سالم را نشان داد که با نتایج پژوهش حاضر همسو است؛ همچنین کاهش معنادار فعالیت عضلات همسترینگ طی مرحله اتکا در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی در مقایسه با گروه سالم گزارش شد که با نتیجه پژوهش حاضر ناهمسو است (۳۰). گفتنی است، همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، سیکوتی و همکاران در مطالعه خود، افزایش معنادار فعالیت عضلات چهارسرانی را طی مرحله پاسخ بارگیری در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی در مقایسه با گروه سالم را گزارش کردند (۳۱). از آنجا که دامنه EMG عضلات چهارسر ران در گشتاور اکستانسوری مفصل زانو نقش دارد و گشتاور عضلانی مجموع فعالیت عضلات آگونیسست و آنتاگونیسست است؛ بنابراین، گشتاور اکستانسوری کمتر مفصل زانو، در افراد مبتلا به ACLR می‌تواند به هم انقباضی بیشتر عضلات همسترینگ منجر گردد و این موضوع باید توسط محققان و پزشکان در تفسیر نقص در گشتاور اکستانسوری مفصل زانو

روش کار: راضیه علیزاده، احسان فخری میرزاتق
 جمع آوری داده‌ها: احسان فخری میرزاتق
 تجزیه و تحلیل داده‌ها: داود خضری، راضیه علیزاده
 نظارت: امیرعلی جعفرنژاد گرو، داود خضری
 مدیریت پروژه: امیرعلی جعفرنژاد گرو، داود خضری
 نگارش پیش نویس اصلی: امیرعلی جعفرنژاد گرو،
 احسان فخری میرزاتق
 نگارش بررسی و ویرایش: امیرعلی جعفرنژاد گرو،
 راضیه علیزاده.

در نظر گرفته شود (۳۲). با این حال، مطالعات پیشین (۳۳، ۳۴) معمولاً EMG را بین اندام آسیب‌دیده و غیر آسیب‌دیده در افراد مبتلا به ACLR مقایسه کرده‌اند و نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که احتمال اینکه افراد مبتلا به ACLR ایجاد نقص دوطرفه در عملکرد عضلات چهار سر ران را نادیده می‌گیرند، وجود دارد (۳۵). با وجود این، ما اندازه اثر متوسطی را میان میانگین‌ها یافتیم که نشان می‌دهد، در مطالعات آینده با حجم نمونه آماری بیشتر ممکن است، تفاوت‌هایی در سایر محتوای فرکانس عضلانی اندام تحتانی میان گروه‌ها شناسایی شود. علاوه بر این، نقطه قوت مطالعه ما این بود که گروه کنترل و گروه سالم از نظر سن، جنس، شاخص توده بدنی و افت ناویکولار یکسان بودند، درحالی که در مطالعه پیشین (۳۴)، اندازه نمونه و جنسیت در افراد مبتلا به ACLR در مقایسه با گروه کنترل نامتعادل بود. با توجه به نابرابری در شیوع آسیب ACL میان مردان و زنان (۳۵)، مهم است که نمونه‌های پژوهش ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مشابهی در هر دو گروه داشته باشند.

مقادیر اوج فشار کفپایی در بخش میانی پا و فرکانس فعالیت عضلات راست‌رانی و پهن خارجی در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی و پای پرونیت در مقایسه با افراد سالم طی راه رفتن متفاوت است.

سپاس‌گزاری

از همه آزمودنی‌های شرکت‌کننده در پژوهش حاضر و سایر افرادی که در اجرای پژوهش حاضر ما را یاری کردند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

تعارض منافع

هیچ‌کدام از نویسندگان این پژوهش، افراد و یا دستگاه‌ها تعارض منافی برای انتشار این مقاله ندارند.

کد اخلاق

IR.SSRC.REC.1401.140

حمایت مالی

این مطالعه از هیچ ارگان و سازمانی هیچ حمایت مالی دریافت نکرد.

مشارکت نویسندگان

طراحی ایده: امیرعلی جعفرنژاد گرو

References

- Shorter KA, Polk JD, Rosengren KS, Hsiao-Weckler ET. A new approach to detecting asymmetries in gait. *Clin Biomech* 2008;23:459-67 doi: 10.1016/j.clinbiomech.2007.11.009.
- Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med* 2011;45:596-606. doi:10.1136/bjism.2010.076364.
- Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med* 2014;48:1543-52. doi:10.1136/bjsports-2013-093398.
- Nepple JJ, Dunn WR, Wright RW. Meniscal repair outcomes at greater than five years: a systematic literature review and meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am* 2012;94:2222. doi: 10.2106/JBJS.K.01584.
- Jafarnejhadgero A, Fatollahi A, Sheykholeslami A, Dionisio VC, Akrami M. Long-term training on sand changes lower limb muscle activities during running in runners with over-pronated feet. *Biomed Eng Online* 2021;20:1-18. doi: 10.1186/s12938-021-00955-8.
- Feagin Jr JA, Wills RP, Lambert KL, Mott HW, Cunningham RR. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction; Bone-Patella Tendon-Bone Versus Semitendinosus Anatomic Reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 1997;341:69-72.
- Loudon JK, Jenkins W, Loudon KL. The relationship between static posture and ACL injury in female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther* 1996;24:91-7. doi: 10.2519/jospt.1996.24.2.91.
- Sanford BA, Williams JL, Zucker-Levin A, Mihalko WM. Asymmetric ground reaction forces and knee kinematics during squat after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. *Knee* 2016;23:820-5. doi: 10.1016/j.knee.2015.11.001.
- Vairo GL, Myers JB, Sell TC, Fu FH, Harner CD, Lephart SM. Neuromuscular and biomechanical landing performance subsequent to ipsilateral semitendinosus and gracilis autograft anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008;16:2-14. doi: 10.1007/s00167-007-0427-4.
- Baumgart C, Schubert M, Hoppe MW, Gokeler A, Freiwald J. Do ground reaction forces during unilateral and bilateral movements exhibit compensation strategies following ACL reconstruction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25:1385-94. doi: 10.1007/s00167-015-3623-7.
- De Cock A, De Clercq D, Willems T, Witvrouw E. Temporal characteristics of foot roll-over during barefoot jogging: reference data for young adults. *Gait Posture* 2005;21:432-9. doi: 10.1016/j.gaitpost.2004.05.004.
- Menz HB. Two feet, or one person? Problems associated with statistical analysis of paired data in foot and ankle medicine. *Foot* 2004;14:2-5. doi: 10.1016/S0958-2592(03)00047-6.
- Robertson DGE, Caldwell GE, Hamill J, Kamen G, Whittlesey S. *Research methods in biomechanics: Human kinetics*; 2013.
- Sugawara K, Okada K, Saito I, Saito A, Wakasa M. Foot Pressure pattern during walking in individuals with anterior cruciate ligament injury. *J Am Podiatr Med Assoc* 2016;106:201-6. doi: 10.7547/15-006.
- Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: FPI. *Clin Biomech* 2006;21:89-98. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2005.08.002.
- Cavanagh P. *The Running Shoe Book* (Anderson World, CA: Mountain View). 1980.
- Whittle MW. *Gait analysis: an introduction: Butterworth-Heinemann*; 2014.
- Patil S, Thatte MA, Chaskar U. Development of planter foot pressure distribution system using flexi force sensors. *Sens. transducers* 2009;108:73.
- Breniere Y, Do MC. When and how does steady state gait movement induced from upright posture begin? *J Biomech* 1986;19:1035-40. doi: 10.1016/0021-9290(86)90120-X .
- Orendurff MS, Rohr ES, Segal AD, Medley JW, Green III JR, Kadel NJ. Regional foot pressure during running, cutting, jumping, and landing. *Am J Sports Med* 2008;36:566-71. doi: 10.1177/0363546507309315.
- Farahpour N, Jafarnejhad A, Damavandi M, Bakhtiari A, Allard P. Gait ground reaction force characteristics of low back pain patients with pronated foot and able-bodied individuals with and without foot pronation. *J Biomech* 2016;49:1705-10. doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.03.056.
- Hurd WJ, Snyder-Mackler L. Knee instability after acute ACL rupture affects movement patterns during the mid-stance phase of gait. *J Orthop Res* 2007;25:1369-77. doi: 10.1002/jor.20440.
- Portero P, Dogadov AA, Servièrè C, Quaine F. Surface Electromyography in

- Physiotherapist Educational Program in France: Enhancing Learning sEMG in Stretching Practice. *J Neurol* 2020;11:584304. doi: 10.3389/fneur.2020.584304.
24. Farahpour N, Jafarnezhadgero A, Allard P, Majlesi MJ. Muscle activity and kinetics of lower limbs during walking in pronated feet individuals with and without low back pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2018;39:35-41. doi: 10.1016/j.jelekin.2018.01.006.
 25. Teitz CC, Harrington RM, Wiley H. Pressures on the foot in pointe shoes. *Foot Ankle* 1985;5:216-21. doi: 10.1177/107110078500500502.
 26. Nagel A, Fernholz F, Kibele C, Rosenbaum D. Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads: a barefoot walking investigation of 200 marathon runners. *Gait Posture* 2008;27:152-5. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.12.012.
 27. Unver B, Erdem EU, Akbas E. Effects of short-foot exercises on foot posture, pain, disability, and plantar pressure in pes planus. *J Sport Rehabil* 2019;29:436-40. doi: 10.1123/jsr.2018-0363.
 28. Cetin E, Deveci MA, Songür M, Özer H, Turanlı S, JTTJoMS. Evaluation of plantar pressure distributions in patients with anteriorcruciate ligament deficiency: preoperative and postoperative changes. *Turk J Med Sci* 2017;47:587-91. doi: 10.3906/sag-1601-146.
 29. Mittlmeier T, Weiler A, Söhn T, Kleinhans L, Mollbach S, Duda G, et al. Functional monitoring during rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech* 1999;14:576-84. doi: 10.1016/s0268-0033(99)00035-2.
 30. Bulgheroni P, Bulgheroni M, Andrini L, Guffanti P, Giughello A. Gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1997;5:14-21. doi: 10.1007/s001670050018.
 31. MG C. An electromyographic analysis of the knee during functional activities. II. The anterior cruciate ligament-deficient and-reconstructed profiles. *Int J Sports Med* 1994;22:651-8. doi: 10.1177/036354659402200513.
 32. Kline PW, Morgan KD, Johnson DL, Ireland ML, Noehren B. Impaired quadriceps rate of torque development and knee mechanics after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. *Am J Sports Med* 2015;43:2553-8. doi: 10.1177/0363546515595834.
 33. Drechsler WI, Cramp MC, Scott OM. Changes in muscle strength and EMG median frequency after anterior cruciate ligament reconstruction. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:613-23. doi: 10.1007/s00421-006-0311-9.
 34. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Rapid hamstrings/quadriceps strength in ACL-reconstructed elite alpine ski racers. *Med Sci Sports Exerc* 2015;47:109-19. doi: 10.1249/MSS.0000000000000375.
 35. Gwinn DE, Wilckens JH, McDevitt ER, Ross G, Kao TC. The relative incidence of anterior cruciate ligament injury in men and women at the United States Naval Academy. *Am J Sports Med* 2000;28:98-102. doi: 10.1177/03635465000280012901.