Journal of Ilam University of Medical Sciences

P-ISSN: 1563-4728
E-ISSN: 2588-3135

Effect Of Combined Exercises on Plantar Pressures During Walking in Men with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Pronated Foot

Amirali Jafarnezhadgero [1*], Sara Imani Brouj [1], Hamed Sheikhalizadeh[1]

[1] Dept of Sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Article Info

Article type:
Research article

Article History:
Received: Jul. 03, 2025
Received in revised form: Dec. 04, 2025
Accepted: Apr. 08, 2026
Published Online: May. 26, 2026

**** Correspondence to:***
Amirali Jafarnezhadgero
Dept of Sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Email:
amiralijafarnezhad@gmail.com

A B S T R A C T

Introduction: Anterior cruciate ligament reconstruction is a common surgery for ACL injuries, improving knee function in 90% of patients, but only 65% return to their previous level of athletic performance. The aim of this study was to investigate the effect of combined exercises on plantar pressures in individuals with ACL reconstruction and pronation during gait.

Materials & Methods: The method of this study was a clinical trial. Using G*Power software, the sample size for each group was determined to be 15 people. The subjects of the study had undergone anterior cruciate ligament reconstruction and had pronation of the foot. The subjects were randomly divided into two groups: control and exercise. The intervention group underwent a combined exercise protocol for 8 weeks. After the intervention period, the post-test assessments were repeated in both groups in a similar manner to the pre-test in SPSS V.26.

Results: The results of repeated measures analysis of variance showed the main effect of time on the peak vertical ground reaction force in the heel strike phase was significant ($p < 0.001$; $\eta^2 = 0.549$). The main effect of time on the time to reach the peak vertical ground reaction force in the heel strike phase was also significant ($p < 0.001$). The main effect of the group on the peak vertical ground reaction force in the heel-strike phase was significant ($p = 0.027$). The interaction effect of time × group on the peak pressure on the second metatarsal bone was significant ($p = 0.032$).

Conclusion: Combined exercises improve biomechanical performance, improve results by correcting plantar pressure and reducing abnormal stresses, and play a preventive role against future injuries.

Keywords: Plantar pressure, Combined exercises, Vertical ground reaction force, anterior cruciate ligament injury, pronated foot

Cite this paper: Jafarnezhadgero A, Imani Brouj S, Sheikhalizadeh H. Effect Of Combined Exercises on Plantar Pressures During Walking in Men with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Pronated Foot. *Journal of Ilam University of Medical Sciences*. 2026;34(2):14-26.

Introduction

Anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction is one of the most common surgeries for knee injuries, but many patients do not return to their pre-injury level of athletic performance and complications such as cartilage and meniscal damage are reported later on (1). On the other hand, foot pronation can increase the stress on the knee joint and ligaments and can increase the risk of ACL injury (2) due to decreased medial longitudinal arch and tibia internal rotation. Patients develop compensatory gait patterns in walking and running after ACL reconstruction which are associated with changes in ground reaction forces and plantar pressure distribution (3). However, there is no agreement on the position of maximal plantar pressure in these patients (4). (5) The effect of advanced training programs on plantar pressure distribution in patients with ACL reconstruction and pronated feet has not been investigated. The aim of this study was to investigate the effect of combined exercises on plantar pressures in individuals with ACL reconstruction and pronation during gait.

Methods

This study was designed as a clinical trial. Based

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

© The Author(s)

on data from previous studies the required sample size was estimated at 15 participants per group. Accordingly, 15 individuals with a history of ACL reconstruction and pronated feet were assigned to the exercise group, and 15 individuals with similar characteristics were selected as the control group (non-exercise group). All participants had undergone unilateral ACL reconstruction surgery 4 to 8 months prior to the study. Individuals with meniscal injuries, osteoarthritis, or knee pain were excluded.All participants were physically active and engaged in walking or running for at least 45 minutes per session, three times per week. The statistical population consisted of males aged between 19 and 26 years, and all participants were right-leg dominant. After being informed about the study procedures and ethical considerations, and after receiving instructions that would not interfere with the data collection process, participants were asked to wear sportswear and perform a standardised warm-up to prevent injury before testing. Subsequently, participants walked five times along an 18-metre walkway at a constant speed of 1.2 m/s. During these trials, plantar pressure data were recorded using a Footscan system (Belgium) with a sampling frequency of 300 Hz. Following the pre-test assessment, participants in the intervention group took part in an 8-week training programme consisting of 24 sessions (three sessions per week, 45 minutes per session). The training intervention consisted of a combination of advanced corrective exercises designed and implemented according to the principles of corrective and advanced training programmes. The type, sequence, and content of the exercises performed in each session are presented in Tables 2 and 3. After completion of the training period, the post-test assessment was conducted. To examine the effects of time (pre-test vs. post-test) and group (control vs. intervention) on the outcomes, a mixed within-between repeated measures ANOVA was applied. Bonferroni post hoc tests were used for follow-up analyses. Effect size was estimated using partial eta squared (η^2p) in SPSS V.26 in p less than 0.05.

Results

The results indicated that the main effect of time on the vertical ground reaction force (vGRF) in the heel strike phase was statistically significant (d = 0.549; P < 0.001). The pairwise comparisons indicated that vGRF values during heel strike were lower in the pre test than in the post test. The main effect of time on the vertical ground reaction force during the loading response phase was statistically significant (d = 0.560; p < 0.001). The pre test vGRF values during the loading response phase were lower than the post test in pairwise comparisons. Main effect of time (time to peak vertical ground reaction force during heel strike) was also statistically significant (d = 0.495; P < 0.001). The pairwise analysis showed that the time to peak vGRF during heel strike was shorter in the pre test than in the post test. Results indicated that the main effect of group on the vertical ground reaction force in the heel strike phase was statistically significant (d = 0.153; P = 0.027). Pairwise comparisons revealed that the training group had greater vGRF values at heel strike than the control group. The time × group interaction effect for peak pressure in the 2nd metatarsal region was statistically significant (d=0.144; P=0.032). Post hoc analysis revealed significantly higher peak pressure in second metatarsal (12.31%) in the pre test compared to the post test in the training group but not in the control group.

Conclusion

In conclusion, combined training improves gait-related biomechanical indices and balance control and muscle efficiency, leading to more stable function and improved movement quality in these patients. Future studies with a larger sample size, longer follow up periods and more biomechanical variables are recommended to establish stronger evidence and to assess the long-term sustainability of these outcomes.

Authors' Contribution

Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Investigation, Resources, Writing Original Draft Preparation, Writing–Review & Editing, Supervision, Software, Data Curation, Visualization, Project Administration: HSH, AJ,

Methodology, Supervision, Project Administration: HSH, SI.

Ethical Statement

This study was approved by Ethics Committee of University of Mohaghegh Ardabili (Iran) (IR.UMA.REC.1402.064). The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Funding

This research received no financial support.

Acknowledgment

The present article was extracted from the Ph.D. thesis written by Hamed sheikhalizade. The authors thank the all of participants and persons who help in this project.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

مجله دانشگاه علوم پزشکی ایلام

شاپای چاپی : ۱۵۶۳-۴۷۲۸

شاپای الکترونیک : ۲۵۸۸-۳۱۳۵

بررسی تأثیر تمرینات ترکیبی بر فشارهای کف‌پایی طی راه رفتن در مردان دارای بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی همراه با پای پرونیت

امیرعلی جعفرنژادگرو [1*]، سارا ایمانی‌بروج [1]، حامد شیخ‌علیزاده [1]

[1] بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۰۵

نویسنده مسئول:

امیرعلی جعفرنژادگرو

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

Email:
amiralijafarnezhad@gmail.com

چکیده

مقدمه: بازسازی رباط صلیبی قدامی جراحی رایجی برای آسیب‌های این رباط است که عملکرد زانو را در ۹۰ درصد بیماران بهبود می‌بخشد؛ اما تنها ۶۵ درصد به سطح ورزشی پیشین بازمی‌گردند. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تمرینات ترکیبی بر فشارهای کف‌پایی در افراد دارای بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی همراه با پای پرونیت طی راه رفتن است.

مواد و روش‌ها: روش این تحقیق از نوع کارآزمایی بالینی بود. با استفاده از نرم‌افزار G*Power، حجم نمونه برای هر گروه ۱۵ نفر تعیین شد. آزمودنی‌های تحقیق بازسازی رباط صلیبی قدامی را انجام داده و مبتلا به پای پرونیت بودند. آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی، به دو گروه کنترل و تمرین تقسیم‌بندی گردیدند. گروه مداخله به مدت ۸ هفته، تحت دستورالعمل تمرینی ترکیبی قرار گرفتند. پس از پایان دورهٔ مداخله، ارزیابی‌های پس‌آزمون در هر دو گروه به‌صورت مشابه پیش‌آزمون تکرار گردید. همهٔ تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS vol.26 انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش: نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که اثر اصلی زمان بر اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنه ($P<0.001$ ؛$\eta^2=0.549$) و نیز اثر اصلی زمان بر زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنه ($P<0.001$ ؛$\eta^2=0.495$) معنادار بود؛ همچنین اثر اصلی گروه بر اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنه ($P<0.001$ ؛$\eta^2=0.153$) و اثر تعاملی زمان×گروه بر اوج فشار وارد بر استخوان متاتارس دوم ($P<0.001$ ؛$\eta^2=0.032$) معنادار بود.

بحث و نتیجه‌گیری: تمرینات ترکیبی نه‌تنها در بهبود عملکرد بیومکانیکی مؤثرند، بلکه با اصلاح توزیع فشار کف‌پایی و کاهش فشارهای غیرطبیعی، نقشی پیشگیرانه در برابر آسیب‌های آتی ایفا می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: فشار کف‌پایی، تمرینات ترکیبی، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، آسیب رباط صلیبی قدامی، پای پرونیت

استناد: جعفرنژادگرو امیرعلی، ایمانی بروج سارا، شیخ‌علیزاده حامد. بررسی تأثیر تمرینات ترکیبی بر فشارهای کف‌پایی طی راه رفتن در مردان دارای بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی همراه با پای پرونیت. *مجله دانشگاه علوم پزشکی ایلام*، خرداد ۱۴۰۵؛ (۲)۳۴ : ۲۶-۱۴.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

حق‌مؤلف © نویسندگان

مقدمه

بازسازی رباط صلیبی قدامی به‌عنوان یکی از رایج‌ترین مداخلات جراحی در مدیریت آسیب‌های حاد و مزمن این رباط شناخته می‌شود (۱). با وجود ترمیم نسبتاً مطلوب عملکرد زانو در حدود ۹۰ درصد از بیماران (۲)، تنها ۶۵ درصد از افراد پس از عمل قادرند به سطح عملکرد ورزشی پیش از آسیب بازگردند (۳). شواهد نشان داده‌اند که در بازه ۵ تا ۱۵ سال پس از بازسازی، بروز آسیب غضروف‌های مفصلی و به‌ویژه ضایعات مینیسک داخلی و سپس مینیسک جانبی از پیامدهای شایع به‌شمار می‌رود (۲). بااین‌حال، نرخ بازسازی مجدد رباط صلیبی قدامی بسیار پایین گزارش‌شده و بین ۲ تا ۶ درصد متغیر است (۴، ۳).

یکی از عوارض شایع اندام تحتانی در مفصل مچ پا، پای پرونیت (افتادگی بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در قوس طولی پا و چرخش پاشنه با خارج) است (۴). مطالعات بیان کرده‌اند که پرونیشن مفصل ساب‌تالار موجب افزایش چرخش داخلی استخوان تیبیا در طول فعالیت‌های دینامیک می‌شود که نتیجهٔ آن، افزایش فشار بر مفصل زانو و رباط‌های پیرامونی آن است (۵). این تغییرات پرونیشن پا را به یکی از عوامل مهم بروز درد قدامی زانو تبدیل کرده است، به‌طوری‌که در پژوهشی، میزان شیوع این درد در مردان و زنان مبتلا به پای پرونیت به‌ترتیب ۱۶/۲۳ و ۱۱/۳۱ درصد گزارش شد (۶). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که چرخش بیش‌ازحد درشت‌نی ناشی از پرونیشن ساب‌تالار می‌تواند به‌عنوان سازوکاری در بروز آسیب رباط صلیبی قدامی عمل کند و فشار مضاعفی بر این رباط وارد نماید که درنهایت، خطر پارگی آن را افزایش می‌دهد (۷). بیماران پس از بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی معمولاً از راهبردهای جبرانی در اندام تحتانی بهره می‌گیرند تا بارهای خارجی و نیروهای عکس‌العمل زمین کاهش یابد (۸). این راهبردها ممکن است با تغییر در گشتاورهای عضلانی در صفحهٔ ساجیتال همراه باشند (۹). شواهد نشان داده‌اند که بازسازی رباط صلیبی قدامی قادر است بر الگوهای حرکتی در حین راه رفتن و دویدن تأثیر بگذارد (۱۰).

شواهد متعددی تغییرات مکانیک راه رفتن را در بیماران مختلف نشان داده‌اند . دگرگونی در نیروهای عکس‌العمل زمین مستلزم تغییر در شتاب مرکز جرم است (۱۱). اگرچه نقش دقیق رباط صلیبی قدامی در پیشگیری از بی‌ثباتی و محدود شدن عملکرد زانو هنوز به‌طور کامل روشن نشده است (۱۲)، بررسی‌های مکانیکی دقیق نشان داده‌اند که ساختار و عملکرد زانو پیچیدگی قابل‌توجهی دارد. بااین‌حال، بخشی از تغییرات دینامیکی یا پیامدهای آسیب رباط صلیبی قدامی را می‌توان از طریق تحلیل فشارهای کف‌پایی شناسایی کرد؛ اما در افراد دارای بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی و پای پرونیت، دربارهٔ اینکه کدام بخش بیشترین میزان فشار را متحمل می‌شود، شواهد یکسان نیست. برخی پژوهش‌ها بیان داشته‌اند که بیشینهٔ فشار در ناحیهٔ میانی جلوی پا متمرکز است (۱۷، ۱۶)، درحالی‌که برخی دیگر بخش انگشتان پا را به‌عنوان ناحیه آناتومیکی با بالاترین فشار معرفی کرده‌اند (۱۳). به‌منظور پر کردن این شکاف، از برنامه‌های تمرینی پیشرفته و اصلاحی با فعالیت‌هایی شبیه به شرایط واقعی ورزش استفاده‌شده است تا گذار از پایان توان‌بخشی استاندارد به ورود کامل به رقابت‌های ورزشی تسهیل شود (۱۴-۱۶). این برنامه‌ها معمولاً بازه ۶ تا ۱۲ ماه پس از عمل را هدف می‌گیرند و عموماً شامل تقویت اندام‌های تحتانی و تمرینات عصبی-عضلانی (چابکی، تمرینات اغتشاشی و پلیومتریک) با شدتی بالاتر از توان‌بخشی استاندارد هستند (۲۲، ۲۱). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مزایای بالقوهٔ تمرینات پیشرفته شامل بهبود عملکرد (۱۶)، افزایش میزان موفقیت در گذر از معیارهای بازگشت به ورزش که متشکل از سنجه‌های اختلالات جسمانی و شاخص‌های روان‌شناختی است (۱۷) و احتمالاً پیشگیری از آسیب ثانویه می‌شود (۱۶). حتی در غیاب مداخلهٔ روان‌شناختی صریح، مطالعات پیشین گزارش کرده‌اند، بیمارانی که تمرینات پیشرفته را به پایان می‌رسانند، از آمادگی روان‌شناختی کلی بیشتری برای مشارکت ورزشی برخوردارند (۱۸) و خودکارآمدی بهتری در فعالیت‌های مرتبط با زانو نشان می‌دهند (۱۹). با توجه به مطالعات انجام‌شده، هیچ مطالعه‌ای تأثیر تمرینات ترکیبی را بر فشارهای کف‌پایی در بیماران دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی و پای

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

پرونیت را طی راه رفتن بررسی نکرده است؛ بنابراین، در این پژوهش به آن پرداخته‌شده است.

مواد و روش‌ها

روش این تحقیق از نوع کارآزمایی بالینی بود. با استفاده از اطلاعات مربوط به مطالعات پیشین و با استفاده از نرم‌افزار G*power vol.3.1.9.7 (Franz Faul, Universität Kiel، آلمان)، حجم نمونهٔ آماری پژوهش حاضر ۱۵ نفر در هر گروه برآورد شد تا توان آماری ۰/۸ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ به‌دست آید. بر اساس همین، ۱۵ نفر با سابقهٔ بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی و مبتلا به پای پرونیت (گروه تمرین) (که از سوی پزشک بررسی و وارد تحقیق شدند) و ۱۵ نفر با سابقهٔ بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی و مبتلا به پای پرونیت، به‌عنوان گروه کنترل (گروه بدون تمرین) انتخاب گردیدند. افراد دارای آسیب رباط صلیبی قدامی ۴ تا ۸ ماه قبل از مطالعه، عمل جراحی رباط صلیبی قدامی (اتوگرفت همسترینگ) را به‌صورت یک‌طرفه انجام داده بودند. افرادی که آسیب‌های مینیسک و آرتروز و درد زانو داشتند، از مطالعه کنار گذاشته شدند. همهٔ شرکت‌کنندگان از نظر جسمی فعال بودند و حداقل سه جلسه در هفته، به مدت ۴۵ دقیقه پیاده‌روی و یا دویدن داشتند. جامعهٔ آماری این پژوهش مردانی با محدودهٔ سنی ۱۹ تا ۲۶ سال بودند (جدول شمارهٔ ۱).

جدول شمارهٔ ۱. آزمودنی‌های شرکت‌کننده در تحقیق

متغیر	گروه سالم	گروه بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت	سطح معناداری
سن (سال)	۲۳/۱±۸۶/۲۴	۲۴/۱±۲۰/۳۷	۰/۴۹۲
قد (سانتی‌متر)	۱۷۷/۳±۲۶/۸۲	۱۷۸/۳±۱۳/۸۵	۰/۵۴۱
وزن (کیلوگرم)	۷۶/۳±۸۶/۶۲	۷۷/۳±۶۶/۶۹	۰/۵۵۴
BMI(کیلوگرم در مترمربع)	۲۴/۱±۶۱/۴۸	۲۴/۱±۴۸/۰۴	۰/۷۷۷
زمان آسیب تا عمل جراحی (ماه)	–	۶/۰±۱۳/۹۹	–
زمان عمل جراحی تا شرکت در تحقیق (ماه)	–	۵/۱±۸۶/۳۰	–

هریک از آزمودنی‌های تحقیق بر اساس معیارهای ورود شامل جنسیت مرد، بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی در پای راست، داشتن افتادگی ناوی در همان پا (برای سنجش پرونیشن پا)، داشتن دامنهٔ حرکتی کامل در مفصل زانو، گذشت حداقل چهار ماه از جراحی، توانایی راه رفتن و دویدن مستقل و استفاده نکردن از هرگونه بریس یا زانوبند، از شرایط ورود به تحقیق بیماران آسیب رباط صلیبی قدامی انتخاب شدند. دستورالعمل تحقیق از سوی کمیتهٔ اخلاق دانشگاه محقق اردبیلی (IR.UMA.REC.1403.063) تصویب و با کد IRCT20170806035517N6 در مرکز ثبت کارآزمایی بالینی ایران به ثبت رسید. همهٔ موارد اجرای پژوهش مطابق با اعلامیه هلسینکی انجام شد (۲۰). پای برتر آزمودنی‌ها توسط آزمون شوت توپ مشخص گردید (۲۱). همهٔ آزمودنی‌ها راست‌پا بودند. پس از توجیه آزمودنی‌ها و ذکر ملاحظات اخلاقی تحقیق و همچنین ذکر نکات و آموزش‌هایی که در روند انجام تحقیق و جمع‌آوری داده‌ها تداخلی ایجاد نمی‌کرد، از فرد خواسته شد که لباس ورزشی بپوشد و برای جلوگیری از آسیب، پیش از اجرای آزمون، گرم کردن اولیه را انجام دهد؛ سپس آزمودنی‌ها در مسیر ۱۸ متری، ۵ مرتبه عمل راه رفتن را با سرعت ثابت ۱/۲ متر بر ثانیه اجرا کردند. در این حین، فشارهای کف‌پایی با استفاده از دستگاه فوت اسکن (RSScan international, Belgium, 0.5×0.5×0.02m, 4363 sensors) ساخت کشور بلژیک با نرخ نمونه‌برداری ۳۰۰ هرتز ثبت شد.

کوشش راه رفتن صحیح شامل برخورد کامل پا روی بخش میانی دستگاه فوت اسکن بود. آزمودنی به‌طور

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

آزمایشی، سه مرتبه کوشش راه رفتن را انجام می‌داد تا با نحوهٔ آزمایش آشنا شود. اگر فوت‌اسکن از سوی آزمودنی برای تنظیم گام مورد هدف قرار می‌گرفت یا تعادل آزمودنی دچار اختلال می‌گردید، کوشش راه رفتن تکرار می‌شد (۲۲). تعداد کوشش‌های صحیح راه رفتن برابر ۳ کوشش در هر شرایط بود. مدت‌زمان استراحت میان هر کوشش راه رفتن برابر یک دقیقه بود. داده‌های فشار کف‌پایی طی فاز اتکای راه رفتن استخراج گردید. فاز اتکای راه رفتن به‌عنوان تماس پاشنهٔ پا با زمین تا بلند شدن پنجهٔ پا تعیین شد که می‌تواند اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، زمان رسیدن به این اوج، اوج متغیرهای فشار کف‌پایی در نواحی ده‌گانهٔ پا باشد. این نواحی به‌ترتیب شامل انگشت شست، انگشت دوم تا پنجم، استخوان کف‌پایی اول، استخوان کف‌پایی دوم، استخوان کف‌پایی سوم، استخوان کف‌پایی چهارم، استخوان کف‌پایی پنجم، بخش میانهٔ پا، بخش داخلی پاشنه و بخش خارجی پاشنه است. آزمودنی‌ها پس از انجام پیش‌آزمون، در یک دورهٔ تمرینی ۸ هفته‌ای شامل ۲۴ جلسه تمرین (۳ جلسه در هفته، هر جلسه ۴۵ دقیقه) شرکت کردند. مداخلهٔ تمرینی شامل تمرینات اصلاحی پیشرفته به‌صورت ترکیبی بود که بر اساس اصول تمرینات اصلاحی و پیشرفته طراحی و اجرا شد. نوع، توالی و محتوای تمرینات در هر جلسه مطابق جدول‌های شمارهٔ ۲ و ۳ ارائه گردیده است (۲۳, ۲۴). در پایان جلسات تمرینی، آزمون دوباره تکرار شد.

جدول شمارهٔ۲. تمرینات پیشرفته

دسته‌بندی	نوع	مثال
پلایومتریک	جانبی	پرش جانبی تک‌پا
	قدامی	پرش سه‌گانه
	جمع کردن پا	پرش جفت
	قیچی لانچ	وزنهٔ یک‌طرفه پرش قیچی
	چرخشی	پرش ۹۰ درجه روی فوم
قدرت	تنه	پلانگ جانبی
	عضلات چهارسران	لانچ با اسکات
	همسترینگ	Single leg bridge on BOSU
چابکی	سرعت پا	دریل‌های نردبانی
	پرش	حرکات بین مخروطی
	عکس‌العمل	آزمون عکس‌العمل با توپ
		توپ واکنش

جدول شمارهٔ۳. تمرینات اصلاحی

مراحل	حرکت	دور	مدت/تکرار	شدت	توضیحات
مهار (رهاسازی مایوفاشیال)	دوقلو/نعلی	۱	۳۰ ثانیه	آهسته	بخش خارجی
	دوسررانی	۱	۳۰ ثانیه	آهسته	بخش خارجی
	نوارایلیوتیبیال	۱	۳۰ ثانیه	آهسته	بخش خارجی
افزایش طول (کشش ایستا)	کشش دوقلو	۱	۳۰ ثانیه	آهسته	چرخش داخلی پشت پا
		۱	۳۰ ثانیه	آهسته	چرخش داخلی پشت پا
	کشش نعلی	۱	۳۰ ثانیه	آهسته	چرخش داخلی پشت پا

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

	کشش دوسررانی در حالت طاق‌باز کشش کشندهٔ پهن نیام در حالت ایستاده	۱	۳۰ ثانیه	آهسته	چرخش داخلی پشت پا
فعال‌سازی (تمرین تقویتی ایزومتریک)	دورسی فلکشن مچ در مقابل مقاومت بلند کردن ساق یک پا خم کردن زانو در مقابل مقاومت همراه با چرخش داخلی ران پلانتار فلکشن و اینورژن در مقابل مقاومت	۲-۱ ۲-۱ ۲-۱ ۲-۱	۱۵-۱۰ ۱۵-۱۰ ۱۵-۱۰ ۱۵-۱۰	۴/۲/۲ ۴/۲/۲ ۴/۲/۲ ۴/۲/۲	ساقی قدامی دوقلو داخلی همسترینگ داخلی ساقی خلفی
انسجام‌بخشی	دستیابی به تعادل بر روی یک پا در چند سطح	۲-۱	۱۵-۱۰	آهسته	حفظ قوس مناسب پا، زانو مستقیم در مقابل انگشتان دوم و سوم

برای هموار کردن داده‌ها، از فیلتر باتروورث مرتبهٔ چهارم با برش فرکانسی ۲۰ هرتز استفاده گردید (۲۵). برای نرمال کردن مقادیر نیروی عکس‌العمل زمین، این مقادیر بر وزن بدن تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شدند (۲۵). درنهایت، برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها، از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده گردید. برای بررسی تأثیرات زمان (پیش‌آزمون در برابر پس‌آزمون) و گروه (گروه کنترل در برابر گروه مداخله) بر نتایج، از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر ترکیبی (within-between repeated measures ANOVA) استفاده شد. در تحلیل‌های آزمون تعقیبی (post-hoc)، از آزمون بونفرونی بهره گرفته شد. برای برآورد اندازهٔ اثر، مقدار اتای جزئی (η^2p) گزارش گردید. مقادیر کمتر از ۰/۵۰ نشان‌دهندهٔ اثر کوچک، مقادیر بین ۰/۵۰ تا ۰/۸۰ نشان‌دهندهٔ اثر متوسط و مقادیر بیشتر از ۰/۸۰ نشان‌دهندهٔ اثر بزرگ بودند. همهٔ تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS vol.26 انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج اثر عامل زمان در مؤلفهٔ نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنهٔ پا با زمین از نظر آماری معنادار بود (d=0.549؛ P<0.001). مقایسهٔ جفتی نشان داد، مقادیر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنهٔ پا با زمین در پیش‌آزمون، نسبت به پس‌آزمون، کمتر بود. اثر عامل زمان در مؤلفهٔ نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز پیشروی از نظر آماری معنادار بود (d=0.560؛ P<0.001). مقایسهٔ جفتی نشان داد، مقادیر نیروی عکس‌العمل زمین در فاز پیشروی در پیش‌آزمون، نسبت به پس‌آزمون، کمتر بود. اثر عامل زمان مؤلفهٔ زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنهٔ پا با زمین از نظر آماری معنادار بود (d=0.495؛ P<0.001). مقایسهٔ جفتی نشان داد، مقادیر زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنهٔ پا با زمین در پیش‌آزمون، در مقایسه با پس-آزمون، کمتر بود. اثر عامل زمان مؤلفهٔ زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز پیشروی از نظر آماری معنادار بود (d=0.399؛ P<0.001). مقایسهٔ جفتی نشان داد، مقادیر زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز پیشروی در پیش‌آزمون، در مقایسه با پس‌آزمون، کمتر بود. اثر عامل زمان در مؤلفهٔ اوج فشار در استخوان کف‌پایی سوم از نظر آماری

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

معنادار بود (d=0.268؛ P=0.002). مقایسهٔ جفتی نشان داد، مقادیر اوج فشار در استخوان کف‌پایی سوم در پیش‌آزمون، نسبت به پس‌آزمون، بیشتر بود. اثر عامل زمان در مؤلفهٔ اوج فشار در استخوان کف‌پایی چهارم از نظر آماری معنادار بود (d=0.250؛ P=0.004). مقایسهٔ جفتی نشان داد، مقادیر اوج فشار در استخوان کف‌پایی چهارم در پیش‌آزمون، در مقایسه با پس‌آزمون، بیشتر بود. اثر عامل زمان در مؤلفهٔ اوج فشار در استخوان کف‌پایی پنجم از نظر آماری معنادار بود (d=0.186؛ P=0.014). مقایسهٔ جفتی نشان داد، مقادیر اوج فشار در استخوان کف‌پایی پنجم در پیش‌آزمون، نسبت به پس‌آزمون، بیشتر بود. اثر عامل زمان در مؤلفهٔ اوج فشار در قسمت میانی کف‌پا از نظر آماری معنادار بود (d=0.342؛ P<0.001). مقایسهٔ جفتی نشان داد، مقادیر اوج فشار در قسمت میانی کف پا در پیش‌آزمون، در مقایسه با پس‌آزمون، بیشتر بود (جدول شمارهٔ ۴).

با توجه به نتایج، اثر عامل گروه در مؤلفهٔ نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنهٔ پا با زمین از نظر آمار معنادار بود (d=0.153؛ P=0.027). مقایسهٔ جفتی نشان داد، مقادیر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنهٔ پا با زمین در گروه تمرین، نسبت به گروه کنترل، بیشتر بود.

اثر تعاملی زمان×گروه در مؤلفهٔ اوج فشار در استخوان کف‌پایی دوم از نظر آماری معنادار بود (d=0.144؛ P=0.032). آزمون تعقیبی نشان داد، مقادیر اوج فشار در استخوان کف‌پایی دوم در گروه تمرین پیش‌آزمون، نسبت به پس‌آزمون، ۱۲/۳۱ درصد بیشتر بود که در گروه کنترل این اختلاف معنادار مشاهده نشد (جدول شمارهٔ ۴).

جدول شمارهٔ ٤. مقایسهٔ مؤلفه‌های فشار کف‌پایی دو گروه تمرین و کنترل در افراد دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی با پای پرونیت (نیوتن بر سانتی‌متر مربع)

مؤلفه‌ها	گروه کنترل		گروه تمرین		سطح معناداری		
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	اثر عامل زمان	اثر عامل گروه	اثر تعاملی زمان و گروه
Fz_{HC}	۱۲۸/۲۷±۴۶/۱۸	۱۷۱/۳۲±۶۰/۴۱	۱۴۳/۲۴±۲۰/۴۹	۱۹۴/۴۰±۴۶/۶۸	P<0.001* (۰/۵۴۹)	۰/۰۲۷ * (۰/۱۵۳)	۰/۶۰۷ (۰/۰۰۹)
Fz_{PO}	۱۴۱/۲۵±۴۰/۵۶	۱۷۷/۳۱±۵۴/۰۱	۱۴۵/۲۴±۳۷/۸۱	۱۹۵/۴۱±۶۰/۰۸	P<0.001* (۰/۵۶۰)	۰/۲۰۹ (۰/۰۵۲)	۰/۳۲۲ (۰/۰۳۳)
$TTPFz_{hc}$	۱۷۴/۵۴±۵۱/۱۹	۶۴/۷۳ ±۲۷۵/۹۷	۲۰۵/۱۱۱±۴۶/۵۵	۲۶۵/۶۳±۸۸/۵۶	P<0.001* (۰/۴۹۵)	۰/۶۴۹ (۰/۰۰۷)	۰/۱۸۰ (۰/۰۵۹)
$TTPFz_{po}$	۵۰۳/۶۵±۶۳/۵۹	۶۰۷/۵۲±۵۳/۰۸	۵۳۹/۶۶±۳۹/۰۵	۶۰۳/۱۰۵±۴۷/۵۰	P<0.001* (۰/۳۹۹)	۰/۴۰۳ (۰/۰۲۳)	۰/۲۹۹ (۰/۰۳۶)
انگشت شست	۱۲/۳±۸۷/۷۶	۱۴/۴±۱۲/۰۳	۱۴/۵±۱۶/۳۱	۱۴/۴±۲۳/۰۶	۰/۵۶۵ (۰/۰۱۱)	۰/۵۰۶ (۰/۰۱۵)	۰/۶۰۵ (۰/۰۰۹)
انگشتان دوم تا پنجم	۶/۱±۱۷/۸۱	۵/۱±۵۹/۷۲	۵/۲±۶۰/۱۴	۵/۱±۲۸/۷۵	۰/۳۴۴ (۰/۰۳۰)	۰/۳۵۴ (۰/۰۲۹)	۰/۷۸۱ (۰/۰۰۳)
کف‌پایی اول	۱۲/۴±۶۲/۷۶	۱۲/۳±۸۹/۱۹	۱۴/۵±۷۴/۳۰	۱۱/۳±۸۱/۵۲	۰/۱۷۵ (۰/۰۶۰)	۰/۶۶۲ (۰/۰۰۶)	۰/۱۰۶ (۰/۰۸۵)

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

کف‌پایی دوم	۲۳/۳±۵۷/۶۵	۲۴/۴±۲۳/۱۷	۲۵/۳±۱۷/۸۴	۲۲/۵±۰۷/۲۰	۰/۱۵۸ (۰/۰۶۵)	۰/۸۲۵ (۰/۰۰۲)	۰/۰۳۲ (۰/۱۴۴)*
کف‌پایی سوم	۲۵/۴±۲۰/۹۲	۲۳/۵±۸۲/۴۰	۲۶/۴±۵۹/۷۲	۲۲/۵±۴۷/۳۳	*۰/۰۰۲ (۰/۲۶۸)	۰/۹۹۱ (۰/۰۰۰)	۰/۱۱۰ (۰/۰۸۳)
کف‌پایی چهارم	۲۴/۸±۰۵/۴۸	۱۹/۷±۰۵/۱۰	۲۱/۶±۱۱/۲۹	۱۷/۴±۳۴/۷۶	*۰/۰۰۴ (۰/۲۵۰)	۰/۲۴۵ (۰/۰۴۵)	۰/۶۶۴ (۰/۰۰۶)
کف‌پایی پنجم	۱۶/۸±۷۰/۰۴	۱۲/۶±۰۱/۵۳	۱۳/۷±۶۷/۹۵	۱۰/۲±۲۷/۷۷	*۰/۰۱۴ (۰/۱۸۶)	۰/۱۹۲ (۰/۰۵۶)	۰/۶۸۲ (۰/۰۰۶)
میانی کف‌پا	۱۱/۲±۶۹/۸۴	۹/۲±۲۷/۲۳	۱۱/۲±۱۲/۳۸	۹/۲±۳۹/۱۲	P<0.001* (۰/۳۴۲)	۰/۷۴۲ (۰/۰۰۴)	۰/۵۱۹ (۰/۰۱۴)
داخلی پاشنه	۱۵/۲±۶۰/۴۸	۱۷/۴±۹۱/۳۰	۱۷/۴±۸۶/۶۳	۱۸/۳±۸۷/۹۱	۰/۱۳۷ (۰/۰۷۲)	۰/۰۷۱ (۰/۱۰۵)	۰/۵۵۴ (۰/۰۱۲)
خارجی پاشنه	۱۵/۲±۶۳/۰۹	۱۶/۳±۵۷/۶۳	۱۵/۳±۹۰/۰۶	۱۶/۳±۸۶/۷۳	۰/۲۷۶ (۰/۰۳۹)	۰/۷۰۵ (۰/۰۰۵)	۰/۹۹۲ (۰/۰۰۰)

FzHC. اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظهٔ تماس پاشنهٔ پا با زمین؛ FzPO. اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظهٔ پیشروی؛ TTPFzHC. زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظهٔ تماس پاشنهٔ پا با زمین؛ TTPFzPO. زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در لحظهٔ پیشروی؛ *سطح معناداری $P<0.05$

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر تمرینات ترکیبی بر فشارهای کف‌پایی در افراد دارای بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی همراه با پای پرونیت طی راه رفتن بود. یافته‌های این مطالعه نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت تمرینات ترکیبی بر توزیع فشارهای کف‌پایی و نیروهای عکس‌العمل زمین در افراد با بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی همراه با پای پرونیت طی راه رفتن است. این تغییرات می‌تواند به بهبود پایداری و کاهش خطر آسیب‌های ثانویه کمک کند که با شواهد موجود دربارهٔ بیومکانیک پس از بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی همخوانی دارد. در مقایسه با مطالعات پیشین، افزایش نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنه با زمین پس از تمرینات ترکیبی، با یافته‌های کاری و همکاران شباهت دارد که گزارش کردند، افراد با بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی اغلب الگوهای راه رفتن تغییریافته‌ای نشان می‌دهند، ازجمله افزایش بار عمودی برای جبران ناپایداری زانو (۲۶). این شباهت ممکن است به علت بهبود کنترل عصبی عضلانی باشد که در مطالعهٔ نگلی نیز نشان داده شد، تمرینات عصبی عضلانی به بهبود کینتیک و کنماتیکی زانو منجر می‌شود که می‌تواند توزیع بار را بهینه کند (۲۷). بااین‌حال، تفاوت با مطالعهٔ شهبازی و همکاران مشاهده می‌گردد که گزارش کردند، بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی به کاهش کلی نیروی عکس‌العمل زمین منجر می‌شود. علت این تفاوت می‌تواند به تمرکز مطالعهٔ ما بر تمرینات ترکیبی (شامل تقویت و تعادل) باشد که برخلاف رویکردهای صرفاً توان‌بخشی در مطالعهٔ سیتین، به افزایش نیروی عمودی برای حمایت بهتر از زانو کمک می‌کند (۲۸)؛ همچنین کوبین و همکاران نشان دادند که گشتاور پایدار زانو پس از بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی بهبود می‌یابد که می‌تواند توضیح‌دهندهٔ افزایش نیروی عکس‌العمل زمین در مطالعهٔ ما باشد؛ زیرا پایداری عضلانی بهتر به توزیع بار مؤثرتر منجر می‌شود (۲۹). افزایش نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز پیشروی پس از تمرینات، با نتایج وانگ همخوانی دارد که گزارش کرد، تمرینات ایزوکنتیک به بهبود قدرت عضلانی و حس عمقی منجر می‌گردد که می‌تواند بار عمودی را در فازهای پیشروی راه رفتن افزایش دهد (۳۰). این شباهت احتمالاً به سبب تقویت زنجیرهٔ عضلانی (مانند چهارسررانی و همسترینگ)

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

است که در مطالعهٔ رستمی نیز تأکید شده خستگی عصبی عضلانی به تغییرات نیروی عکس‌العمل زمین منجر می‌شود؛ اما تمرینات می‌تواند این آثار را معکوس کند (۳۱). این نتایج با مطالعهٔ میلیت مایر همسو نبود، به‌صورتی که او کاهش فشار در ناحیهٔ پاشنه را گزارش کرد. علت تفاوت می‌تواند به عمل تفاوت در زمان پس از جراحی باشد. مطالعه ما بر افراد با حداقل ۴ ماه پس از بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی تمرکز داشت، درحالی‌که میلیت مایر بر مراحل اولیه تأکید داشت (۳۲).

تأخیر در زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز برخورد پاشنه، با یافته‌های دشتی و رستمی شباهت دارد که نشان دادند، خستگی به تغییرات فعالیت الکتریکی عضلات زانو منجر می‌شود؛ اما تمرینات عصبی عضلانی می‌تواند زمان‌بندی را بهبود بخشد (۳۳). علت این شباهت احتمالاً بهبود قدرت عصبی عضلانی است که در مطالعهٔ نگلی و همکاران نیز گزارش‌شده است. بااین‌حال، تفاوت با مطالعهٔ کار (که زمان‌بندی سریع‌تر را در راه رفتن پس از بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی نشان داد) می‌تواند به سبب ترکیب پرونیت پا در جمعیت مطالعهٔ ما باشد که بار را تغییر می‌دهد و نیاز به زمان بیشتر برای جذب شوک دارد (۲۷). تأخیر در زمان رسیدن به اوج نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در فاز پیشروی، با نتایج میر باچتون و همکاران (۲۰۲۲) همخوانی دارد که بیان کردند، تمرینات پیشرفته به بهبود آمادگی برای بازگشت به ورزش منجر می‌گردد (۲۳). این شباهت ممکن است به سبب تقویت حس عمقی باشد که در مطالعهٔ ما و همکاران نیز بیان شده که تمرینات حس عمقی توزیع بار را بهینه می‌کند (۳۲). اختلاف با مطالعهٔ الکسی و همکاران که خستگی همسترینگ را بررسی کردند، می‌تواند به تمرکز ما بر تمرینات ترکیبی باشد که برخلاف آنان، زمان‌بندی را برای کاهش استرس بر زانو کنترل کرده است (۳۴).

کاهش اوج فشار در استخوان کف‌پایی سوم، چهارم و پنجم پس از تمرینات، با یافته‌های آردین و همکاران شباهت دارد که انتقال بار از جانبی به داخلی را بررسی و گزارش کردند که می‌تواند پرونیشن را کاهش دهد (۳۵). این شباهت احتمالاً به علت بهبود تعادل عضلانی است که در مطالعهٔ کریمی و همکاران نیز بیان شده است (۳۶). در مقابل، ناهمسویی با مطالعهٔ ویلیامز و همکاران وجود داشت که افزایش فشار جانبی را گزارش کردند و ممکن است به علت دستورالعمل تمرینی ما باشد که بر کاهش بار جانبی تمرکز داشت تا خطر پیچ‌خوردگی را کم کند (۳۷). درنهایت، افزایش نیروی عکس‌العمل زمین در گروه تمرینی نسبت به کنترل با مطالعهٔ جانگ و همکاران شباهت دارد که تمرینات جدید کینتیک زانو را بهبود می‌بخشد (۳۸). کاهش فشار در استخوان کف‌پایی دوم در گروه تمرینی با مطالعهٔ نگلی و همکاران همخوانی دارد که تمرینات عصبی عضلانی توزیع بار را بهینه می‌کند (۲۷). این تغییرات نشان‌دهندهٔ پتانسیل تمرینات ترکیبی برای کاهش خطر آسیب‌های ثانویه است؛ اما مطالعات آینده باید بر جمعیت‌های بزرگ‌تر و پیگیری طولانی‌مدت تمرکز کنند.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تمرینات ترکیبی می‌توانند به‌طور معناداری بر بهبود شاخص‌های بیومکانیکی مرتبط با فشار کف‌پایی و نیروی عکس‌العمل زمین در افراد دارای بازسازی رباط صلیبی قدامی همراه با پای پرونیت اثرگذار باشند. کاهش فشار در استخوان‌های کف‌پایی به‌ویژه متاتارس دوم، سوم، چهارم و پنجم و نیز کاهش فشار در ناحیهٔ میانی کف پا پس از اجرای دستورالعمل تمرینی، بیان‌کنندهٔ بهبود در الگوی توزیع فشار و اصلاح عملکرد حرکتی است؛ همچنین تغییرات مشاهده‌شده در زمان رسیدن به اوج نیرو و مقادیر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین حاکی از بهبود هماهنگی عصبی–عضلانی و افزایش پایداری مفصل در فازهای مختلف گام‌برداری است. این نتایج نشان می‌دهد که تمرینات ترکیبی با تأثیر بر سازوکارهای کنترل تعادل و بازتوزیع بار می‌توانند به بازگرداندن الگوی طبیعی راه رفتن پس از بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی کمک کنند و احتمال بروز آسیب‌های ثانویه ازجمله شکستگی‌های استرسی یا پیچ‌خوردگی مچ پا را کاهش دهند. از این دیدگاه، تمرینات استفاده‌شده در مطالعهٔ حاضر می‌توانند به‌عنوان

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

بخشی از دستورالعمل‌های توان‌بخشی و بازتوانی بیماران مبتلا به بازسازی آسیب رباط صلیبی قدامی، به‌ویژه در افرادی با ساختار پای پرونیت توصیه شوند. پژوهش‌های آینده می‌توانند با استفاده از نمونه‌های بزرگ‌تر، پیگیری طولانی‌مدت و بررسی سایر متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی، اثربخشی و پایداری نتایج این نوع مداخلات را با دقت بیشتری ارزیابی کنند.

سپاس‌گزاری

از همهٔ شرکت‌کنندگان حاضر در پژوهش و همچنین از حمایت مالی معاونت تحصیلات تکمیلی دانشگاه محقق اردبیلی در اجرای پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی را داریم.

تعارض منافع

بنا به اظهار نویسندگان، این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی نداشته است. پژوهش حاضر از هیچ سازمانی کمک مالی دریافت نکرد.

کد اخلاق

این مقاله با نظارت و تاییدیه کمیته اخلاق دانشگاه محقق اردبیلی با کد اخلاق IR.UMA.REC.1402.064 انجام شده است.

حمایت مالی

پژوهش حاضر از هیچ گونه حمایت مالی برخوردار نبوده است.

مشارکت نویسندگان

مفهوم سازی، روش شناسی، تجزیه و تحلیل رسمی، تحقیق، منابع، نوشتن آماده سازی پیش نویس اصلی، نوشتن- بررسی و ویرایش، نظارت، نرم افزار، مدیریت داده، تجسم، مدیریت پروژه:جعفر نژاد- شیخ علی زاده.

روش شناسی، نظارت، مدیریت پروژه: شیخ علی زاده، سارا ایمانی.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

References

1. Shorter KA, Polk JD, Rosengren KS, Hsiao-Wecksler ET. A new approach to detecting asymmetries in gait. Clin Biomech. 2008;23:459-67. doi:10.1016/j.clinbiomech.2007.12.002.
2. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 2011;45:596-606. doi:10.1136/bjsm.2010.076364.
3. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: updated systematic review. Br J Sports Med. 2014;48:1543-52. doi:10.1136/bjsports-2013-093398.
4. Nepple JJ, Dunn WR, Wright RW. Meniscal repair outcomes at >5 years. J Bone Joint Surg Am. 2012;94:2222-27. doi:10.2106/JBJS.K.01584.
5. Feagin JA, Wills RP, Lambert KL, Mott HW, Cunningham RR. Anterior cruciate ligament reconstruction: BPTB versus semitendinosus. Clin Orthop Relat Res. 1997;341:69-72. doi:10.1097/00003086-199704000-00010.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Robertson DGE, Caldwell GE, Hamill J, Kamen G, Whittlesey S. Research Methods in Biomechanics. Champaign, IL: Human Kinetics; 2013.
10. Redmond AC, Crosbie J, Ouvrier RA. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index. Clin Biomech (Bristol). 2006;21:89-98. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2005.08.002.
11. Burnfield JM. Gait analysis: normal and pathological function. J Sports Sci Med. 2010;9:353.
12. Schneider E, Chao EYS. Fourier analysis of ground reaction forces. J Biomech. 1983;16:591-601. doi: 10.1016/0021-9290(83)90109-4.
13. Chiou SS, Turner N, Zwiener J, Weaver DL, Haskell WE. Effect of boot weight and sole flexibility on gait and physiological responses of firefighters in stepping over obstacles. Hum Factors. 2012;54:373-86. doi: 10.1177/0018720811433464.
14. de Mille P, Osmak J. Performance: Bridging the Gap After ACL Surgery . Curr Rev Musculoskelet Med. 2017;10:297-306. doi: 10.1007/s12178-017-9419-2.
15. Myer GD, Chu DA, Brent JL, Hewett TE. Trunk and hip control neuromuscular training for the prevention of knee joint injury. Clin Sports Med. 2008;27:425-48. doi:10.1016/j.csm.2008.02.006.
16. Nyland J, Greene J, Carter S, Brey J, Krupp R, Caborn D. Return to sports bridge program. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2020;28:3676-85. doi: 10.1007/s00167-020-06162-7.
17. Meierbachtol A, Yungtum W, Paur E, Bottoms J, Chmielewski TL. Psychological and Functional Readiness for Sport Following Advanced Group Training in Patients With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. J Orthop Sports Phys Ther. 2018;48:864-72. doi: 10.2519/jospt.2018.8041.
18. Meierbachtol A, Obermeier M, Yungtum W, Bottoms J, Paur E, Nelson BJ, et al. Injury-Related Fears During the Return-to-Sport Phase of ACL Reconstruction Rehabilitation. Orthop J Sports Med. 2020;8:2325967120909385. doi: 10.1177/2325967120909385.
19. Chmielewski TL, George SZ, Tillman SM, Moser MW, Lentz TA, Indelicato PA, et al. Low- Versus High-Intensity Plyometric Exercise During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Am J Sports Med. 2016;44:609-17. doi: 10.1177/0363546515620583.
20. World Medical Association. Declaration of Helsinki. 2004.
21. Jafarnezhadgero AA, Majlesi M, Azadian E. Gait ground reaction force characteristics in deaf and hearing children. Gait Posture. 2017;53:236-40. doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.02.006.
22. Jafarnezhadgero AA, Oliveira AS, Mousavi SH, Madadi-Shad M. Combining valgus knee brace and lateral foot wedges reduces external forces and moments in osteoarthritis patients. Gait Posture. 2018;59:104-10. doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.09.040.
23. Meierbachtol A, Obermeier M, Yungtum W, Bottoms J, Paur E, Nelson BJ, et al. Advanced training enhances readiness to return to sport after anterior cruciate ligament

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]

reconstruction. J Orthop Res. 2022;40:191-9. doi: 10.1002/jor.25072.
24. Clark M, Lucett S. NASM Essentials of Corrective Exercise Training. Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
25. Farahpour N, Jafarnezhad 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.
26. Kaur M, Ribeiro DC, Theis JC, Webster KE, Sole G. Movement Patterns of the Knee During Gait Following ACL Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Med. 2016;46:1869-95. doi: 10.1007/s40279-016-0510-4.
27. Nagelli CV, Wordeman SC, Di Stasi S, Hoffman J, Marulli T, Hewett TE. Neuromuscular Training Improves Biomechanical Deficits at the Knee in Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Athletes. Clin J Sport Med. 2021;31:113-19. doi: 10.1097/JSM.0000000000000723.
28. Shahbazi M, Esmaeili H, Salari-Esker F, Bashiri B, Khezri D. Hip and knee joints mechanics and asymmetries in individuals with a history of anterior cruciate ligament reconstruction during overground running. Knee. 2025;52:1-8. doi: 10.1016/j.knee.2024.10.010.
29. Cobian DG, Oppenheim ZR, Roehl TJ, Joachim MR, Heiderscheit BC. Knee Extensor Torque Steadiness and Quadriceps Activation Variability in Collegiate Athletes 4, 6, and 12 Months After ACL Reconstruction. Orthop J Sports Med. 2024;12:23259671241253843. doi: 10.1177/23259671241253843.
30. Wang K, Cheng L, Wang B, He B. Effect of isokinetic muscle strength training on knee muscle strength, proprioception, and balance ability in athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomised control trial. Front Physiol. 2023;14:1237497. doi: 10.3389/fphys.2023.1237497.
31. Rostami KD, Thomas A, Naderi A. Effect of fatigue on neuromuscular and biomechanical variables after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. J Sports Med Phys Fitness. 2025;65:554-61. doi: 10.23736/S0022-4707.24.16210-X.
32. Ma J et al. Proprioceptive training effects after ACLR. Clin Rehabil. 2021;35:506-21. doi:10.1177/0269215520960287.
33. Dashti Rostami K et al. EMG fatigue patterns after ACL injury. J Funct Morphol Kinesiol. 2018;3:22. doi:10.3390/jfmk3020022.
34. Oleksy Ł, Mika A, Sopa M, Stolarczyk A, Adamska O, Szczudło M, et al. Evaluation of Lateral and Medial Parts of the Hamstring Muscle Fatigue Symmetry in Professional Footballers Cleared to Play After ACL Reconstruction. J Clin Med. 2024;13:6521. doi: 10.3390/jcm13216521.
35. Nagel A, et al. Plantar pressures after long-distance running. Gait Posture. 2008;27:152-5. doi:10.1016/j.gaitpost.2007.03.012.
36. Karimijashni M, et al. Contralateral neuromuscular training after ACLR. J Sport Rehabil. 2023;32:524-39. doi:10.1123/jsr.2021-0443
37. Lavoie F, Laplante M, Parent G, Duval N, Doré S, de Guise JA. Gesture standardization increases the reproducibility of 3D kinematic measurements of the knee joint. Clin Biomech (Bristol). 2006;21:502-7. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2005.12.007.
38. Wang C, et al. ACL strain during OKC vs CKC exercises. Musculoskelet Sci Pract. 2023;63:102715. doi:10.1016/j.msksp.2023.102715.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-11]