Sport. Med. Stud, 2026, 17 (46): 17-32, Doi: 10.22089/smj.2025.18121.1817

Sport Medicine Studies

Journal hompage: https://smj.ssrc.ac.ir

Review Article

Comparison of the Acute Effects of Fatigue Caused by Football Match on the Lower Extremity Landing Kinematics of Healthy Players and Those with a History of Anterior Cruciate Ligament Surgery

Sajjad Abooheidary[1], Mostafa Zarei*[2]

1. M.Sc. in Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Sports Rehabilitation and Health, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 01/06/2025, Accepted: 20/08/2025, Online Published: 30/08/2025

* Corresponding Author: Mostafa Zarei, E-mail: m_zareei@sbu.ac.ir

How to Cite: Abooheidary, S; Zarei, M. Comparison of the Acute Effects of Fatigue Caused by Football Match on the Lower Extremity Landing Kinematics of Healthy Players and Those with a History of Anterior Cruciate Ligament Surgery. *Sport Medicine Studies*, 2026; 17(46), 17-32. Doi: 10.22089/smj.2025.18121.1817.

Extended Abstract

Background and Purpose

Football is the most widely played sport worldwide, engaging approximately 4% of the global population. Among football-related injuries, anterior cruciate ligament (ACL) injuries are prevalent, with incidence rates ranging from 0.06 to 3.7 per 1,000 hours of participation. Such injuries result in prolonged absence from sports, diminished quality of life, and decreased athletic performance. ACL injuries are multifactorial, influenced by intrinsic factors including neuromuscular and biomechanical characteristics, anatomical predispositions, and fatigue, alongside extrinsic factors such as equipment and playing surface conditions. Fatigue is a critical contributor, as most ACL injuries occur during the latter stages of matches or training, affecting lower limb kinematics by decreasing knee flexion and ankle dorsiflexion while increasing knee valgus. Players with a history of ACL injury face elevated reinjury risk due to persistent biomechanical alterations and psychological concerns. This study investigates the impact of football match-induced fatigue on knee and ankle kinematics in healthy players compared with those who have undergone ACL reconstruction, addressing previous research gaps.

Methods

Forty male amateur football players from the Tehran Premier League participated and were divided into two groups: healthy players (n = 20), randomly selected from two teams, and players with prior ACL reconstruction (n = 20), purposefully recruited. Groups were matched by playing position. An orientation session was conducted with the research team, coaches, and participants to detail study procedures and collect demographic and injury history data. Written informed consent was obtained.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Testing comprised four phases. Pre-match assessments occurred two hours before match commencement after standardized warm-up. Kinematic variables ankle dorsiflexion, maximum knee flexion, and knee valgus were measured during a vertical jump-landing task using inertial measurement unit (IMU) accelerometers (Noraxon, USA), operated by two trained evaluators. The fatigue protocol entailed a full official football match (two 45-minute halves plus extra time and halftime). Post-match assessments occurred immediately after the match or upon player substitution. Fatigue was quantified via the Borg Rating of Perceived Exertion (RPE) scale.

IMU sensors were bilaterally affixed to the thigh, shin, and ankle. System calibration established target joint angles. The vertical jump-landing test required participants to jump down from a 30-cm box onto a marked area and immediately execute a maximal vertical jump, with landing phases analyzed for kinematic variables. Three trials were performed, with the most accurate selected for analysis.

Data were analyzed with SPSS v.23 using mixed 2×2 ANOVA to examine fatigue and group effects, with significance at $\alpha \leq 0.05$.

Results

Mixed ANOVA results indicated no significant within-group, between-group, or interaction effects for ankle dorsiflexion ($p \geq 0.05$). For maximum knee flexion, no significant within- or between-group differences were observed ($p \geq 0.05$), but a significant group-by-time interaction was found ($p \leq 0.05$), indicating significant fatigue effects between groups. Maximum knee valgus revealed a significant within-group effect ($p \leq 0.05$), suggesting fatigue influenced knee valgus regardless of ACL injury history, while between-group and interaction effects were non-significant ($p \geq 0.05$).

Conclusion

This study compared the effects of football match-induced fatigue on kinematic variables associated with ACL injury risk between players with prior ACL reconstruction and healthy controls. Findings demonstrate that acute fatigue significantly decreases maximum knee flexion in ACL-reconstructed players and increases knee valgus in healthy players during landing. Although knee valgus did not change significantly in the ACL group post-fatigue, its baseline magnitude was higher compared to healthy players. These outcomes underscore the necessity for tailored preparation, recovery, and injury prevention programs, especially among players with ACL history. Coaches and medical staff should implement and routinely review interventions designed to mitigate fatigue-induced biomechanical risks to optimize player safety and performance.

Keywords: Anterior Cruciate Ligament, Risk Factors, Fatigue, Kinematics, Landing

Article Message

Players with prior ACL reconstruction require ongoing monitoring by coaching and sports medicine personnel due to persistent functional alterations and fatigue's exacerbating effects on lower limb kinematics. Systematic evaluations enable management of injury risk factors under controlled conditions, enhancing safety and performance.

Ethical Considerations

Ethical approval was obtained from Shahid Beheshti University Ethics Committee (IR.SBU.REC.1403.003). All procedures conformed with institutional guidelines.

Authors' Contributions

The first author led research design, data collection, analysis, and manuscript drafting. The second author provided research supervision and guidance.

Conflict of Interest
No conflicts of interest were declared.

Acknowledgments
No external funding was received. The authors gratefully acknowledge participating athletes and supporting personnel who facilitated this research.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مطالعات طب ورزشی، پاییز ۱۴۰۴، دوره ۱۷، شماره ۴۵، صص ۳۲-۱۷، Doi: 10.22089/smj.2025.17288.1776

مطالعات طب ورزشی
Journal hompage: https://smj.ssrc.ac.ir

نوع مقاله: مروری

مقایسه اثر حاد خستگی ناشی از مسابقه فوتبال بر کینماتیک فرود اندام تحتانی بازیکنان سالم و با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی

سجاد ابوحیدری[۱]، مصطفی زارعی*[۲]

۱. کارشناسی‌ارشد آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.
۲. دانشیار گروه باتوانی ورزشی و تندرستی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

*نویسنده مسئول: مصطفی زارعی، m_zareei@sbu.ac.ir

How to Cite: Abooheidary, S; Zarei, M. Comparison of the Acute Effects of Fatigue Caused by Football Match on the Lower Extremity Landing Kinematics of Healthy Players and Those with a History of Anterior Cruciate Ligament Surgery. *Sport Medicine Studies*, 2026; 17(46), 17-32. Doi: 10.22089/smj.2025.18121.1817.

چکیده

تحقیق حاضر با هدف مقایسه اثر حاد خستگی ناشی از مسابقه فوتبال بر برخی مؤلفه‌های کینماتیکی زانو و مچ پا بین بازیکنان فوتبال با و بدون سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی انجام شد. این پژوهش از نوع کاربردی بود؛ بر این اساس، ۲۰ بازیکن با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی و ۲۰ بازیکن سالم با میانگین سن (۲۲/۹۳±۳/۷۴ سال) وزن (۷۳/۹۶±۲/۹۴ کیلوگرم) قد (۱/۷۶±۰/۰۳ متر) به صورت هدفمند به‌عنوان نمونه آماری تحقیق از لیگ برتر استان تهران در نظر گرفته شدند. مؤلفه‌های کینماتیکی حداکثر والگوس زانو، حداکثر خم شدن زانو و حداکثر دورسی‌فلکشن مچ پا حین الگوی پرش-فرود جفت‌پای بازیکنان با دستگاه شتاب‌سنج IMU قبل و بلافاصله بعد از یک مسابقه ارزیابی شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از آزمون آنوای دوطرفه استفاده شد. نتایج نشان داد، در مؤلفه‌های کینماتیکی، حداکثر والگوس زانو در بازیکنان سالم و حداکثر خم شدن زانوی پا حین فرود بازیکنان با سابقه جراحی، تفاوت معناداری وجود داشت (P≤۰/۰۵)، اما در بقیه مؤلفه‌های کینماتیکی نتایج معناداری مشاهده نشد (P≥۰/۰۵). تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق نشان می‌دهد که خستگی ناشی از مسابقه فوتبال می‌تواند به صورت حاد بر کاهش حداکثر خم شدن زانوی بازیکنان با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی و افزایش والگوس زانوی بازیکنان سالم تأثیر بگذارد. علاوه بر آن، میزان والگوس زانو در افراد با سابقه جراحی به طور کلی از افراد سالم در حین فرود بیشتر است.

واژگان کلیدی: رباط صلیبی قدامی، عوامل خطرزا، خستگی، کینماتیک، فرود.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقدمه

فوتبال، پرطرفدارترین و مشهورترین ورزش دنیا است؛ به طوری که حدود چهار درصد مردم جهان به طور مستقیم با آن در ارتباط هستند (۱). به دلیل همین محبوبیت، در سال‌های اخیر این موضوع موردعلاقه بسیاری از محققان بوده است؛ به طوری که تحقیقاتی در زمینه‌های گوناگون ازجمله ویژگی‌های فیزیکی فرد، نیازهای بازی، عوامل تأثیرگذار بر عملکرد و آسیب‌های این حیطه، به طور گسترده مطالعه شده است (۲). بازیکنان فوتبال فعالیت‌های انفجاری زیادی را با تکرار بسیار و شدت زیاد انجام می‌دهند. این فعالیت‌ها شامل افزایش و کاهش شتاب ناگهانی، پرش، فرود و تغییر جهت‌های ناگهانی است که با وقوع خستگی حاد مرتبط است (۳). به دلیل ماهیت این ورزش، طبق تحقیقات آسیب‌های فوتبال در اندام تحتانی بیشتر نسبت به اندام فوقانی روی می‌دهد (۴) و یکی از شایع‌ترین آسیب‌ها، آسیب رباط صلیبی قدامی با نرخ شیوع ۰/۰۶ تا ۳/۷ در هر ۱۰۰۰ ساعت فعالیت در فوتبال است. این آسیب علاوه بر اینکه مدت‌زمان طولانی ورزشکار را از مسابقات دور نگه می‌دارد، بر کیفیت زندگی و سطح عملکرد آن نیز تأثیرگذار است (۵). آسیب رباط صلیبی قدامی ماهیت چندعاملی دارد و عوامل بیرونی و درونی زیادی در بروز این آسیب دخیل‌اند. عوامل درونی مثل عوامل عصبی‌عضلانی، عوامل بیومکانیکی، شرایط آناتومیکی و خستگی و همچنین عوامل بیرونی مثل تجهیزات، نوع سطح مسابقه و شرایط جوی مسابقه هستند (۶). همان طور که بیان شد، این آسیب ماهیتی چندعاملی دارد و شاید یک عامل خطرزای آسیب به‌تنهایی منجر به رخداد این آسیب نشود و تأثیر چند عامل خطرزا بر یکدیگر باعث آسیب فرد شود (۸، ۷).

آسیب رباط صلیبی قدامی (ACL) با عوارض طولانی‌مدت بالقوه ازجمله بی‌ثباتی مزمن زانو، پارگی منیسک، آسیب غضروف، و ایجاد آرتروز (OA)[1] همراه است. بعد از آسیب احتمالاً مفصل زانو درچار تغییرات بیومکانیکی می‌شود (۱۰، ۹). طبق مطالعات این تغییرات در عملکردهایی مثل پرش و فرود، تغییر جهت و کاهش شتاب ارزیابی شده‌اند که شامل کاهش خم شدن زانو، کاهش دامنه حرکتی دورسی‌فلکشن[2] مچ پا، افزایش والگوس[3] زانو، کاهش‌گشتاور خم شدن و چرخش خارجی زانو در مقایسه با افراد سالم و افزایش نیروی عکس‌العمل زمین بوده است (۱۲، ۱۱). تغییراتی مانند کاهش حداکثر خم شدن زانو، کاهش دورسی‌فلکشن مچ پا و افزایش والگوس زانو ازجمله عوامل کینماتیکی مهم برای آسیب رباط صلیبی قدامی محسوب می‌شوند (۱۲)؛ درنتیجه طبق شواهد، افراد با سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی نسبت به افراد سالم (۳۰ درصد تا ۴۰ درصد) بیشتر درمعرض آسیب مجدد هستند و حدوداً بیشتر از ۵۷ درصد آسیب‌های مجدد در مدت دو سال بعد از آسیب قبلی روی می‌دهند (۱۳). همچنین باید عنوان کرد که کمتر از ۵۰ درصد از ورزشکاران با آسیب رباط صلیبی قدامی به مدت یک سال و کمتر از ۶۵ درصد به مدت دو سال به ورزش بازمی‌گردند، ۲۴ درصد ورزش را تغییر می‌دهند و ۱۱ درصد فعالیت ورزشی را متوقف می‌کنند (۱۵، ۱۴).

مطالعات نشان داده‌اند که میزان مسافت طی‌شده، دویدن‌های با شدت زیاد و سرعت بازیکنان فوتبال در نیمه دوم کمتر از نیمه اول مسابقه است. این امر احتمالاً به خستگی و کاهش عملکرد بازیکنان در نیمه دوم اشاره دارد (۱۶). خستگی می‌تواند در طول مسابقه از طریق کاهش عملکرد و تأثیر بر سایر فاکتورها مثل قدرت، سرعت و دامنه حرکتی خطر ایجاد آسیب را افزایش دهد (۱۷). خستگی یکی از عوامل تأثیرگذار بر آسیب رباط صلیبی قدامی است؛ به طوری که گزارش شده است بیشتر آسیب‌های رباط صلیبی قدامی در دقایق پایانی مسابقات و تمرین روی می‌دهد (۱۵). خستگی باعث اختلال در عملکرد فرد می‌شود و بر کینماتیک اندام تحتانی، الگوی فعالیت عضلانی، الگوی حرکتی و نیروی عکس‌العمل

1. Osteoarthritis
2. Ankle Dorsiflexion
3. Knee Valgus

زمین در زمان فعالیت و به‌خصوص در زمان فرود فرد تأثیر می‌گذارد (۱۹، ۱۸). این عامل باعث می‌شود که الگوی حرکتی مفاصل اندام تحتانی فرد در صفحه سهمی دچار تغییر شود و باعث کاهش میزان خم شدن زانو، ران و دورسی‌فلکشن مچ پا و حرکت بیشتر این مفاصل در صفحه عرضی در حین فرود شود؛ بنابراین این تغییر استراتژی در فرود احتمالاً با خطر آسیب رباط صلیبی قدامی در ارتباط است (۲۰)؛ با این حال، نتایج متناقضی درمورد تأثیر خستگی بر کینماتیک اندام تحتانی افراد با سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی وجود دارد. همان طور که بیان شد، بازیکنان با سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی نسبت به دیگر بازیکنان به دلیل تغییرات بیومکانیکی اندام تحتانی، عوارض ثانویه بعد از آسیب، شرایط روانی و... بیشتر درمعرض خطر آسیب مجدد هستند (۱۳)؛ به طوری که محققان آسیب قبلی را به خودی خود به‌عنوان عاملی خطرزا برای بروز آسیب مجدد درنظر می‌گیرند (۲۱)؛ با این حال باید در نظر بگیریم که آسیب رباط صلیبی قدامی ماهیت چندعاملی و پیچیده دارد و شاید در اثر یک عامل خطرزا روی ندهد؛ پس پایش افراد با سابقه جراحی به لحاظ تغییرات کینماتیکی در آماده‌سازی و ارزیابی قبل از مسابقات، حین و بعد از مسابقه و همچنین در طول فصل مسابقات در زمینه پیشگیری از آسیب مجدد بسیار حائز اهمیت است (۲۲، ۱۴). باتوجه به محدویت و تناقض نتایج مطالعات در ارتباط با خستگی و اثر مسابقات بر فاکتورهای کینماتیکی مرتبط با آسیب اولیه و ثانویه رباط صلیبی قدامی، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر خستگی ناشی از یک مسابقه بر کینماتیک زانو و مچ پای بازیکنان سالم در مقایسه با بازیکنان با سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی انجام شد.

روش پژوهش

مشارکت‌کنندگان

تحقیق حاضر از نوع علمی-مقایسه‌ای و از نظر هدف، کاربردی بود. در این مطالعه، ۴۰ بازیکن مرد فوتبال غیرحرفه‌ای شاغل در لیگ برتر تهران در دو گروه سالم (۲۰ نفر) و با سابقه جراحی رباط صلیبی (۲۰ نفر) مشارکت کردند. گروه سالم به صورت تصادفی طبقه‌بندی‌شده از دو تیم دردسترس و گروه بازیکنان با سابقه آسیب، به صورت هدفمند در این مطالعه انتخاب شدند. همچنین آزمودنی‌های دو گروه براساس «پست بازی» همسان‌سازی شدند. حجم نمونه با نرم‌افزار جی‌پاور (Effect Size=۰/۴ ،Power=۰/۸ ،α=۰/۰۵) محاسبه شد. معیارهای ورود آزمودنی‌ها به پژوهش عبارت بود از: داشتن حداقل پنج سال سابقه شرکت در لیگ‌های برتر و لیگ‌های پایه فوتبال؛ حضور منظم در تمرینات تیم و مسابقات؛ نداشتن سابقه آسیب حاد در اندام تحتانی سه ماه قبل از مطالعه؛ در گروه آسیب، بازیکنان صرفاً دارای آسیب رباط صلیبی (جراحی) به طور مجزا بوده باشند؛ این افراد روند درمان، بازتوانی و بازگشت به ورزش را به طول کامل پشت سر گذاشته باشند. ازجمله معیارهای خروج آزمودنی‌ها از تحقیق، تمایل نداشتن به ادامه حضور در روند مطالعه، بروز هرگونه آسیب حین فرایند ارزیابی مشارکت‌کننده و حضور کامل نداشتن در مسابقه بود یا دقایق حضور بازیکن در مسابقه از ۷۵ دقیقه در مسابقه فوتبال کمتر باشد. شایان ذکر است، سه بازیکن با سابقه جراحی به دلیل انصراف (یک بازیکن) و آسیب حاد (دو بازیکن) از مطالعه خارج شدند. قبل از شروع فرایند ارزیابی، پروتکل تحقیق به طور کامل برای مشارکت‌کنندگان توضیح داده شد و از آن‌ها رضایت‌نامه آگاهانه کتبی دریافت شد. کد اخلاق این مطالعه با شماره IR.SBU.REC.1403.003 از کمیته اخلاق دانشگاه شهید بهشتی تهران اخذ شد.

روند انجام پژوهش

قبل از شروع تحقیق، یک جلسه هماهنگی به شکل مجزا بین کادر تحقیق، کادر فنی تیم‌ها و مشارکت‌کنندگان صورت گرفت و تمام روند اجرای تحقیق و شرایط ارزیابی بازیکنان در زمان ارزیابی در جلسه به شکل ویدئویی و همچنین به صورت عملی (نحوه اجرای آزمون گرفتن) مطرح شد. در همان جلسه، مشخصات مشارکت‌کنندگان ازجمله قد، وزن، سن

و سوابق آسیب جمع‌آوری شد. رضایت‌نامه‌های کتبی نیز در این جلسه توسط آن‌ها تکمیل شد. شایان ذکر است، تمام بازیکنان در طول فصل مسابقه با هماهنگی کادر فنی زیرنظر بودند. از آن‌ها خواسته شد به غیر از تمرینات منظم تیم‌ها (تمرینات کار با توپ، بدنسازی و...) به طور انفرادی فعالیت نداشته باشند. همچنین هیچ مکمل یا داروی‌خاصی در حین فرایند تحقیق مصرف نکنند. آزمون‌گیری در چهار مرحله برای جلوگیری از ازبین‌رفتن اثر خستگی انجام شد. در روز آزمون حدوداً دو ساعت قبل از مسابقه از مشارکت‌کنندگان پیش‌آزمون گرفته شد، در پیش‌آزمون بعد از گرم کردن (حدود پنج دقیقه نرم دویدن و سه دقیقه حرکات کششی ایستا و پویا، حرکات ثبات مرکزی) مؤلفه‌های کینماتیکی میزان دورسی‌فلکشن مچ پا، حداکثر میزان خم شدن و والگوس زانو توسط دو اپراتور مجرب با دستگاه شتاب‌سنج IMU در زمان‌عملکرد پرش-فرود اندازه‌گیری شد. پروتکل خستگی در این مطالعه یک مسابقه رسمی فوتبال بود که در دو نیمه قانونی ۴۵ دقیقه به همراه وقت اضافه و وقت استراحت ۱۵ دقیقه بین دونیمه انجام شد. بلافاصله بعد از مسابقه یا بعد از خروج فرد از زمین مسابقه، از فرد پس‌آزمون گرفته شد. شایان ذکر است، در زمان آماده‌سازی فرد برای پس‌آزمون، پرسشنامه بورگ شاخص میزان درک سختی (RPE) توسط محقق از مشارکت‌کنندگان به‌منظور سنجش میزان خستگی تکمیل شد. حداقل نمره قابل‌قبول در مقیاس (۰-۱۰)، برای ایجاد خستگی ۶ و حداکثر ۱۰ بود (۲۳).

شکل ۱- آزمون پرش عمقی

Figure1- Drop jump test

اندازه‌گیری‌ها

برای ارزیابی مؤلفه‌های کینماتیک زانو و مچ پا از دستگاه IMU مدل ۶۸۰ ساخت سال ۲۰۱۶ شرکت نوراکسون آمریکا استفاده شد. نرم‌افزار MYORESEARCH3 برای اتصال دستگاه به رایانه نصب شد. سپس مشخصات فرد مثل سن، وزن، قد، طول اندام (ران، ساق، بازو و...) با توجه به اندام ارزیابی‌شده، در نرم‌افزار ثبت شد و سنسورهای ناحیه ران، ساق و مچ پا به طور قرینه (در هر دو اندام) طبق پروتکل تعریف‌شده شرکت سازنده متصل شد. برای اینکه سنسورها اطلاعات دقیقی به ما دهند، دستگاه کالیبره شد و زوایای مدنظر (دورسی‌فلکشن مچ پا، خم شدن زانو، والگوس زانو) برای دستگاه تعریف شد. سیستم‌های شتاب سنج توانستند با اطمینان و خطای کم در آنالیز کینماتیک اندام‌تحتانی و فوقانی در فعالیت‌های مختلف بالینی و ورزشی به کار گرفته شوند. برخی مطالعات بااستفاده از دستگاه‌های IMU، زوایای مفصلی کمربند شانه‌ای و اندام‌های تحتانی را در حین انجام حرکت‌های مختلف با خطای کمتر از یک درجه در مقایسه با (Mocap) ارزیابی کرده‌اند (۲۵، ۲۴). برای آزمون‌پرش-فرود عمودی با روایی (r>۰/۸۰) و پایایی (ICC>۰/۸۵)، فرد روی یک جعبه ۳۰ سانتی‌متری می‌ایستد و سپس نشانه‌گری روی زمین نصب می‌شود که فاصله آن از جعبه به اندازه نصف قد فرد است. فرد به صورت جفت‌پا روی نشانه‌گر می‌پرد و بلافاصله بعد از فرود و تماس دو پا با زمین یک پرش عمودی حداکثری

انجام می‌دهد (۲۷، ۲۶). فاز فرود (زمان برخورد پاها با زمین تا زمان جداشدن از زمین) در این حرکت برای بررسی میزان دورسی‌فلکشن مچ پا، حداکثر فلکشن زانو و حداکثر میزان والگوس درنظر گرفته شد. هنگام آزمون‌گیری در هر مرحله فرد سه‌مرتبه آزمون داد و براساس شکل و ماهیت صحیح حرکت، یک حرکت انتخاب شد (۲۷).

تجزیه و تحلیل‌آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های خام به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌ها، توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد. برای بررسی نوع توزیع داده‌ها از آزمون آماری شاپیرو-ویلک استفاده شد. به‌منظور مقایسه میانگین متغیرهای پژوهش، آزمون‌های تجزیه و تحلیل واریانس مختلط ۲*۲ به کار رفت. در تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها، سطح معناداری ۹۵ درصد با آلفای $\alpha \leq ۰/۰۵$ استفاده شد.

نتایج

طبق جدول (۱) تفاوت معناداری بین سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی آزمودنی‌های دو گروه وجود نداشت ($P \geq ۰/۰۵$).

جدول ۱- شاخص‌های انتروپومتریک آزمودنی‌ها (انحراف‌استاندارد ± میانگین)

Table 1- Anthropometric indices of subjects (standard deviation ± mean)

متغییر Variable	با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی Surgery انحراف‌استاندارد ± میانگین Std. Deviation±Mean	بدون سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی Non-surgery انحراف‌استاندارد ± میانگین Std. Deviation±Mean	معناداری P-Value
سن (سال) Age (year)	22.47±3.51	23.40±4.00	0.462
وزن (کیلوگرم) Weight (kg)	73.58±3.04	74.35±2.83	0.436
قد (متر) Height (meter)	1.77±0.03	1.76±0.04	0.773
BMI (کیلوگرم برمترمربع) (kg/m2)	23.60±1.04	23.95±1.18	0.357

*سطح معناداری $P \leq ۰/۰۵$

*Significance level $P \geq 0.05$

جدول ۲- میانگین و انحراف‌استاندار متغیرهای‌مطالعه

Table 2- Mean and Standard Deviation of Research Variables

گروهGroup متغیرVariable	زمان Time	با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی Surgery	بدون سابقه جراحی Non-surgery
دورسی‌فلکشن مچ پا (درجه) Ankledorsi flexion (degree)	پیش‌آزمون Pre-test	27.44±5.91	26.54±6.15
	پس‌آزمون Post-test	27.13±4.63	26.90±4.57
	پیش‌آزمون Pre-test	75.02±13.61	69.68±11.96

جدول ۲- میانگین و انحراف‌استاندار متغیرهای‌مطالعه

Table 2- Mean and Standard Deviation of Research Variables

بدون سابقه جراحی Non-surgery	با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی Surgery	زمان Time	گروهGroup متغیرVariable
71.50±11.90	67.50±13.19	پس‌آزمون Post-test	حداکثر میزان خم شدن زانو (درجه) Knee flexion (degree)
6.56±3.05	9.21±4.03	پیش‌آزمون Pre-test	ولگوس زانو (درجه) Knee valgus (degree)
9.18±4.63	10.57±4.96	پس‌آزمون Post-test	

طبق جدول (۳) نتایج آزمون تحلیل واریانس مختلط (۲*۲) نشان داد، اثر تعاملی میزان حداکثر خم شدن زانو در حین فرود این مؤلفه معنادار بود (P=۰/۰۲۱). همچنین اثر درون‌گروهی متغیر حداکثر والگوس زانو در حین فرود معنادار بود (P=۰/۰۲۱)، اما در بقیه مؤلفه‌های مطالعه هیچ تفاوت معناداری به لحاظ آماری مشخص نشد. طبق نتایج، میانگین مؤلفه RPE شاخص میزان درک فشار برای گروه سالم ۱/۲±۷/۶ و برای گروه با سابقه جراحی ۰/۲±۸/۲ بود.

جدول ۳ - نتایج آزمون تحلیل واریانس مختلط (۲*۲) برای مؤلفه‌های کینماتیکی

Table 3- The results of the ANOVA (2*2) analysis for the kinematic components

اندازه اثر Effect Size	معناداری P-Value	F	منبع تغیرات Source of Variation		متغیر Variable
0.006	0.661	0.001	اثر گروه Groups	بین‌گروهی Between groups	دورسی‌فلکشن مچ پا (درجه) Ankledorsi flexion (degree)
0.001	0.986	0.196	اثر زمان Time	درون‌گروهی Within groups	
0.002	0.788	0.074	اثر گروه-زمان Time-groups	تعاملی Interaction	
0.001	0.857	0.033	اثر گروه Groups	بین‌گروهی Between groups	حداکثر میزان خم شدن زانو (درجه) Knee flexion (degree)
0.059	0.149	2.177	اثر زمان Time	درون‌گروهی Within groups	
0.143	0.021*	5.847	اثر گروه-زمان Time-groups	تعاملی Interaction	
0.086	0.079	3.275	اثر گروه Groups	بین‌گروهی Between groups	ولگوس زانو (درجه) Knee valgus (degree)
0.144	0.021*	5.781	اثر زمان Time	درون‌گروهی Within groups	
0.016	0.449	0.586	اثر گروه-زمان Time-groups	تعاملی Interaction	

*سطح معناداری P≤۰/۰۵

*Significance level P≥0.05

بحث و نتیجه‌گیری

هدف مطالعه حاضر، مقایسه اثر خستگی ناشی از یک مسابقه فوتبال بر مؤلفه‌های مهم کینماتیکی خطرزای آسیب رباط صلیبی قدامی در بین بازیکنان با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی و سالم بود. خم شدن زانو هنگام فرود یک عامل بیومکانیکی حیاتی است که با بارگذاری مفصل، کنترل عصبی-عضلانی و خطر آسیب‌های زانو (مانند آسیب رباط صلیبی قدامی) در ارتباط است. خم شدن مناسب زانو هنگام فرود به تعدیل نیروها و کاهش فشار بر ساختارهای لیگامانی آن کمک می‌کند. یک مطالعه گزارش داد که افزایش خم شدن اولیه از ۱۱/۲ درجه به ۱۵/۲ درجه (با افزایش حداکثر خم شدن از ۶۷/۸ درجه به ۹۰/۷ درجه) در هنگام فرود با کاهش نیروهای واکنش عمودی زمین از ۲۴۳/۱ درصد به ۱۸۷/۸ درصد وزن بدن همراه بود. افزایش خم شدن لگن و زانو، نیروهای برشی قدامی درشت‌نی (از ۱۱/۱±۳/۳ به ۹/۶±۲/۷ نیوتن بر کیلوگرم) و نیروهای فشاری درشت‌نی رانی (از ۶۸/۴±۷/۶ به ۶۲/۰±۵/۵ نیوتن بر کیلوگرم) را نیز کاهش داد (۲۸)؛ با این‌حال، ورزشکاران با سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی، اغلب در طول کارهای پویا مانند پریدن و فرود، کینماتیک خم شدن زانوی تغییریافته‌ای را نشان می‌دهند که ممکن است خطر آسیب مجدد یا مشکلات مزمن را در آن‌ها افزایش دهد (۲۹). احتمالاً کاهش قدرت برون‌گرای عضله چهارسرران و کاهش عملکرد در هم‌انقباضی گروه عضلات چهارسرران و همسترینگ، باعث اختلال در حرکات پویا مانند پرش-فرود می‌شود (۳۰). طبق یافته‌های تحقیق حاضر، مؤلفه خم شدن در حین فرود بازیکنان در گروه با سابقه بازسازی رباط صلیبی قدامی کاهش یافت، اما این مؤلفه در گروه بازیکنان سالم تغییری پیدا نکرد. این گزاره نشان می‌دهد که احتمالاً این کاهش خم شدن زانو می‌تواند با افزایش خطر آسیب مجدد رباط صلیبی در گروه آسیب همراه باشد. در این راستا، ژیانگ و همکاران به بررسی اثر خستگی و اختلالات حسی روی ۳۲ مرد سالم پرداختند. این افراد به دو گروه دارای خستگی و گروه بدون خستگی تقسیم شدند که پروتکل خستگی اسکات مکرر تا رسیدن به مرز خستگی را دریافت کردند. نتایج حاصل از بررسی‌های کینماتیکی نشان داد، پس از اعمال پروتکل خستگی، در طول انجام وظیفه فرود، میزان خم شدن زانو در لحظه فرود کاهش یافت و زاویه چرخش داخلی بیشتر شد (۳۱). همچنین اسمیت و همکاران، اثر یک پروتکل شبیه‌ساز مسابقه را در ورزشکاران زن و مرد سالم و با سابقه حراجی رباط صلیبی قدامی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که هر دو گروه در مواجهه با خستگی در هنگام فرود زانوی صاف‌تری داشتند (۲۰). همچنین باید عنوان کرد که مطالعات با نتایج متفاوت نیز وجود داشت؛ به طوری که در مطالعه زبیس و همکاران که اثر خستگی بر کینماتیک اندام تحتانی بازیکنان زن هندنبال را بررسی کردند، پروتکل خستگی این تحقیق یک بازی شبیه‌سازی‌شده هندبال شامل گام طرفین، لی زد، پرش جفت‌پا، بالا رفتن از باکس، دوی سرعت و دویدن رو تردمیل بود. نتایج این تحقیق نشان داد، خستگی ناشی از یک مسابقه شبیه‌سازی‌شده هندبال نمی‌تواند به طور معناداری بر کینماتیک زانو در صفحه طولی یا سهمی اثر بگذارد (۳۲). کرنوزک و همکاران اثر یک پروتکل خستگی (شامل اسکات‌های تکرارشونده با ۶۰ درصد حداکثر تکرار بیشینه) را بر کینماتیک فرود تک‌پای ۳۰ زن و مرد ورزشکار بررسی کردند. نتایج نشان داد، خستگی به طور معناداری بر خم شدن زانو در حین فرود تأثیرگذار نبود (۳۳).

طبق نتایج تحقیق حاضر، مؤلفه والگوس زانو در حین فرود در گروه سالم پس از مسابقه افزایش پیدا کرد. در گروه با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی، افزایش معناداری در والگوس زانو بعد از مسابقه صورت نگرفت، اما این مؤلفه نسبت به گروه سالم به طور کلی بیشتر بود. احتمالاً این موضوع به عوارض بلندمدت در نقص‌های عملکردی افراد مانند کاهش قدرت عضله چهارسرران یا کاهش حس عمقی بین پای سالم و آسیب‌دیده که نقش کلیدی در ثبات مفصل زانو دارند، با سابقه جراحی رباط صیلبی قدامی در ارتباط است (۳۴). به دلیل اهمیت تأثیر خستگی برکینماتیک والگوس زانو و رابطه

آن با آسیب رباط صلیبی قدامی و وجود شواهد زیاد مبنی بر اینکه رباط صلیبی قدامی یکی از مهم‌ترین عوامل مهار نیروی والگوس واردشده بر مفصل زانو است (۳۵)، مطالعات متعددی در رابطه با این موضوع انجام شده‌اند؛ چپل و همکاران اثر خستگی را بر فرود دوپا روی ۲۰ مرد و زن ورزشکار با یک پروتکل خستگی تناوبی پرش-سرعت بررسی کردند. نتایج نشان داد، مؤلفه والگوس زانو در زمان فرود افراد بعد از اعمال خستگی افزایش یافت که این امر در زنان بیشتر از مردان ورزشکار روی داد (۳۶). در مطالعه کرنوزک و همکاران، خستگی به طور معناداری بر افزایش والگوس زانوی ورزشکاران مرد و زن تأثیر گذاشت (۳۳). فیدای و همکاران اثر خستگی را بر کینماتیک پرش عمقی ۸۵ ورزشکاران جوان زن و مرد در بازه سنی ۱۴ تا ۱۸ سال بررسی کردند. طبق گزارش آن‌ها، حدود ۴۹ درصد افراد افزایش والگوس پویا را در مواجهه با خستگی از خود نشان دادند. همچنین آن‌ها بیان کردند که خستگی بیشتر با افزایش والگوس دینامیک نیز در ارتباط است (۳۷).

محدودیت در دامنه دورسی‌فلکش مچ پا، یک مؤلفه کینماتیکی مهم برای پیش‌بینی آسیب‌های مختلف در مفاصل مچ پا، زانو و ران به شمار می‌رود. ازآنجاکه در عملکردهای مختلف مثل دویدن پرش و فرود و...، مچ پا اولین مفصل در هنگام برخورد پا با زمین نسبت به مفاصلی همچون زانو و ران است، این مفصل نقش بسیار کلیدی در شکل و انتقال نیروی حرکت به مفاصل بالاتر در اندام تحتانی و حتی تنه ایفا می‌کند (۳۹، ۳۸). طبق مطالعات، افراد با محدودیت دورسی‌فلکش مچ پا در هنگام فرود، والگوس زانو و نیروی عکس‌العمل زمین بیشتری را نشان می‌دهند، اما حداکثر خم شدن زانو در آن‌ها کمتر از افراد بدون محدویت است (۳۸). اگر شرایطی مثل بروز خستگی که از طریق کاهش عملکرد و تأخیر در فراخونی عصبی عضلات اطراف مچ پا مثل عضلات پلنتار فلکسور[1]، باعث ایجاد نقص در دامنه حرکتی دورسی‌فلکشن مچ پا در الگوهای عملکردی شود (۴۰)، این موضوع می‌تواند با آسیب‌هایی همچون پارگی آشیل کشیدگی (۴۱)، همسترینگ (۴۲) و آسیب رباط صلیبی قدامی (۴۳) در ارتباط باشد؛ با این حال، نتایج مطالعه نشان داد که خستگی ناشی از یک مسابقه فوتبال بر مؤلفه دورسی‌فلکشن مچ پای بازیکنان فوتبال در هر دو گروه (سالم و با سابقه جراحی) در حین فرود، هیچ تأثیری معناداری نمی‌گذارد. در این راستا، پرز و همکاران نیز اثر حاد مسابقه فوتبال را بر دامنه حرکتی دورسی‌فلکشن مچ پای ۴۰ بازیکن حرفه‌ای فوتبال بررسی کردند. برای اثر حاد، یک پیش‌آزمون قبل از مسابقه و پس‌آزمون بلافاصله بعد از مسابقه و همچنین ۴۸ ساعت بعد اجرا شد که درنهایت هیچ تفاوت معناداری بین قبل و بعد از مسابقه فوتبال در کاهش دامنه حرکتی دورسی‌فلکشن مچ پا وجود نداشت. آن‌ها بیان کردند، بنا به دیدگاه فیزیولوژیک، افزایش دمای بدن در حین مسابقه و فعالیت بدنی نقش کلیدی در کاهش چسبدگی فاشیا/عضلات و مفاصل دارد که این موضوع باعث ایجاد نشدن محدودیت در دامنه حرکتی دورسی‌فلکش می‌شود. همچنین انجام تمرینات کششی قبل بازی و بین دو نیمه برای گرم کردن و آماده‌سازی ورزشکاران برای حضور در زمین، برای جلوگیری از این موضوع بی‌تأثیر نیست (۴۴). مگالون و همکاران نیز تأثیر دو مسابقه متوالی را بر دامنه حرکتی دورسی‌فلکشن مچ پا، عملکرد عصبی‌عضلانی و قدرت ایزومتریک همسترینگ، در بازیکنان هاکی زن بررسی کردند. نتایج نشان داد، تفاوت معناداری در دامنه حرکتی دورسی‌فلکشن مچ پا بعد از یک مسابقه وجود نداشت (۴۵)؛ با این‌حال، مطالعاتی که نتایج متفاوت داشته باشند نیز در این زمینه وجود داشت؛ به طوری که در مطالعه اسدپور و همکاران که اثر خستگی یک مسابقه بسکتبال بر کینماتیک اندام تحتانی بازیکنان بسکتبال دارای والگوس پویا بررسی شد، مشخص شد که دورسی‌فلکشن مچ پای بازیکنان پست‌های ۳، ۴ و ۵ در اثر خستگی کاهش یافت (۴۶). همچنین سمیت و همکاران اثر یک پروتکل خستگی ترکیبی پرش و فرود و یک پروتکل شبیه‌ساز مسابقه (SAFT5) را بر فاکتورهای کینماتیکی و عصبی-عضلانی ورزشکاران سالم و با سابقه جراحی

1. Plantar Flexor Muscle

بررسی کردند. طبق نتایج، حرکات مفاصل ران و زانو و مچ پا در صفحه طولی در حین فرود هر دو گروه کمتر شد (۲۰). از محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به مشارکت‌کنندگان گروه با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی اشاره کرد که دارای گرفت‌های مختلف برای بازسازی رباط صلیبی قدامی بودند. همچنین این افراد به صورت هدفمند از افراد دردسترس در تحقیق شرکت کردند. فعالیت‌های عملکردی و بار خارجی مشارکت کنندگان در حین مسابقه، به طور کامل کنترل‌شدنی و قابل‌ارزیابی نبود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده سعی شود افراد با سابقه جراحی دارای گرفت یکسان باشند و برای ارزیابی مناسب خستگی و بار خارجی مسابقه از سیستم GPS استفاده شود.

طبق نتایج مطالعه حاضر می‌توان گفت که خستگی حاد ناشی از یک مسابقه فوتبال می‌تواند بر کینماتیک حداکثر خم شدن زانو در بازیکنان با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی و والگوس زانوی بازیکنان سالم، در حین فرود تأثیر بگذارد و خطر آسیب رباط صلیبی قدامی افزایش پیدا کند. والگوس زانو در بازیکنان با سابقه جراحی به طور معناداری تغییر پیدا نکرد، اما این مؤلفه به طور کلی از بازیکنان سالم بیشتر بود؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که تجویز برنامه‌های آماده‌سازی، ریکاوری و پیشگیری از آسیب بازیکنان فوتبال به‌ویژه افراد با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی، توسط مربیان باید به‌دقت صورت گیرد و برای جلوگیری از آسیب، ارزیابی و بازنگری مجدد شود.

پیام مقاله

بازیکنان فوتبال با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی، با توجه به سابقه آسیب و تغییرات عملکردی ناشی از آسیب باید به طور پیوسته توسط مربیان و امدادگران ورزشی ارزیابی شوند تا در مواجهه با عوامل خطرزای آسیب مثل خستگی و تأثیرات ثانویه آن بر کینماتیک اندام تحتانی به‌خصوص زانو، در شرایط کنترل‌شده‌تری قرار بگیرند.

ملاحظات اخلاقی

اصول اخلاقی رعایت‌شده در این مقاله شامل رضایت آگاهانه شرکت‌کنندگان، محرمانه بودن اطلاعات و اجازه به شرکت‌کنندگان برای لغو مشارکت خود در پژوهش رعایت شد. در اجرای پژوهش، ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه شهید بهشتی تهران در نظر گرفته شد و کد اخلاق به شماره IR.SBU.REC.1403.003 دریافت شد.

مشارکت نویسندگان

در آماده‌سازی این مقاله، نویسنده اول مسئولیت تدوین طرح تحقیق، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و نگارش مقاله را بر عهده داشت. همچنین نویسنده دوم (نویسنده مسئول) مسئولیت راهنمایی و نظارت بر نحوه انجام تمامی امور تحقیق را عهده‌دار بود.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

برای این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان تأمین‌کننده مالی در بخش‌های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نشد. در انتها لازم است از تمامی ورزشکاران و افرادی که در این مطالعه ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی کنیم.

منابع

1. Fifa C. FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football. FIFA Communications Division, Information Services. 2007; 31:1.
2. Silva JR, Rumpf M, Hertzog M, Castagna C, Farooq A, Girard O, et al. Acute and residual soccer match-related fatigue: a systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2018; 48:539-83. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0798-8
3. Andersson HM, Raastad T, Nilsson J, Paulsen G, Garthe I, Kadi F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. Med Sci Sports Exerc. 2008;40(2):372-80. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31815b8497
4. Wong P, Hong Y. Soccer injury in the lower extremities. Br J Sports Med. 2005;39(8):473-82. https://doi.org/10.1136/bjsm.2004.015511
5. Bjordal JM, Arnøy F, Hannestad B, Strand T. Epidemiology of anterior cruciate ligament injuries in soccer. Am J Sports Med. 1997;25(3):341-5. https://doi.org/10.1177/036354659702500312
6. Orchard J, Seward H, McGivern J, Hood S. Intrinsic and extrinsic risk factors for anterior cruciate ligament injury in Australian footballers. Am J Sports Med. 2001;29(2):196-200. https://doi.org/10.1177/03635465010290021301
7. Gissane C, White J, Kerr K, Jennings D. An operational model to investigate contact sports injuries. Med Sci Sports Exerc. 2001;33(12):1999-2003. https://doi.org/10.1097/00005768-200112000-00004
8. Van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries: a review of concepts. Sports Med. 1992; 14:82-99. https://doi.org/10.2165/00007256-199214020-00002
9. Lohmander L, Östenberg A, Englund M, Roos H. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. Arthritis Rheum. 2004;50(10):3145-52. https://doi.org/10.1002/art.20589
10. Von Porat A, Roos EM, Roos H. High prevalence of osteoarthritis 14 years after an anterior cruciate ligament tear in male soccer players: a study of radiographic and patient relevant outcomes. Ann Rheum Dis. 2004;63(3):269-73. https://doi.org/10.1136/ard.2003.008136
11. Hart HF, Culvenor AG, Collins NJ, Ackland DC, Cowan SM, Machotka Z, et al. Knee kinematics and joint moments during gait following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 2016;50(10):597-612. https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094797
12. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. Am J Sports Med. 2010;38(10):1968-78. https://doi.org/10.1177/0363546510376053
13. Della Villa F, Hägglund M, Della Villa S, Ekstrand J, Waldén M. High rate of second ACL injury following ACL reconstruction in male professional footballers: an updated longitudinal analysis from 118 players in the UEFA Elite Club Injury Study. Br J Sports Med. 2021;55(23):1350-7. https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103555
14. Forsythe B, Lavoie-Gagne OZ, Forlenza EM, Diaz CC, Mascarenhas R. Return-to-play times and player performance after ACL reconstruction in elite UEFA professional soccer players: a matched-cohort analysis from 1999 to 2019. Orthop J Sports Med. 2021;9(5):23259671211008892. https://doi.org/10.1177/23259671211008892
15. Waldén M, Hägglund M, Magnusson H, Ekstrand J. ACL injuries in men's professional football: a 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. Br J Sports Med. 2016;50(12):744-50. https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095952
16. Mohr M, Krustrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. J Sports Sci. 2003;21(7):519-28. https://doi.org/10.1080/0264041031000071182
17. Mohr M, Krustrup P, Bangsbo J. Fatigue in soccer: a brief review. J Sports Sci. 2005;23(6):593-9. https://doi.org/10.1080/02640410400021286
18. Arslan S, Ertat KA, Karamizrak S, İŞleğen Ç, Arslan T. Soccer match induced fatigue effect on landing biomechanic and neuromuscular performance. Acta Medica Mediterr. 2019;35(1):391-7.

19. Barber-Westin SD, Noyes FR. Effect of fatigue protocols on lower limb neuromuscular function and implications for anterior cruciate ligament injury prevention training: a systematic review. Am J Sports Med. 2017;45(14):3388-96. https://doi.org/10.1177/0363546517693846
20. Smeets A, Vanrenterghem J, Staes F, Vandenneucker H, Claes S, Verschueren S. Are ACL reconstructed athletes more vulnerable to fatigue than uninjured athletes? Med Sci Sports Exerc. 2020;52(2):345-53. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002143
21. Brumitt J, Mattocks A, Engilis A, Isaak D, Loew J. Prior history of anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction is associated with a greater risk of subsequent ACL injury in female collegiate athletes. J Sci Med Sport. 2019;22(12):1309-13. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.08.005
22. Niederer D, Engeroff T, Wilke J, Vogt L, Banzer W. Return to play, performance, and career duration after anterior cruciate ligament rupture: a case–control study in the five biggest football nations in Europe. Scand J Med Sci Sports. 2018;28(10):2226-33. https://doi.org/10.1111/sms.13245
23. Foster C, Hector LL, Welsh R, Schrager M, Green MA, Snyder AC. Effects of specific versus cross-training on running performance. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1995;70:367-72. https://doi.org/10.1007/BF00865035
24. Brice SM, Phillips EJ, Millett EL, Hunter A, Philippa B. Comparing inertial measurement units and marker-based biomechanical models during dynamic rotation of the torso. Eur J Sport Sci. 2020;20(6):767-75. https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1666167
25. Teufl W, Miezal M, Taetz B, Fröhlich M, Bleser G. Validity, test-retest reliability and long-term stability of magnetometer free inertial sensor based 3D joint kinematics. Sensors. 2018;18(7):1980. https://doi.org/10.3390/s18071980
26. Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett Jr WE, Beutler AI. The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: the JUMP-ACL study. Am J Sports Med. 2009;37(10):1996-2002. https://doi.org/10.1177/0363546509343200
27. Redler LH, Watling JP, Dennis ER, Swart E, Ahmad CS. Reliability of a field-based drop vertical jump screening test for ACL injury risk assessment. Physician Sportsmed. 2016;44(1):46-52. https://doi.org/10.1080/00913847.2016.1131107
28. Favre J, Clancy C, Dowling AV, Andriacchi TP. Modification of knee flexion angle has patient-specific effects on anterior cruciate ligament injury risk factors during jump landing. Am J Sports Med. 2016;44(6):1540-6. https://doi.org/10.1177/0363546516634000
29. Hébert-Losier K, Schelin L, Tengman E, Strong A, Häger CK. Curve analyses reveal altered knee, hip, and trunk kinematics during drop–jumps long after anterior cruciate ligament rupture. Knee. 2018;25(2):226-39. https://doi.org/10.1016/j.knee.2017.12.005
30. Nishiumi D, Nishioka T, Saito H, Kurokawa T, Hirose N. Associations of eccentric force variables during jumping and eccentric lower-limb strength with vertical jump performance: A systematic review. PLoS One. 2023;18(8):e0289631. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289631
31. Qu X, Jiang J, Hu X. Effects of subsensory noise and fatigue on knee landing and cross-over cutting biomechanics in male athletes. J Appl Biomech. 2018;34(3):205-10. https://doi.org/10.1123/jab.2017-0180
32. Zebis MK, Bencke J, Andersen LL, Alkjaer T, Suetta C, Mortensen P, et al. Acute fatigue impairs neuromuscular activity of anterior cruciate ligament-agonist muscles in female team handball players. Scand J Med Sci Sports. 2011;21(6):833-40. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01052.x
33. Kernozek TW, Torry MR, Iwasaki M. Gender differences in lower extremity landing mechanics caused by neuromuscular fatigue. Am J Sports Med. 2008;36(3):554-65. https://doi.org/10.1177/0363546507308934
34. Fleming JD, Ritzmann R, Centner C. Effect of an anterior cruciate ligament rupture on knee proprioception within 2 years after conservative and operative treatment: a systematic review with meta-analysis. Sports Med. 2022;52(5):1091-102. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01600-z
35. Shin CS, Chaudhari AM, Andriacchi TP. The effect of isolated valgus moments on ACL strain during single-leg landing: a simulation study. J Biomech. 2009;42(3):280-5. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.10.031

36. Chappell JD, Herman DC, Knight BS, Kirkendall DT, Garrett WE, Yu B. Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in stop-jump tasks. Am J Sports Med. 2005;33(7):1022-9. https://doi.org/10.1177/0363546504273047
37. Fidai MS, Okoroha KR, Meldau J, Meta F, Lizzio VA, Borowsky P, et al. Fatigue increases dynamic knee valgus in youth athletes: results from a field-based drop-jump test. Arthroscopy. 2020;36(1):214-22.e2. https://doi.org/10.1016/j.arthro.2019.07.018
38. Fong CM, Blackburn JT, Norcross MF, McGrath M, Padua DA. Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. J Athl Train. 2011;46(1):5-10. https://doi.org/10.4085/1062-6050-46.1.5
39. Ugbolue UC, Robson C, Donald E, Speirs KL, Dutheil F, Baker JS, et al. Joint angle, range of motion, force, and moment assessment: responses of the lower limb to ankle plantarflexion and dorsiflexion. Appl Bionics Biomech. 2021; 2021:1232468. https://doi.org/10.1155/2021/1232468
40. Gafner SC, Hoevel V, Punt IM, Schmid S, Armand S, Allet L. Hip-abductor fatigue influences sagittal plane ankle kinematics and shank muscle activity during a single-leg forward jump. J Electromyogr Kinesiol. 2018;43:75-81. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.09.004
41. Whitting JW, Steele JR, McGhee DE, Munro BJ. Dorsiflexion capacity affects achilles tendon loading during drop landings. Med Sci Sports Exerc. 2011;43(4):706-13. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181f474dd
42. Gabbe BJ, Bennell KL, Finch CF, Wajswelner H, Orchard JW. Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football. Scand J Med Sci Sports. 2006;16(1):7-13. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00441.x
43. Wahlstedt C, Rasmussen-Barr E. Anterior cruciate ligament injury and ankle dorsiflexion. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2015; 23:3202-7. https://doi.org/10.1007/s00167-014-3123-1
44. Moreno-Pérez V, Soler A, Ansa A, López-Samanes Á, Madruga-Parera M, Beato M, et al. Acute and chronic effects of competition on ankle dorsiflexion ROM in professional football players. Eur J Sport Sci. 2020;20(1):51-60. https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1611930
45. Sánchez-Migallón V, Moreno-Pérez V, López-Samanes A, Fernández-Ruiz V, Gaos S, Díaz-Maroto JB, et al. Effects of consecutive matches on isometric hamstring strength, flexibility values and neuromuscular performance in female field hockey players: a prospective, observational study. Appl Sci. 2021;11(19):8938. https://doi.org/10.3390/app11198938
46. Asadpour R, Norasteh AA. The effect of a fatigue program on the kinematics of lower limb joints in basketball players with dynamic knee valgus pattern in various positions. J Adv Sport Technol. 2024;8(2):27-44. https://doi.org/10.22098/jast.2024.3114

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی