

Research Paper

Chronic Effects of Training and Match Fatigue on Landing Kinematics in Football Players With and Without Anterior Cruciate Ligament



Sajjad Abooheidary¹ , *Mostafa Zarei¹

1. Department of Health and Sport Rehabilitation, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.



Citation Abooheidary S, Zarei M. [Chronic Effects of Training and Match Fatigue on Landing Kinematics in Football Players With and Without Anterior Cruciate Ligament (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 14(6):956-969. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3403>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3403>

ABSTRACT

Background and Aims Monitoring the kinematic components of the trunk, knee, hip, and ankle is an effective approach for predicting primary and secondary injuries to the anterior cruciate ligament (ACL). Accordingly, the aim of this study was to examine the chronic effects of fatigue caused by football training and matches on selected kinematic components of the knee and ankle in football players with and without a history of ACL surgery.

Methods This study involved 20 football players with a history of ACL surgery and 20 players without any history of surgery, all selected purposefully from the Premier League of Tehran Province. The participants' mean age, weight, and height were 22.93 ± 3.74 years, 73.96 ± 2.94 kg, and 1.76 ± 0.03 m, respectively. The kinematic components evaluated included the maximum knee valgus angle, maximum knee flexion, and maximum ankle dorsiflexion angle during a double-leg jump-landing pattern. Data were collected during the second half of the league season, and player fatigue was assessed using the modified Borg rating of perceived exertion (RPE) scale. Data were then analyzed using a two-way ANOVA.

Results The findings revealed significant differences in the maximum knee valgus angle between healthy players and players with a history of ACL surgery, as well as in maximum knee flexion during deep landing among players with a history of surgery ($P \leq 0.05$). However, no significant differences were observed in other kinematic components ($P \geq 0.05$).

Conclusion Overall, the results suggest that fatigue caused by football matches and training at the end of the season can lead to reduced maximum knee flexion in players with a history of ACL surgery and increased knee valgus in both groups. Additionally, the knee valgus angle during landing was generally higher in players with a history of ACL surgery compared to healthy players. Furthermore, the valgus angle in players with ACL surgery was consistently higher in both pre-test and post-test assessments than in healthy players.

Keywords Soccer, Anterior cruciate ligament (ACL), Risk factors, Fatigue, Biomechanics

Received: 19 Aug 2025

Accepted: 05 Sep 2025

Available Online: 21 Jan 2026

* Corresponding Author:

Mostafa Zarei, Associate Professor.

Address: Department of Health and Sport Rehabilitation, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 29905826

E-Mail: m_zareei@sbu.ac.ir



Copyright © 2026 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Soccer, as a high-pressure sport, exposes players to multiple injuries due to repetitive movements, such as sudden changes in direction, deceleration, and jumping. One of the common injuries in football is the anterior cruciate ligament (ACL) tear, which not only can lead to surgery and prolonged rehabilitation periods but also poses a significant concern for players due to the high risk of re-injury. Statistics indicate that the risk of re-injuring the ACL in individuals who have previously undergone surgery ranges from 6% to 25%. This issue can sideline players for months and, in some cases, lead to the premature end of their professional careers. Fatigue is one of the most critical risk factors for injury, particularly ACL injuries, and it significantly impacts neuromuscular performance and the biomechanics of player movements.

At the end of each match, especially in the second half, fatigue resulting from decreased strength in the lower limb muscles and the decline in movement patterns increases the risk of injury. These effects include reduced knee flexion, increased knee valgus angle, and changes in ankle dorsiflexion, which are among the key biomechanical factors associated with ACL injuries. Throughout the competition season, particularly in the second half, cumulative effects from the pressures of matches, accumulated training loads, and insufficient recovery exacerbate fatigue in players. This fatigue not only diminishes the physical and psychological performance of players but also significantly increases the risk of injury during the later stages of the season.

During this period, players may experience performance declines due to their inability to recover adequately after intense matches and heavy training sessions. Research indicates that players are more susceptible to serious injuries, including ACL tears, during the final weeks of the season, especially in the second half. In the initial weeks, inadequate preparation during the pre-season and players' failure to adapt to match pressures can lead to injuries. In the later weeks, the accumulation of fatigue from training loads and matches, combined with insufficient recovery and physical exhaustion, significantly raises the risk of injury. This fatigue can lead to biomechanical changes in the knee and ankle, including decreased knee flexion, increased knee valgus angle, and alterations in ankle dorsiflexion, which are key factors in ACL injuries.

The aim of this study was to investigate the effects of fatigue resulting from football matches in the second half of the season on kinematic factors associated with ACL injury risk, including knee flexion, knee valgus angle, and ankle dorsiflexion in healthy players and those with a history of ACL surgery.

Methods

This causal-comparative and applied study investigated the kinematic features of the knee and ankle, as well as fatigue levels, in 40 active male amateur football players from the Tehran Premier League. Participants were divided into two groups: 20 healthy players and 20 with a history of ACL surgery. The healthy group was selected via stratified random sampling, while the surgery group was purposefully included based on specific criteria. Players were matched for playing positions, consisting of 16 defenders, 14 midfielders, 4 forwards, and 6 wingers. Inclusion criteria required at least five years of experience in top leagues, no acute lower limb injuries within the three months preceding the study, and regular attendance in training and competitions. Players with ACL surgery had completed full rehabilitation and returned to sport.

The research process included a coordination meeting to explain the methodology, testing conditions, and assessments. Initial data, such as age, weight, height, and injury history, were collected, and informed consent was obtained. Players refrained from individual activities outside of team training, supplement use, and medications during the study. To assess the chronic effects of matches and training fatigue, the last 14 weeks of the season were analyzed, with pre-tests conducted after the first match of the half-season and post-tests two days after the final match to minimize acute fatigue effects.

Fatigue was assessed using the modified Borg rating of perceived exertion (RPE) scale (0-10), which was recorded after matches, training sessions, and when players exited the field. Internal training loads were calculated by multiplying RPE by activity duration. Kinematic data were measured using the IMU model 680 device and myoRESEARCH software, version 3. The vertical jump-landing test was used to evaluate ankle dorsiflexion, knee flexion, and knee valgus. Data analysis was performed using SPSS software, version 23, with $\alpha \leq 0.05$.

Results

The results of the mixed analysis of variance (2×2) indicated that the within-group effect related to maximum knee flexion during landing was statistically significant ($P=0.004$). Additionally, both the between-group

Table 1. Results of ANOVA (2×2) for the kinematic components

Variables	Source of Variation		F	P	Effect Size
Ankle dorsiflexion (degree)	Between-group	Group	0.098	0.756	0.003
	Within-group	Time	2.100	0.156	0.057
	Interaction	Time-group	0.204	0.654	0.006
Knee flexion (degree)	Between-group	Group	0.708	0.406	0.020
	Within-group	Time	9.442	0.004*	0.212
	Interaction	Time-group	1.486	0.231	0.041
Knee valgus angle (degree)	Between-group	Group	5.628	0.023*	0.139
	Within-group	Time	11.038	0.002*	0.240
	Interaction	Time-group	0.199	0.658	0.006

*P<0.05

Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

(P=0.023) and within-group (P=0.002) effects related to the maximum knee valgus variable during landing were also reported as statistically significant. However, no statistically significant differences were observed in the other components examined in this study (Table 1). The mean RPE scores for training and matches were 7.6 ± 1.2 for players with a history of ACL surgery and 7.2 ± 0.9 for healthy players over the fourteen weeks of the season.

Conclusion

The present study aimed to investigate and compare the effects of chronic fatigue from training and competition loads on kinematic risk factors associated with ACL injuries in healthy players and those with a history of ACL surgery. Key kinematic factors, including ankle dorsiflexion, maximum knee flexion, and knee valgus, were measured during player landings using the IMU accelerometer device. Chronic fatigue did not significantly affect ankle dorsiflexion in either group. However, maximum knee flexion was significantly reduced in players with prior ACL surgery by the end of the season, increasing their risk of re-injury. Additionally, knee valgus angles significantly increased in both groups, with the surgical group exhibiting greater values, likely due to long-term functional impairments post-injury. The findings suggest that chronic muscular-fatigue influences kinematic changes during high-demand periods, raising the risk of ACL injuries, particularly in those with previous surgeries. Given the increased injury risk during intense end-of-season matches, tailored conditioning, recovery, and injury prevention programs are essential. Regular assessments and continuous revisions of these programs by coaches and specialists are crucial for maintaining player health and performance.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Code: IR.SBU.REC.1403.003). Informed consent was obtained from the participants, confidentiality of information was maintained, and participants were informed of their right to withdraw from the research.

Funding

This study was extracted from the master thesis of Sajjad Aboohaidary at the Department of Health and Sport Rehabilitation, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

Methodology, Writing –original draft, Data Collection, Data Analysis: Sajjad Aboohaidary; Conceptualization, Supervision, Methodology, Writing–review & editing, Formal Analysis: Mostafa Zarei.

Conflict of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Acknowledgments

The authors warmly thank all the study's participants and their teams.



مقاله پژوهشی

مقایسه اثر خستگی مزمن ناشی از بار تمرینات و مسابقات فوتبال بر کینماتیک فرود بازیکنان سالم و با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی

سجاد ابو حیدری^۱، *مصطفی زارعی^۱

۱. گروه تندرستی و توانبخشی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران.



Citation Aboheidary S, Zarei M. [Chronic Effects of Training and Match Fatigue on Landing Kinematics in Football Players With and Without Anterior Cruciate Ligament (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2026; 14(6):956-969. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3403>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.6.3403>

چکیده

مقدمه و اهداف پایش مؤلفه‌های کینماتیکی تنه، زانو، ران و مچ پا یکی از راه‌های مؤثر در پیش‌بینی آسیب اولیه و ثانویه رباط صلیبی قدامی است. از این‌رو هدف تحقیق حاضر مقایسه اثر مزمن خستگی ناشی از تمرینات و مسابقات فوتبال بر روی برخی مؤلفه‌های کینماتیکی زانو و مچ پا بین بازیکنان فوتبال با و بدون سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی است.

مواد و روش‌ها در این پژوهش، ۲۰ بازیکن فوتبال دارای سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی و ۲۰ بازیکن بدون سابقه جراحی از لیگ برتر استان تهران به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. میانگین سنی، وزنی و قدی شرکت‌کنندگان به‌ترتیب ۳/۷۴±۲۲/۹۳ (سال)، ۷۳/۹۶±۲/۹۴ (کیلوگرم) و ۱/۷۶±۰/۰۳ (متر) بود. برای ارزیابی، مؤلفه‌های کینماتیکی شامل حداکثر زاویه والگوس زانو، حداکثر میزان خم شدن زانو و حداکثر زاویه دورسی‌فلکشن مچ پا در حین اجرای الگوی پرش - فرود جفت پا با استفاده از دستگاه شتاب‌سنج IMU اندازه‌گیری شدند. داده‌ها طی نیم‌فصل پایانی مسابقات جمع‌آوری شد و خستگی بازیکنان نیز با استفاده از شاخص اصلاح‌شده بورگ ارزیابی شد. سپس داده‌ها با استفاده از آزمون آنوای ۲ طرفه تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها نتایج تحقیق نشان داد در انتهای فصل مسابقه، مؤلفه‌های کینماتیکی حداکثر والگوس زانو در بازیکنان سالم و بازیکنان با سابقه جراحی و حداکثر خم شدن زانوی بازیکنان با سابقه جراحی تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P \leq 0/05$). همچنین در سایر مؤلفه‌های کینماتیکی نتایج معنی‌داری مشاهده نشد ($P \leq 0/05$).

نتیجه‌گیری به‌طور کلی تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق نشان می‌دهد خستگی ناشی از مسابقات و تمرینات فوتبال در انتهای فصل می‌تواند بر کاهش حداکثر خم شدن زانوی بازیکنان با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی و افزایش والگوس زانوی بازیکنان هر دو گروه تأثیر بگذارد. علاوه بر آن میزان والگوس زانو در بازیکنان با سابقه جراحی به‌طور کلی از افراد سالم در حین فرود بیشتر بود. همچنین زاویه والگوس زانو در بازیکنانی که سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی داشتند، به‌طور کلی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون بیشتر از بازیکنان سالم بود.

کلیدواژه‌ها فوتبال، رباط صلیبی قدامی، عوامل خطر زاه خستگی، بیومکانیک

تاریخ دریافت: ۲۸ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴ شهریور ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴ شهریور ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر مصطفی زارعی

نشانی: تهران، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، گروه تندرستی و توانبخشی ورزشی.

تلفن: ۲۹۹۰۵۸۲۶ (۲۱) ۹۸+

رایانامه: m_zareei@sbu.ac.ir



Copyright © 2026 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه و اهداف

فوتبال یک ورزش تیمی با شدت بالا و ماهیت متناوب است که نیازمند ترکیبی از فعالیت‌های هوازی و بی‌هوازی تحت شرایط فیزیکی، تکنیکی، تاکتیکی و روان‌شناختی متنوع است. بازیکنان فوتبال به‌طور مکرر حرکاتی مانند دویدن سریع، پرش، تکل زدن و کاهش سرعت سریع برای تغییر جهت و بارگذاری‌های انقباضات برون‌گرا متعدد انجام می‌دهند [۱]. همچنین براساس مطالعات بازیکنان در یک مسابقه به‌طور متوسط حدود ۳۰ تا ۴۰ دویدن تناوبی سرعتی و ۲۰۰ تا ۲۵۰ تغییر جهت را تجربه می‌کنند. این نتایج نشان می‌دهد بازیکنان فوتبال به دلیل ماهیت پرتنش این ورزش همواره در معرض آسیب هستند [۲]. بیشتر آسیب‌های فوتبال در اندام تحتانی رخ می‌دهند و حدود ۶۵ تا ۸۰ درصد از کل آسیب‌ها را شامل می‌شوند [۳].

آسیب‌های فوتبال می‌توانند ناشی از مکانیسم‌های تماسی یا غیرتماسی باشند. آسیب‌های تماسی معمولاً در اثر برخورد فیزیکی مستقیم بین بازیکنان یا با اشیای خارجی مانند زمین، توپ یا تیرک دروازه اتفاق می‌افتند. در مقابل، آسیب‌های غیرتماسی که حدود ۵۰ تا ۵۹ درصد از کل آسیب‌ها را تشکیل می‌دهند، بدون برخورد فیزیکی رخ می‌دهند و اغلب به عوامل بیومکانیکی و عصبی-عضلانی مرتبط هستند. این نوع آسیب‌ها معمولاً در شرایطی، مانند کاهش سرعت ناگهانی، تغییر جهت سریع یا پرش ایجاد می‌شوند [۴]. یکی از شایع‌ترین آسیب‌های غیرتماسی در فوتبال آسیب رباط صلیبی قدامی است که طبق گزارش‌ها بیش از ۵۵ درصد از موارد آن در ورزش‌های توپی، به‌ویژه فوتبال به‌صورت غیرتماسی اتفاق می‌افتد [۵].

رباط صلیبی قدامی نقش مهمی در ثبات مفصل زانو هنگام انجام حرکاتی مانند تغییر جهت ناگهانی، چرخش و فرود پس از پرش ایفا می‌کند؛ بنابراین آسیب رباط صلیبی قدامی یکی از بازدارنده‌ترین آسیب‌ها در بین بازیکنان فوتبال است. این آسیب اغلب به جراحی و دوره‌های طولانی بازتوانی نیاز دارد و ممکن است بازیکنان را برای ماه‌ها از میداندین دورکند و حتی در برخی موارد، حرفه آن‌ها را به خطر بیندازد [۶]. در افراد با بازسازی رباط صلیبی قدامی علاوه بر عوارض طولانی‌مدت این آسیب مثل آرتروز، بی‌ثباتی زانو، کاهش حس عمقی و اختلالات عصبی-عضلانی که ممکن است فرد با آن‌ها مواجه شود [۷]، خطر آسیب مجدد (پارگی مجدد رباط بازسازی‌شده یا پارگی رباط صلیبی قدامی در زانوی دیگر) با نرخ ۶ تا ۲۵ درصد همچنان یک نگرانی بزرگ محسوب می‌شود. علاوه بر این مطالعات نشان می‌دهند احتمال بروز آسیب مجدد در ۲ سال پس از بازسازی رباط صلیبی قدامی بیشتر است [۸].

یکی از عوامل خطرزای مهم مرتبط با بروز آسیب اولیه و ثانویه آسیب رباط صلیبی قدامی خستگی است؛ به‌طوری‌که ۷۹ درصد از مطالعات تغییراتی را پس از خستگی عصبی-عضلانی نشان می‌دهند که با افزایش خطر آسیب رباط صلیبی قدامی مرتبط است [۹]. این مؤلفه علاوه بر تأثیرگذاری بر عوامل عصبی-عضلانی، باعث اختلال در کیفیت الگوی حرکت و بیومکانیک^۱ حرکت نیز می‌شود. خستگی به‌طور قابل‌توجهی باعث تغییر در کینماتیک^۲ اندام تحتانی می‌شود. به شکلی که باعث کاهش حرکت خم شدن و افزایش زاویه والگوس زانو^۳ و کاهش دورسی فلکشن^۴ می‌شود [۱۰، ۱۱]. همچنین خستگی در اندام تحتانی باعث افزایش نیروهای برشی در ناحیه قدامی درشتنی و افزایش نیروهای برشی بر باندل قدامی رباط صلیبی قدامی می‌شود [۱۲].

موفقیت تیم‌های فوتبال به‌طور قابل‌توجهی به توانایی بازیکنان در انجام حرکات شدید، اجرای دقیق تاکتیک‌های تیمی و حفظ عملکرد در طول فصل مسابقات وابسته است. افزایش بار کاری تمرینات یکی از ابزارهای کلیدی برای آماده‌سازی بازیکنان جهت رقابت در سطوح بالاتر و مقابله با فشارهای جسمانی و روانی مسابقات محسوب می‌شود [۱۳]. مطالعات نشان داده‌اند افزایش بار تمرینات با شدت بالا می‌تواند ظرفیت هوازی، قدرت عضلانی و مهارت‌های فنی بازیکنان را به‌طور چشمگیری ارتقا دهد [۱۴].

باین‌حال این روش بدون مدیریت صحیح بار تمرینات و اختصاص زمان کافی برای بازیابی، ممکن است بازیکنان را در معرض خستگی شدید و افزایش خطر آسیب‌دیدگی قرار دهد [۱۵]. خستگی یکی از عوامل مهم در کاهش عملکرد روانی و فیزیولوژیکی ورزشکاران در مراحل قبل، حین و بعد از مسابقه است. بازیکنان در مواجهه با خستگی ممکن است نتوانند به‌موقع به اطلاعات حسی حرکتی فراوان و همچنین خواسته‌های بیومکانیکی یک محیط فیزیکی پرتنش و در حال تغییر پاسخ دهند [۱۶، ۱۷]. در نتیجه این عامل منجر به کاهش کنترل عصبی-عضلانی، تغییر در الگوهای بیومکانیکی حرکت و اختلال در عملکردهای شناختی می‌شود [۱۰]. در مقاطع پرفشار فصل مسابقات، بازیکنان به دلیل بار زیاد تمرینات، حجم بالای مسابقات و عدم ریکاوری مناسب دچار خستگی مفرط می‌شوند. این مسئله علاوه بر کاهش عملکرد روانی و فیزیولوژیکی بازیکنان، احتمال بیش‌تر تمرینی و خطر آسیب را در این افراد افزایش می‌دهد [۱۸، ۱۹].

نرخ آسیب‌ها در انتهای فصل مسابقات افزایش می‌یابد. بازیکنان فوتبال احتمالاً به دلیل دوره‌های ریکاوری ضعیف بین بازی‌ها و تمرینات مداوم در طول سال و تعداد زیاد مسابقات با تقویم فشرده هرچه به انتهای فصل مسابقات نزدیک می‌شوند، بیشتر در

1. Biomechanics
2. Kinematic
3. Knee valgus
4. Ankle dorsiflexion

معرض خطر آسیب هستند. این موضوع برای تیم‌های فوتبال و کادر فنی تیم که منابع محدودی در جایگزینی بازیکنان با توانایی مشابه دارند، بسیار حائز اهمیت است [۲۰، ۲۱].

در این زمینه، پرز و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی اثرات حاد و مزمن خستگی ناشی از بار مسابقات فوتبال بر دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا پرداختند. این مؤلفه یکی از عوامل خطرزای آسیب‌هایی، مانند پیچ‌خوردگی مچ پا، کشیدگی تاندون آشیل، کشیدگی همسترینگ و آسیب رباط صلیبی قدامی است. این پژوهش بر روی ۴۰ بازیکن فوتبال شاغل در لالیگای اسپانیا انجام شد. نتایج نشان داد خستگی ناشی از مسابقات و تمرینات در طول فصل موجب کاهش معنادار دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا در انتهای فصل می‌شود. آن‌ها گزارش کردند کاهش دامنه دورسی فلکشن مچ پا در بازیکنان ممکن است خطر آسیب رباط صلیبی قدامی و سایر آسیب‌های مرتبط با مچ پا را در انتهای فصل افزایش دهد [۲۲]. همچنین گراسی و همکاران در یک تحقیق مروری، میزان نرخ آسیب رباط صلیبی قدامی را در ۷ فصل مسابقات سری A ایتالیا مورد بررسی قرار دادند. در طول فصل مسابقات، در هفته‌های ابتدایی و انتهایی بیشترین ثبت آسیب رباط صلیبی مشاهده شده بود. آن‌ها دلیل این موضوع را در هفته‌های ابتدایی عدم آمادگی در پیش‌فصل مسابقات و در هفته‌های انتهایی خستگی ناشی از بار مسابقات و تمرینات در طول فصل و همچنین عدم ریکاوری مناسب و تمرینات پیشگیری از آسیب بیان کردند [۲۳].

باتوجه به تحقیقات گسترده در زمینه اثرات حاد خستگی بر عوامل عصبی-عضلانی و مؤلفه‌های کینماتیکی مرتبط با افزایش خطر آسیب رباط صلیبی قدامی در فضای آزمایشگاهی یا شرایط شبیه‌ساز مسابقه فوتبال و همچنین رابطه بار و تنش تمرینات و مسابقات با افزایش خطر بروز آسیب در طول فصل مسابقه [۱۹، ۲۴، ۲۵]، منابع محدودی در خصوص اثرات خستگی مزمن ناشی از بار مسابقات و تمرینات فوتبال در طول فصل بر عوامل کینماتیکی پیش‌بینی‌کننده آسیب رباط صلیبی قدامی مرتبط با زانو و مچ پا وجود دارد؛ بنابراین باتوجه به اهمیت موضوع و نیاز به انجام مطالعات بیشتر، هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیر خستگی ناشی از بار مسابقات و تمرینات فوتبال بر عوامل کینماتیکی خطرزای آسیب رباط صلیبی قدامی شامل حداکثر زاویه خم شدن زانو، میزان والگوس زانو و دورسی فلکشن مچ پا در حین فرود بازیکنان سالم و بازیکنانی با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی است.

مواد و روش‌ها

نوع پژوهش و شرکت‌کنندگان

این پژوهش از نوع علی‌مقایسه‌ای و از نظر هدف کاربردی بود. در این تحقیق، ۴۰ بازیکن مرد فوتبال غیرحرفه‌ای فعال

در لیگ برتر تهران در ۲ گروه سالم (۲۰ نفر) و دارای سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی (۲۰ نفر) شرکت کردند. انتخاب اعضای گروه سالم به صورت تصادفی طبقه‌بندی شده از میان بازیکنان ۴ تیم در دسترس انجام شد. در حالی که افراد گروه دارای سابقه جراحی به شکل انتخابی و هدفمند وارد مطالعه شدند. علاوه بر این آزمودنی‌های هر دو گروه بر اساس «پست بازی» مورد همسان‌سازی قرار گرفتند. براساس پست بازی، در این مطالعه ۱۶ مدافع، ۱۴ هافبک، ۴ مهاجم و ۶ وینگر مشارکت کردند. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار جی‌پاور ($\alpha=0.05$, $\text{Power}=0.8$)، $\text{Effect Size}=0.4$ تعیین شد.

معیارهای ورود به تحقیق: ۱. حداقل ۵ سال سابقه فعالیت در لیگ‌های برتر یا لیگ‌های پایه فوتبال؛ ۲. حضور منظم در تمرینات تیم و شرکت در مسابقات رسمی حداقل طی نیم‌فصل پیش از آغاز مطالعه؛ ۳. عدم سابقه آسیب حاد در اندام تحتانی طی ۳ ماه گذشته قبل از مطالعه؛ ۴. در گروه با سابقه جراحی، محدود بودن آسیب بازیکنان به رباط صلیبی قدامی (جراحی) به صورت مجزا و بدون همراهی با آسیب سایر لیگامان‌ها یا منیسک؛ ۵. تکمیل کامل مراحل درمان، بازتوانی و بازگشت به ورزش. معیارهای خروج از تحقیق: ۱. عدم تمایل فرد به ادامه مشارکت در روند مطالعه، ۲. عدم حضور در ۲ مسابقه متوالی به هر دلیل (مانند اخراج از تیم، تصمیم کادر فنی، آسیب و غیره)؛ ۳. حضور کمتر از ۷۵ دقیقه در هر مسابقه رسمی طی نیم‌فصل مورد بررسی [۲۲]. ۲ بازیکن با سابقه جراحی و ۱ بازیکن از گروه سالم به دلیل آسیب و عدم حضور در ۲ بازی متوالی از مطالعه خارج شده‌اند.

روند انجام پژوهش

پیش از آغاز فرایند پژوهش، جلسه هماهنگی به صورت جداگانه با حضور اعضای تیم تحقیق، کادر فنی تیم‌های شرکت‌کننده و بازیکنان برگزار شد. در این جلسه، جزئیات مربوط به مراحل انجام تحقیق، نحوه ارزیابی بازیکنان و شرایط اجرای آزمون‌ها به طور کامل تشریح شد. برای آگاهی بیشتر شرکت‌کنندگان، روند ارزیابی علاوه بر توضیحات شفاهی، از طریق نمایش ویدئویی و اجرای عملی آزمون‌ها به صورت دقیق تشریح شد. هدف از این جلسه، ایجاد هماهنگی میان تمام افراد دخیل در تحقیق و اطمینان از اجرای صحیح مراحل ارزیابی بود. در همین جلسه، اطلاعات اولیه مربوط به شرکت‌کنندگان شامل قد، وزن، سن و سوابق آسیب‌های گذشته جمع‌آوری شد. همچنین رضایت‌نامه آگاهانه کتبی شرکت در پژوهش توسط بازیکنان تکمیل شد. تمامی بازیکنان در طول فصل مسابقات به صورت هفتگی تحت نظارت مستقیم تیم تحقیق با هماهنگی کادر فنی تیم‌ها بودند. از بازیکنان خواسته شد به جز تمرینات منظم تیمی، شامل تمرینات کار با توپ، بدنسازی و سایر فعالیت‌های گروهی، از انجام هرگونه



تصویر ۱. آزمون پرش - فرود

طب توانبخشی

دستورالعمل شرکت سازنده به صورت متقارن روی هر دو اندام تحتانی نصب شدند. حسگرهای مربوط به ناحیه ران در یک سوم تحتانی استخوان ران قرار گرفتند؛ جایی که جابه‌جایی عضلانی در طول حرکت کمترین مقدار را دارد. حسگرهای ناحیه ساق در بخش قدامی و میانی (یک سوم تحتانی) در امتداد درشتنی نصب شدند. حسگرهای مچ پا نیز در قسمت میانی روی استخوان‌های کف پایي دوم و سوم قرار داده شدند [۲۶]. برای دستیابی به داده‌های دقیق‌تر، دستگاه کالیبره شده و زوایای موردنظر شامل دورسی فلکشن مچ پا، خم شدن زانو و والگوس زانو برای دستگاه تعریف شد. شتاب‌سنج‌ها در سال‌های اخیر به عنوان ابزاری قابل اعتماد با دقت بالا و خطای اندک در تحلیل حرکات کینماتیکی اندام‌های فوقانی و تحتانی، در حوزه‌های بالینی و ورزشی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند دستگاه‌های IMU اندازه‌گیری زوایای مفصلی حین انجام حرکات، دقت بالایی دارند و نتایج آن با سیستم‌های تصویربرداری حرکتی ۳ بعدی Mocap^۲ اختلافی کمتر از ۱ درجه دارند [۲۷، ۲۸]. برای انجام آزمون پرش فرود عمودی که از روایی ($r > 0.80$) و پایایی ($ICC > 0.85$) برخوردار است، فرد ابتدا بر روی یک جعبه با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر قرار می‌گیرد. سپس نشانه‌ای بر روی زمین مشخص می‌شود که فاصله آن از جعبه برابر با نصف قد فرد است. آزمودنی ابتدا از روی جعبه با هر دو پا به سمت نشانگر می‌پرد و پس از تماس هر دو پا با زمین، بلافاصله یک پرش عمودی با حداکثر توان خود انجام می‌دهد (تصویر شماره ۱). در این آزمون، مرحله فرود (از لحظه برخورد پاها با زمین تا جدا شدن آن‌ها از سطح) جهت تحلیل

فعالیت انفرادی خودداری کنند. به بازیکنان تأکید شد در طول دوره مطالعه از مصرف هرگونه مکمل یا داروی خاص پرهیز کنند. همچنین پیشنهاد شد افراد به منظور بازیابی بهتر، خواب کافی ۸ ساعت در طول شبانه‌روز را رعایت کنند. برای بررسی کینماتیک فرود بازیکنان تحت تأثیر بار تمرینات و مسابقات، ۱۴ هفته پایانی فصل مسابقات فوتبال لیگ برتر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. پیش از آزمون پس از اولین مسابقه نیم‌فصل و پس از آزمون ۲ روز بعد از آخرین بازی فصل انجام شد. به منظور جلوگیری از اثرات حاد خستگی ناشی از تمرینات و مسابقات، ۴۸ ساعت پیش از زمان آزمون، با هماهنگی کادر فنی، بازیکنان هیچ‌گونه فعالیت ورزشی نداشتند. برای ارزیابی خستگی بازیکنان، پس از پایان هر مسابقه یا خروج بازیکن از زمین و هر جلسه تمرینی، شاخص بورگ (میزان تلاش درک‌شده) از بازیکنان ثبت شد. همچنین برای ارزیابی بار داخلی تمرینات و مسابقات این شاخص در میزان کار انجام‌شده ضرب شد (مدت زمان فعالیت) [۲۵].

اندازه‌گیری‌ها

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کینماتیکی زانو و مچ پا، از دستگاه IMU^۳ مدل ۶۸۰ ساخت شرکت نوراکسون آمریکا (تولید سال ۲۰۱۶) استفاده شد. همچنین نرم‌افزار MYORESEARCH3 به منظور ارتباط دستگاه با رایانه مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات فردی نظیر سن، وزن، قد و طول اندام‌ها (مانند ران، ساق و بازو) براساس اندام موردنظر در نرم‌افزار ثبت شد. سپس حسگرها طبق

6. Motion Capture

5. Inertial Measurement Unit

یافته‌ها

براساس داده‌های ارائه‌شده در **جدول شماره ۱**، هیچ تفاوت معناداری میان سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی افراد شرکت‌کننده در ۲ گروه سالم و با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی مشاهده نشده است ($P \geq 0.05$).

براساس اطلاعات **جدول شماره ۲**، نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس مختلط (2×2) نشان داد اثر درون گروهی مرتبط با میزان حداکثر خم شدن زانو هنگام فرود از لحاظ آماری معنادار است ($\eta_p^2 = 0.212$, $P = 0.004$). علاوه بر این اثر بین گروهی ($\eta_p^2 = 0.240$) و اثر درون گروهی ($\eta_p^2 = 0.139$, $P = 0.023$) مرتبط با متغیر حداکثر والگوس زانو در زمان فرود نیز از نظر آماری معنادار گزارش شد. باین حال در سایر مؤلفه‌های مورد بررسی در این مطالعه، هیچ تفاوت معناداری به لحاظ آماری مشاهده نشد (**جدول شماره ۳**). میانگین میزان شاخص خستگی بورگ تمرینات و مسابقات فوتبال بازیکنان با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی $7/6 \pm 1/2$ و بازیکنان سالم $7/2 \pm 0/9$ در ۱۴ هفته از مسابقات فصل بود.

بحث

هدف از مطالعه حاضر، بررسی و مقایسه اثر خستگی مزمن ناشی از بار تمرینات و مسابقات فوتبال در طول نیم فصل پایانی بر عوامل خطر زای کینماتیکی مرتبط با آسیب رباط صلیبی قدامی در بازیکنان سالم و بازیکنانی با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی بود. این بررسی با تمرکز بر شناسایی تفاوت‌های احتمالی در عوامل کینماتیکی میان این دو گروه انجام شد. عوامل کینماتیکی مورد مطالعه شامل میزان دورسی فلکشن مچ پا، حداکثر میزان خم شدن زانو و والگوس زانو بودند. این عوامل به طور خاص در حین فرود بازیکنان اندازه‌گیری شدند. برای ثبت و ارزیابی متغیرها از دستگاه شتاب‌سنج IMU استفاده شد. محدودیت دورسی فلکشن مچ پا با افزایش خطر آسیب‌های زانو و تغییر بیومکانیک اندام تحتانی در حین حرکات پویا، مانند پرش، فرود و تغییر جهت، مرتبط است. مطالعات نشان داده‌اند محدودیت

متغیرهایی، مانند زاویه دورسی فلکشن مچ پا، بیشترین میزان خم شدن و حداکثر والگوس زانو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در طول اجرای آزمون، برای هر فرد، ۳ حرکت که از نظر شکل و ماهیت به طور صحیح‌تر انجام شده بودند انتخاب و میانگین آن‌ها برای تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت [۲۹]. همچنین برای ارزیابی خستگی ناشی از تمرینات و مسابقات از شاخص خستگی اصلاح‌شده بورگ (C ۱۰-۰) با روایی $0.75/0.3$ و پایایی $0.77/0.7$ ICC توسط تیم تحقیق و کادر فنی استفاده شد. برای سنجش مقیاس بورگ، پیش از اجرای آزمون، توضیحات لازم درباره شرایط و هدف ارزیابی به فرد ارائه شد. سپس در یک محیط آرام و دور از تنش، از فرد خواسته شد که میزان خستگی خود را با انتخاب یک عدد بین صفر (هیچ خستگی) تا ۱۰ (خستگی حداکثری) مشخص کند [۳۰]. پس از آن، آزمون گیرنده مقادیر انتخاب‌شده را در جدول از پیش آماده‌شده برای جمع‌آوری اطلاعات ثبت و بایگانی کرد. برای بررسی خستگی بازیکنان تحت تأثیر بار تمرینات و مسابقات، ۱۴ هفته پایانی فصل مسابقات فوتبال لیگ برتر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. در این دوره، بلافاصله پس از هر جلسه تمرین (شامل کار با توپ، بدنسازی و سایر تمرینات تیمی) یا هر مسابقه، میزان شاخص اصلاح‌شده خستگی بورگ توسط تیم تحقیق از بازیکنان ثبت و در جدول از پیش آماده‌شده ذخیره شد. میانگین هفتگی این شاخص برای ارزیابی میزان بار و خستگی در طول نیم فصل محاسبه شد. در نهایت، میانگین کلی این شاخص برای مقایسه بین ۲ گروه بازیکنان سالم و بازیکنان با سابقه جراحی مورد استفاده قرار گرفت.

روش آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های خام حاصل از اندازه‌گیری‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام گرفت. برای ارزیابی نوع توزیع داده‌ها، آزمون آماری شاپیرو-ویلک به کار گرفته شد. همچنین جهت مقایسه میانگین متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش، از آزمون تجزیه و تحلیل واریانس مختلط 2×2 استفاده شد. در تمامی مراحل تحلیل آماری، سطح معناداری ۹۵ درصد و مقدار آلفا برابر با $0.05 \leq \alpha$ در نظر گرفته شد.

جدول ۱. شاخص‌های پیکرشناسی آزمودنی‌ها

متغیر	میانگین $\pm$ انحراف معیار		سطح معنی داری
	با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی	بدون سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی	
سن (سال)	$22/47 \pm 3/51$	$23/40 \pm 4/00$	۰/۴۶۲
وزن (کیلوگرم)	$72/58 \pm 3/04$	$74/25 \pm 2/83$	۰/۴۳۶
قد (متر)	$1/77 \pm 0/02$	$1/76 \pm 0/04$	۰/۷۷۳
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	$23/60 \pm 1/04$	$23/95 \pm 1/18$	۰/۳۵۷

* سطح معناداری $P \geq 0.05$ در نظر گرفته شد.

جدول ۲. نتایج آزمون تحلیل واریانس مختلط (۲×۲) برای مؤلفه‌های کینماتیکی

متغیر	منبع تغییرات	F	معنی داری	اندازه اثر
دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا (درجه)	بین گروهی	۰/۰۹۸	۰/۷۵۶	۰/۰۰۳
	درون گروهی	۱۰۰/۲	۰/۱۵۶	۰/۰۵۷
	تعاملی	۰/۲۰۴	۰/۶۵۴	۰/۰۰۶
حداکثر میزان خم شدن زانو (درجه)	بین گروهی	۰/۷۰۸	۰/۴۰۶	۰/۰۲۰
	درون گروهی	۳۴۲/۹	۰/۰۰۴*	۰/۲۱۲
	تعاملی	۴۸۶/۱	۰/۲۳۱	۰/۰۴۱
والگوس زانو (درجه)	بین گروهی	۶۲۸/۵	۰/۰۲۳*	۰/۱۳۹
	درون گروهی	۰۳۸/۱۱	۰/۰۰۲*	۰/۲۴۰
	تعاملی	۰/۱۹۹	۰/۶۵۸	۰/۰۰۶

* سطح معناداری $P \leq 0.05$ در نظر گرفته شد.

طبتوانبخش

به عبارت دیگر خستگی مزمن ناشی از بار تمرینات و مسابقات به طور خاص تأثیری بر این عامل کینماتیکی در این دو گروه نداشت. بنابراین این یافته‌ها نشان می‌دهد دورسی فلکشن مچ پا ممکن است تحت تأثیر خستگی مزمن بار مسابقات و تمرینات باعث افزایش خطر آسیب رباط صلیبی قدامی در بازیکنان سالم و با سابقه نشود. در مطالعه‌ای که توسط پزر و همکاران انجام شد، اثرات مزمن مسابقات فوتبال بر دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پای (توسط دستگاه leg motion) ۴۰ بازیکن فوتبال مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش به ارزیابی تغییرات دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا در ۳ مقطع زمانی، شامل ابتدای فصل، نیم‌فصل و انتهای فصل (پس از گذشت ۱۰ ماه) پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد در انتهای فصل، در مقایسه با نیم‌فصل، کاهش معناداری در دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا مشاهده شده است [۲۲]. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر همسو نیست

در دورسی فلکشن مچ پا می‌تواند منجر به کاهش میزان خم شدن زانو، افزایش زاویه والگوس زانو و کاهش فعالیت عضلات بازکننده ران و زانو در هنگام اجرای حرکات فرود شود [۳۱]. علاوه بر این، این محدودیت بر الگوهای هم‌انقباضی عضلات اطراف زانو نیز تأثیر می‌گذارد. به شکلی که در هنگام فرود، میزان هم‌انقباضی عضلات پهن خارجی / دوسر رانی، درشت‌نی قدامی / نعلی و راست رانی / دوسر رانی کاهش می‌یابد. همچنین زمان فعال‌سازی عضلات نعلی، راست رانی، پهن داخلی و خارجی به طور کلی با تأخیر رخ می‌دهد. مجموع این تغییرات بیومکانیکی و عملکردی موجب افزایش بار و استرس بر ساختارهای زانو، از جمله رباط صلیبی قدامی شده و خطر آسیب را در این ناحیه افزایش می‌دهد [۳۲]. نتایج این تحقیق نشان داد میزان دورسی فلکشن مچ پا بین ۲ گروه بازیکنان سالم و بازیکنانی با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی به صورت معنی داری تغییر نکرد.

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار متغیرهای مطالعه

متغیر	گروه	زمان	میانگین $\pm$ انحراف معیار
دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا (درجه)	پیش‌آزمون	۲۷/۴۴ $\pm$ ۵/۹۱	بدون سابقه جراحی
	پس‌آزمون	۲۸/۵۲ $\pm$ ۴/۵۳	باسابقه جراحی رباط صلیبی قدامی
حداکثر میزان خم شدن زانو (درجه)	پیش‌آزمون	۶۵/۰۲ $\pm$ ۱۳/۶۱	بدون سابقه جراحی
	پس‌آزمون	۵۳/۲۵ $\pm$ ۱۱/۹۲	باسابقه جراحی رباط صلیبی قدامی
والگوس زانو (درجه)	پیش‌آزمون	۸/۶۱ $\pm$ ۴/۰۳	بدون سابقه جراحی
	پس‌آزمون	۱۱/۵۲ $\pm$ ۳/۳۴	باسابقه جراحی رباط صلیبی قدامی

طبتوانبخش

نویسندگان این مطالعه، مطالعات مشابهی که به این موضوع در بازیکنان فوتبال سالم و بازیکنان با سابقه رباط صلیبی قدامی پرداخته‌اند، مشاهده نکردند؛ بنابراین نمی‌توان در این زمینه مقایسه‌ای انجام داد. با این حال براساس گزارش مطالعات، نرخ آسیب در انتهای فصل مسابقات فوتبال با افزایش نقص در عملکرد بازیکنان، خستگی مزمن و تقویم فشرده مسابقات همبستگی دارد. به این معنا که هرچه مسابقات در انتهای فصل فشرده‌تر باشد، عملکرد بازیکنان کاهش یافته و خستگی مزمن بیشتر می‌شود که این عوامل با افزایش نرخ آسیب ارتباط مستقیم دارند [۲۱، ۱۸].

در این راستا، مطالعه گراسی و همکاران نشان داده است در ماه‌های پایانی فصل فوتبال، باتوجه به افزایش استرس ناشی از مسابقات و تمرینات، نرخ آسیب‌های رباط صلیبی قدامی افزایش می‌یابد [۲۳]. برطبق نتایج مطالعه حاضر، از دلایل احتمالی تغییر در مؤلفه‌های کینماتیکی حداکثر خم شدن و والگوس زانو در انتهای فصل مسابقات، خستگی‌های مزمن عضلانی-عصبی ناشی از نیازهای بالای تمرین و مسابقاتی است که بازیکنان باید در طول فصل مسابقات انجام دهند. این فعالیت‌ها شامل افزایش و کاهش سرعت ناگهانی، وظایف پرش و فرود، تغییر جهت‌های ناگهانی و قرار گرفتن مداوم در معرض انقباضات برون‌گرا با شدت بالا است [۳۷، ۳۶].

ازسوی دیگر، بازیکنان با سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی به دلیل وجود عوارض بلندمدت در عملکرد عصبی-عضلانی و نقص در الگوهای حرکتی در سال‌های اولیه پس از بازگشت به ورزش، در معرض خطر بیشتری برای آسیب مجدد قرار دارند. باتوجه به اهمیت این موضوع در پایش افراد با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی، این مطالعه برای اولین بار این مسئله را بررسی کرده است. در این پژوهش، بازیکنان مشارکت‌کننده به‌طور میانگین در 25 ± 2 مسابقه در طول فصل شرکت کرده‌اند، به‌طور متوسط ۳ تا ۶ جلسه تمرین در هر هفته انجام داده‌اند و در مجموع ۷۰۰ تا ۹۰۰ دقیقه در طول فصل مسابقه در معرض تمرین و ۲۰۰ تا ۲۲۰ دقیقه در معرض مسابقه بوده‌اند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج مطالعه حاضر، می‌توان استناد کرد که خستگی مزمن ناشی از بار تمرینات و مسابقات فوتبال می‌تواند بر کاهش میزان کینماتیک حداکثر خم شدن زانو در بازیکنان با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی اثر بگذارد. همچنین مؤلفه والگوس زانو در هر دو گروه (بازیکنان سالم و بازیکنان با سابقه جراحی) افزایش یافت، اما به‌طور کلی این مؤلفه در گروه با سابقه جراحی نسبت به گروه سالم بیشتر بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد در انتهای فصل مسابقات، باتوجه به شدت و بار تمرینات و مسابقات و نیاز به دستیابی به حداکثر عملکرد، احتمال خطر آسیب رباط

که احتمالاً ناشی از روش‌های ارزیابی و نمونه‌های آماری متفاوت مطالعه است. در زمینه خستگی مزمن ناشی از مسابقات یا تمرینات فوتبال هیچ مطالعه مشابهی توسط نویسندگان مشاهده نشد.

خم شدن بهینه زانو هنگام فرود، یکی از عوامل بسیار مهم در کاهش خطر آسیب دیدگی رباط صلیبی قدامی محسوب می‌شود. عدم خم شدن کافی زانو با افزایش نیروهای برشی قدامی روی استخوان درشت‌نی همراه است؛ نیروهایی که فشار قابل توجهی به رباط صلیبی قدامی وارد کرده و خطر آسیب دیدگی را افزایش می‌دهند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند با افزایش خم شدن زانو از صفر درجه به ۷۰ درجه، حداکثر نیروی تیبیوفمورال^۷ و رباط‌های زانو هنگام فرود به ترتیب ۵۴ و ۸۲ درصد کاهش می‌یابد [۳۳]. همچنین مشخص شده است تغییر زاویه خم شدن اولیه زانو از ۱۳ به ۶۷ درجه می‌تواند حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین را ۴۷ درصد کاهش دهد [۳۴]. خستگی نیز به‌طور قابل توجهی بر کینماتیک زانو در طول فعالیت‌های مختلف تأثیر می‌گذارد. در فعالیت‌های پویا، مانند پرش و فرود، خستگی منجر به کاهش خم شدن زانو و افزایش والگوس زانو می‌شود؛ این مسئله به‌ویژه در ورزشکاران رشته‌های هندبال و فوتبال مشاهده شده است [۳۵، ۱۰].

یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد مؤلفه کینماتیکی حداکثر خم شدن زانو به‌طور معنی‌داری در گروه بازیکنان با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی در انتهای فصل کاهش یافته است. این کاهش حداکثر خم شدن زانو در حین فرود می‌تواند با افزایش خطر آسیب مجدد در بازیکنان دارای سابقه جراحی، به‌ویژه در دوران پرفشار فصل مسابقات در انتهای فصل، ارتباط داشته باشد. همچنین طبق یافته‌های مطالعه حداکثر والگوس زانو در حین فرود هر دو گروه به شکل معنی‌داری در انتهای فصل مسابقات نسبت به ابتدای نیم فصل دوم افزایش پیدا کرد. این مؤلفه در گروه با بازسازی رباط صلیبی قدامی به‌طور کلی بیشتر از گروه سالم بود. این موضوع احتمالاً به عوارض بلندمدت ناشی از اختلالات عملکردی بعد از آسیب مرتبط است که شامل کاهش قدرت و اختلال در فراخوانی گروه عضلات چهارسر ران، نقص در حس عمقی و اختلال در هم‌انقباضی عضلات همکار در پای آسیب‌دیده نسبت به پای سالم است. این عوامل که نقش حیاتی در حفظ ثبات مفصل زانو ایفا می‌کنند، ممکن است پیامدهای طولانی‌مدتی در افراد دارای سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی ایجاد کنند. در راستای این موضوع، کاماتسوکی و همکاران گزارش کرده‌اند افراد با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی در مقایسه با افراد سالم، دچار افزایش قابل توجهی در والگوس زانو هستند که می‌تواند به اختلال در بیومکانیک طبیعی زانو و افزایش خطر آسیب مجدد منجر شود.

7. Tibiofemoral

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همه شرکت کنندگانی که در این مطالعه شرکت کردند، سپاس‌گزاری می‌کنند.

صلیبی قدامی در بازیکنان فوتبال افزایش می‌یابد؛ به‌ویژه در افرادی که سابقه جراحی رباط صلیبی دارند؛ بنابراین محققان این مطالعه به مربیان و کادر پزشکی تیم‌ها توصیه می‌کنند که علاوه بر پایش بار و فشار تمرینات در طول فصل مسابقات، عوامل کینماتیکی مرتبط با خطر آسیب رباط صلیبی قدامی، به‌ویژه در افراد با سابقه آسیب را نیز کنترل کنند.

از محدودیت‌های این تحقیق می‌توان به مشارکت کنندگان گروه با سابقه جراحی رباط صلیبی قدامی اشاره کرد، که دارای گرفت‌های مختلف برای بازسازی رباط صلیبی قدامی بودند. همچنین آزمودنی‌های این مطالعه به‌صورت هدفمند از افراد در دسترس انتخاب شده‌اند. فعالیت‌های عملکردی و بار خارجی تمرینات و مسابقات و میزان خواب کامل ۸ ساعت در شبانه‌روز مشارکت کنندگان در طول فصل مسابقات به‌طور کامل قابل کنترل و ارزیابی نبود. بنابراین پیشنهاد می‌شود 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. نمونه‌های آماری در مطالعه حاضر مردان بزرگسال بودند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده سعی شود بر روی زنان و سایر گروه‌های سنتی بررسی انجام شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق **دانشگاه شهید بهشتی تهران** در نظر گرفته و کد اخلاق به شماره IR.SBU.REC.1403.003 دریافت شده است.

حامی مالی

این مطالعه از پایان‌نامه کارشناسی ارشد سجاد ابوحیدری در گروه تندرستی و توانبخشی ورزشی دانشکده علوم ورزشی و تندرستی **دانشگاه شهید بهشتی تهران** استخراج شده است و هیچ‌گونه کمک مالی از نهادهای دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت‌نویسندگان

مفهوم‌سازی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، نگارش پیش‌نویس، جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها، ویراستاری و نهایی‌سازی نوشته، بصری‌سازی، نظارت، مدیریت پروژه، تأمین مالی: سجاد ابوحیدری؛ مفهوم‌سازی، نظارت، روش‌شناسی، ویراستاری و نهایی‌سازی نوشته، آنالیز نهایی: مصطفی زارعی.

References

- [1] Filter A, Olivares-Jabalera J, Dos'Santos T, Madruga M, Lozano J, Molina A, et al. High-intensity actions in elite soccer: Current status and future perspectives. *International Journal of Sports Medicine*. 2023; 44(8):535-44. [DOI:10.1055/a-2013-1661] [PMID]
- [2] Malone S, Owen A, Mendes B, Hughes B, Collins K, Gabbett TJ. High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2018; 21(3):257-62. [DOI:10.1016/j.jsams.2017.05.016] [PMID]
- [3] Forsythe B, Knapik DM, Khazi-Syed D, Chang J, Bohn C, Hand C, et al. Analysis of injury epidemiology in soccer players in the 2019 confederation of north, central america and caribbean association football gold cup as reported by team physicians. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*. 2025; 7(2):101074. [DOI:10.1016/j.asmr.2024.101074] [PMID]
- [4] Drummond FA, Soares Dds, Silva HGRd, Entrudo D, Younes SD, Neves VNDS, et al. Incidence of injuries in soccer players-mappingfoot: A prospective cohort study. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2021; 27(2):189-94. [DOI:10.1590/1517-8692202127022020_0067]
- [5] Chia L, Silva DDO, Whalan M, Colin F, McKay M, Sullivan J, et al. 399 Epidemiology of non-contact ACL injuries in team ball-sports: A systematic review with meta-analysis and meta-regression of 2748 injuries across 42 million player-hours and-exposures combined. *BMJ*; 2021; 55(Supple 1):A1-A188. [DOI:10.1136/bjsports-2021-IOC.364]
- [6] Barth KA, Lawton CD, Touhey DC, Selley RS, Li DD, Balderama ES, et al. The negative impact of anterior cruciate ligament reconstruction in professional male footballers. *Knee*. 2019; 26(1):142-8. [DOI:10.1016/j.knee.2018.10.004] [PMID]
- [7] Zandiyeh P, Parola LR, Costa MQ, Hague MJ, Molino J, Fleming BC, et al. Long-term bilateral neuromuscular function and knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction. *Bioengineering*. 2023; 10(7):812. [DOI:10.3390/bioengineering10070812] [PMID]
- [8] Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*. 2016; 44(7):1861-76. [DOI:10.1177/0363546515621554] [PMID]
- [9] Taylor JL, Burkhart TA. Tired of ACL Injuries: A review of methods and outcomes of neuromuscular fatigue as a risk factor for ACL injuries. *Biomechanics*. 2025; 5(1):11. [DOI:10.3390/biomechanics5010011]
- [10] Bedo BLS, Catelli D, Lamontagne M, Moraes R, Pereira DR, Santiago PRP. Effect of fatigue on knee kinematics and kinetics during sidestep cutting and single leg landing in female handball athletes. *ISBS Proceedings Archive*. 2020; 38(1):384. [Link]
- [11] Jayalath JLR, de Noronha M, Weerakkody N, Bini R. Effects of fatigue on ankle biomechanics during jumps: A systematic review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2018; 42:81-91. [DOI:10.1016/j.jelekin.2018.06.012] [PMID]
- [12] Moon J, Lee J, Kim K, Koo D, Lee J, Pathak P, et al. Effect of muscle-specific fatigue on the risk of anterior cruciate ligament injury in females. *Applied Sciences*. 2021; 11(11):4969. [DOI:10.3390/app11114969]
- [13] Guerrero-Calderón B, Klemp M, Morcillo JA, Memmert D. How does the workload applied during the training week and the contextual factors affect the physical responses of professional soccer players in the match? *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2021; 16(4):994-1003. [DOI:10.1177/1747954121995610]
- [14] Teixeira JE, Forte P, Ferraz R, Leal M, Ribeiro J, Silva AJ, et al. Monitoring accumulated training and match load in football: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(8):3906. [DOI:10.3390/ijerph18083906] [PMID]
- [15] Gabbett TJ. The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*. 2016;50(5):273-80. [DOI:10.1136/bjsports-2015-095788] [PMID]
- [16] Dambroz F, Clemente FM, Teoldo I. The effect of physical fatigue on the performance of soccer players:A systematic review. *Plos One*. 2022; 17(7):e0270099. [DOI:10.1371/journal.pone.0270099] [PMID]
- [17] Sun H, Soh KG, Roslan S, Wazir MRWN, Soh KL. Does mental fatigue affect skilled performance inathletes?Asystematicreview. *PloSone*.2021;16(10):e0258307. [DOI:10.1371/journal.pone.0258307] [PMID] []
- [18] Delaval B, Abaïdia AE, Delecroix B, Le Gall F, McCall A, Ahmaidi S, et al. Recovery during a congested schedule and injury in professional football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2022; 17(9):1399-406. [DOI:10.1123/ijsp.2021-0504] [PMID]
- [19] Malone S, Owen A, Newton M, Mendes B, Collins KD, Gabbett TJ. The acute: Chronic workload ratio in relation to injury risk in professional soccer. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017; 20(6):561-5. [DOI:10.1016/j.jsams.2016.10.014] [PMID]
- [20] Bengtsson H, Ekstrand J, Hägglund M. Muscle injury rates in professional football increase with fixture congestion: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*. 2013; 47(12):743-7. [DOI:10.1136/bjsports-2013-092383] [PMID]
- [21] Leventer L, Eek F, Lames M. Intra-seasonal variation of injury patterns among German Bundesliga soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2019; 22(6):661-6. [DOI:10.1055/s-0042-108201] [PMID]
- [22] 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. *European Journal of Sport Science*. 2020; 20(1):51-60. [DOI:10.1080/17461391.2019.1611930] [PMID]
- [23] Grassi A, Macchiarella L, Filippini M, Lucidi GA, Della Villa F, Zaffagnini S. Epidemiology of anterior cruciate ligament injury in Italian first division soccer players. *Sports Health*. 2020; 12(3):279-88. [DOI:10.1177/1941738119885642] [PMID]

- [24] Smeets A, Vanrenterghem J, Staes F, Vandenuecker H, Claes S, Verschueren S. Are ACL reconstructed athletes more vulnerable to fatigue than uninjured athletes? *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2020; 52(2):345-53. [DOI:10.1249/MSS.0000000000002143] [PMID]
- [25] Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. A new approach to monitoring exercise training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2001; 15(1):109-15. [DOI:10.1519/00124278-200102000-00019] [PMID]
- [26] Noraxon Company. kinematics/inertial measurement units (IMUs) [Internet]. 2024 [Updatd 24 January 2026]. Available from: [Link]
- [27] 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. *European Journal of Sport Science*. 2020; 20(6):767-75. [DOI:10.1080/17461391.2019.1666167] [PMID]
- [28] Teufel 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. [DOI:10.3390/s18071980] [PMID]
- [29] 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 American Journal of Sports Medicine*. 2009; 37(10):1996-2002. [DOI:10.1177/0363546509343200] [PMID]
- [30] Scott TJ, Black CR, Quinn J, Coutts AJ. Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: A comparison of the CR10 and CR100 scales. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013; 27(1):270-6. [DOI:10.1519/jsc.0b013e3182541d2e] [PMID]
- [31] Taylor JB, Wright ES, Waxman JP, Schmitz RJ, Groves JD, Shultz SJ. Ankle dorsiflexion affects hip and knee biomechanics during landing. *Sports Health*. 2022; 14(3):328-35. [DOI:10.1177/19417381211019683] [PMID]
- [32] Zhang Z, Xu D, Wang M, Zhou H, Liang M, Baker JS, et al. The effect of restricted ankle dorsiflexion on knee injury risk during landing. *Acta of Bioengineering & Biomechanics*. 2025; 27(1):93-109. [DOI:10.37190/abb-02563-2024-03] [PMID]
- [33] Mojaddarasil M, Sadigh MJ. On the impact force analysis of two-leg landing with a flexed knee. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedicalengineering*. 2021; 24(16):1862-75. [DOI:10.1080/10255842.2021.1925257] [PMID]
- [34] Podraza JT, White SC. Effect of knee flexion angle on ground reaction forces, knee moments and muscle co-contraction during an impact-like deceleration landing: Implications for the non-contact mechanism of ACL injury. *The knee*. 2010; 17(4):291-5. [DOI:10.1016/j.knee.2010.02.013] [PMID]
- [35] Khazaee Z, Gheitasi M, Barati AH. [Effect of lower extremity fatigue on knee joint kinematics during landing maneuvers in adult soccer players (Persian)]. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2021; 10(3):562-73. [DOI:10.32598/sjrm.10.3.15]
- [36] Akehi K, Palmer TB, Conchola EC, Thompson BJ, Kasl A, Bice M, et al. Changes in knee extension and flexion maximal and rapid torque characteristics during a collegiate women's soccer season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2022; 36(5):1389-95. [DOI:10.1519/jsc.0000000000003607] [PMID]
- [37] Lloyd RS, Oliver JL, Myer GD, Croix MDS, Read PJ. Seasonal variation in neuromuscular control in young male soccer players. *Physical Therapy in Sport*. 2020; 42:33-9. [DOI:10.1016/j.ptsp.2019.12.006] [PMID]

This Page Intentionally Left Blank