Sport Medicine Studies, 2026, 18(49): 17-76. DOI: 10.22089/smj.2026.18973.1847

Sport Medicine Studies

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

Original Article

Comparison of Performance, Balance and Proprioception in Soccer Players with and Without Susceptibility to Anterior Cruciate Ligament Injury

Mohammad Seifi [1], Amin Azimkhani*[1], Sadegh Abasian[2], MohammadReza Sedaghatnia[1]

1. Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Imam Reza International University, Mashhad, Iran
2. Department of Physical Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran

Received: 24-Dec-2025 | **Accepted: 14-Sep-2026** | **Available Online: 23-Sep-2026**

*Corresponding Author: AminAzimkhani, E-mail: E-mail:amin.azimkhani@imamreza.ac.

How To Cite: Seifi M., Azimkhani A., Abbasian S., Sedaghatnia M. Comparison of performance, balance and proprioception in footballers prone to anterior cruciate ligament injury and those without injury. Studies in Sport Medicine. 2026;18(49): 58-76. (In Persian). https://doi.org/10.22089/smj.2026.18973.1847

Extended Abstract

Background and Purpose

Football is a globally significant sport, yet it is associated with high rates of knee injury, particularly Anterior Cruciate Ligament (ACL) tears, which are up to six times more prevalent in female athletes. ACL rupture severely compromises joint stability and proprioceptive function, hindering a player's return to sport. While neuromuscular control deficits are widely implicated, the relative predictive value of static proprioception versus dynamic performance remains debated. Numerous studies highlight the importance of dynamic factors like landing mechanics (e.g., knee valgus) and postural control in injury causation. However, evidence regarding static joint position sense is less consistent across the literature. This study, therefore, addresses the critical question of whether measurable differences exist in dynamic balance performance and static proprioception between soccer players identified as ACL-prone and uninjured counterparts. The primary purpose is to identify the most reliable functional assessment domain for improved risk stratification and targeted injury prevention programs..

Materials and Methods

This study was a quasi-experimental study with a pre-test and post-test design and is classified as applied research in terms of its purpose. The purpose of the study was to compare performance, balance, and proprioception among soccer players prone to anterior cruciate ligament (ACL) injury and soccer players without injury. The statistical

Copyright: © 2026 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/).

population included elite soccer players from Khorasan Razavi Province who participated in provincial competitions and were active in the cities of Mashhad and Torbat Heydariyeh. The samples were selected purposively based on their sports backgrounds. A total of 80 athletes participated in the study, including 40 people prone to anterior cruciate ligament injury and 40 people without injury. Before the start of the test, all participants signed an informed consent form and completed a personal information form. Inclusion criteria included: willingness of the volunteer to participate in the study, age between 17 and 35 years, body mass index (BMI) between 25 and 30, at least 6 months of continuous sports experience and participation in provincial competitions, no specific diseases, no use of specific medications or supplements, and no alcohol consumption, and the exclusion criterion was not regular attendance at training or test sessions. Performance, balance, and risk of anterior cruciate ligament injury were assessed using the jump-tuck test. After recording the data in SPSS version 23 software, the Shapiro–Wilk test was used to examine the normality of the distribution of variables. Homogeneity of variances was measured with the Levene test, then independent t-tests and, if necessary, ANOVA tests were used to compare the differences between groups. The significance level of the tests was considered to be P-value < 0.05. Raw data were analyzed in the SPSS23 software environment.

Results

400 First, the normality of the data was examined through the Shapiro–Wilk test. The results of the Shapiro–Wilk test showed that the significant levels obtained for the research variable, divided into groups prone to injury and those without, were greater than 0.01. Therefore, the assumption is valid and the implementation of parametric tests is without obstacles. In the next step, the precondition of equality of variances was examined using the Levene test. The results of the Levene test show that for all research variables, the significant level obtained is greater than 0.05; therefore, the precondition of homogeneity of variances is valid (P-value < 0.05).Table 1: Between-Group Comparison of Main OutcomesVariable Group Mean \pm SD p -valuePerformance Group 1 (e.g., Injury-Free) 25.2 \pm 5.36 0.001Performance Group 2 (e.g., ACL-Prone) 31.6 \pm 5.07 0.001Balance Group 1 (e.g., Injury-Free) 22.7 \pm 6.34 0.001Balance Group 22 (e.g., ACL-Prone) 27.3 \pm 7.27 0.001Proprioception Group 1 (e.g., Injury-Free) 25.9 \pm 4.43 0.152Proprioception Group 2 (e.g., ACL-Prone) 27.5 \pm 4.71 0.152This table summarizes the statistical methodologies applied and the outcomes regarding the fulfillment of statistical assumptions.Table 2: Statistical Tests SummaryVariable Test Assumptions Met (Normality, Homogeneity) ResultPerformance ANOVA + Independent t -test Assumed Met SignificantBalance ANOVA + Independent t -test Assumed Met SignificantProprioception ANOVA + Independent t -test Assumed Met Not SignificantThe following provides a summary of the key statistical findings from the comparison between the two participant groups (e.g., the uninjured group versus the ACL injury-prone group) on various functional outcomes. Tables 1 and 2 summarize the results of the study.The following table details the descriptive statistics (Mean ± Standard Deviation) and inferential statistics (p-value) for the main outcome variables.Injury-free footballers demonstrated significantly better performance and balance capabilities when compared to players identified as ACL-

injury-prone ($p < 0.05$ for both variables). Conversely, no statistically significant between-group difference was observed for the proprioception outcomes ($p = 0.152$), suggesting that while deficits in dynamic functional tasks (performance and balance) may differentiate these groups, static joint awareness might be preserved across both populations.

Conclusion

This study compared performance, balance, and proprioception between ACL-prone and uninjured elite soccer players. Independent t-tests revealed statistically significant deficits in both performance ($P < 0.001$) and dynamic balance ($P < 0.001$) in the ACL-prone group compared to uninjured players, confirming our initial hypotheses and aligning with extensive literature emphasizing neuromuscular control deficits.Crucially, however, static proprioception, measured via the Joint Angle Reproduction Test at 45° flexion, showed no significant difference ($P = 0.152$). This suggests static proprioception may not be a strong isolated discriminator in this cohort, unlike dynamic performance indicators (Tuck Jump Test).We conclude that rehabilitation programs must prioritize interventions targeting dynamic movement mechanics and balance stability over static joint position sense alone. Future screening should focus on functional tests that reflect real-time movement demands to effectively mitigate ACL injury risk.Based on these conclusions, future research should rigorously examine the predictive validity of advanced dynamic proprioceptive assessments (e.g., utilizing force plates during reactive tasks) and investigate the efficacy of incorporating sensory conflict drills into training regimens to better challenge and adapt the central nervous system's dynamic control capabilities. Furthermore, investigating the neural pathways underpinning the observed performance gaps warrants further exploration

Key Words: Anterior Cruciate Ligament (ACL), Injury Susceptibility, Function, Balance, Proprioception

Article Message

Significant impairment in performance and balance are risk factors that distinguish soccer players prone to ACL injury from healthy individuals, while static proprioception alone is not able to differentiate between the two groups. Therefore, preventive interventions should focus on improving dynamic movement mechanics and active postural control.

Ethical Considerations

Add Ethical code and link Address, and any other ethical consideration here

Authors' Contributions

Conflict of Interest

According to the authors, this article has no conflict of interest.

Acknowledgments

We would like to express our gratitude to all those who directly and indirectly participated in this study and helped us to reach accurate scientific findings.

مطالعات طب ورزشی، پاییز ۱۴۰۵، دوره 18، شماره 49، صص ۷۶-۵۸. DOI: 10.22089/smj.2026.18973.1847

Sport Medicine Studies

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

مقاله پژوهشی

مقایسه عملکرد، تعادل و حس عمقی در فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی و بدون آسیب

محمد سیفی[۱]، امین عظیم خانی[۱]، صادق عباسیان[۲]، محمدرضا صداقت نیا[۱]

۱. گروه علوم ورزشی، دانشگاه بین‌المللی امام رضا (ع)، مشهد، ایران.

۲. گروه آموزش تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹ -۱۴۶۶۵، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۳ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۳ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

*نویسنده مسئول: **امین عظیم خانی**، ایمیل: E-mail:amin.azimkhani@imamreza.ac.

How To Cite: Seifi M., Azimkhani A., Abbasian S., Sedaghatnia M. Comparison of performance, balance and proprioception in footballers prone to anterior cruciate ligament injury and those without injury. Studies in Sport Medicine. 2026;18(49): 58-76. (In Persian). https://doi.org/10.22089/smj.2026.18973.1847

چکیده

هدف: هدف این پژوهش، مقایسه عملکرد، تعادل و حس عمقی بین دو گروه فوتبالیست شامل گروه مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی (ACL Prone) و گروه بدون آسیب بود تا فاکتورهای ریسک اصلی در آسیب‌پذیری شناسایی شوند.

مواد و روش‌ها: این مطالعه از نوع نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود و از لحاظ هدف در زمره پژوهش‌های کاربردی قرار داشت. جامعه آماری شامل فوتبالیست‌های ماهر استان خراسان رضوی بود که در مسابقات استانی شرکت داشتند و در شهرهای مشهد فعالیت می‌کردند. نمونه‌ها به صورت هدفمند و براساس سوابق ورزشی انتخاب شدند. درمجموع، ۸۰ ورزشکار در پژوهش شرکت کردند که ۴۰ نفر مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی و ۴۰ نفر بدون آسیب بودند. برای بررسی نرمال بودن توزیع متغیرها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. همگنی واریانس‌ها با آزمون لوین سنجیده شد. سپس برای مقایسه تفاوت گروه‌ها از آزمون تی مستقل و در صورت نیاز از آزمون آنووا استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که گروه بدون آسیب در هر دو مؤلفه عملکردی و تعادلی نمرات بهتری کسب کردند ($p<۰/۰۰۱$) که این امر با نقص‌های عصبی-عضلانی زیربنایی و الگوهای حرکتی نامناسب هنگام فرود همسوست. این یافته‌ها به طور قوی با مطالعات داخلی و خارجی مبنی بر اهمیت کنترل عصبی-عضلانی در پیشگیری از آسیب همخوانی دارد. نکته درخورتوجه، مشاهده نشدن تفاوت آماری معنادار در حس عمقی ایستا ($p=۰/۱۵۲$) بود.

نتیجه‌گیری: این نبود تفاوت، برخلاف برخی پیشینه‌های خارجی، احتمالاً به دلیل ماهیت ایستا بودن آزمون استفاده‌شده در مقایسه با تست‌های دینامیک بوده است؛ بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که نقص در عملکرد و تعادل دینامیک شاخص‌های متمایزکننده‌تری برای غربالگری ریسک ACL هستند و برنامه‌های پیشگیرانه باید بر اصلاح الگوهای حرکتی فعال تأکید کنند

واژگان کلیدی: لیگامنت متقاطع قدامی (ACL)، مستعد آسیب، عملکرد، تعادل، حس عمقی.

Copyright: © 2026 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 به‌عنوان محبوب‌ترین ورزش جهان، صنعتی گسترده است که به دلیل ماهیت پرتحرک و رقابتی، بازیکنان را همواره با چالش‌های جسمانی متعددی ازجمله آسیب‌های مفصلی مواجه می‌کند (۳-۱). آسیب لیگامنت متقاطع قدامی (ACL) یکی از شایع‌ترین و ناتوان‌کننده‌ترین آسیب‌های زانو در ورزشکاران، به‌ویژه در ورزش‌هایی با حرکات پرشی، فرود و تغییر جهت ناگهانی مانند فوتبال است. این رباط نقش اساسی در کنترل حرکت قدامی و چرخشی تیبیا نسبت به استخوان ران دارد و آسیب به آن منجر به بی‌ثباتی عملکردی مفصل زانو می‌شود (۸). آسیب به رباط صلیبی قدامی که منجر به نقص در ثبات غیرفعال مفصل و اختلال در عملکرد حس عمقی می‌شود، اتفاقی رایج در بین ورزشکاران جوان است (۹). اصطلاح «مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی» به ورزشکارانی گفته می‌شود که بدون داشتن پارگی آشکار ACL، به دلیل وجود نقص‌های عصبی–عضلانی، الگوهای حرکتی نامناسب یا ویژگی‌های عملکردی خاص، در معرض خطر بیشتری برای بروز این آسیب قرار دارند. همچنین آسیب لیگامنت متقاطع قدامی مرتبط با جنسیت، تفاوت‌های ساختاری، هورمون‌ها، ثبات مفصل و عوامل خارجی مانند الگوهای پرش و فرود است (۱۶). آسیب لیگامنت متقاطع قدامی منجر به ضعف عضلانی زانو، کمبود ثبات زانو و اختلال حس عمقی زانو، الگوی حرکتی غیرطبیعی و کاهش کیفیت زندگی می‌شود (۱۷). یکی از پیامدهای مهم آسیب یا نقص عملکردی لیگامنت متقاطع قدامی، اختلال در عملکرد اندام تحتانی است که می‌تواند توانایی اجرای مهارت‌های ورزشی را به طور درخورتوجهی کاهش دهد. اثرات مالی آسیب‌دیدگی در بازیکنان حرفه‌ای فوتبال هم بر ورزشکار و هم بر صنعت ورزش بسیار زیاد است. مشاهده می‌شود که فراوانی آسیب‌های رباط صلیبی قدامی هم در ورزشکاران حرفه‌ای و هم در افراد ورزشکار روز به روز در حال افزایش است. در این زمینه، بهبود سرعت بازگشت ورزشکاران به زندگی حرفه‌ای و جلوگیری از آسیب مجدد بسیار مهم است (۱۸).

آسیب‌های زانو مرتبط با ورزش مانند آسیب‌های رباط صلیبی قدامی مکرر و شدید هستند. هدف بازسازی لیگامنت متقاطع قدامی بازگرداندن بیماران به ورزش است (۱۹). به طور کلی، ناهنجاری‌های آناتومیک، ژنتیکی، هورمونی، شغلی و عصبی عضلانی از عوامل خطر آسیب‌های لیگامنت متقاطع قدامی هستند، اما عوامل تغییرپذیر دیگری شامل کنترل عصبی عضلانی نیز وجود دارد (۲۱). از سوی دیگر، آسیب لیگامنت متقاطع قدامی کنترل عصبی-عضلانی اندام تحتانی را کاهش می‌دهد (۲۲). افزایش مشارکت و افزایش خطر آسیب زانو به‌ویژه در بین زنان، منجر به افزایش درخورتوجهی در تعداد آسیب‌های لیگامنت متقاطع قدامی گزارش‌شده در این ورزش شده است (۲۳). آسیب‌های زانو در بین افرادی که در ورزش‌های تیمی مانند فوتبال شرکت می‌کنند، رایج است (۲۵). پرش و فرود شایع‌ترین مکانیسم آسیب غیرتماسی رباط صلیبی قدامی است. بیش از یک‌سوم آسیب‌های غیرتماسی لیگامنت متقاطع قدامی در فوتبال، اغلب پس از فرود از پرش روی می‌دهد (۲۴)؛ با این حال، تکنیک فرود پیچیده است و تحت‌تأثیر نقایص بیومکانیکی، عصبی-عضلانی و عصبی-شناختی است؛ بنابراین فرود سفت با حداقل فکسیون در تنه، لگن، زانو و مچ پا باعث اوج نیروی واکنش زمین و باعث افزایش خطر آسیب به لیگامنت متقاطع قدامی می‌شود.

حس عمقی، توانایی احساس محرک‌های ناشی از بدن، شامل ظرفیت حس موقعیت مفصل و حرکت مفصل است. حس عمقی به‌عنوان توانایی درک موقعیت و حرکت مفصل، نقش اساسی در پایداری عملکردی زانو و تنظیم پاسخ‌های عضلانی

هنگام فعالیت‌های ورزشی دارد (۱۰). گیرنده‌های مکانیکی عمقی، مانند انتهای رافینی، سلول‌های پاسینی، و اندام‌های تاندون گلژی، در لیگامنت متقاطع قدامی وجود دارند. تصور می‌شود که گیرنده‌های مکانیکی با تطبیق سریع، مانند سلول‌های پاسینین، واسطه احساس حرکت مفصل هستند؛ در حالی که تصور می‌شود گیرنده‌های مکانیکی، مانند انتهای رافینی و اندام‌های تاندون گلژی، واسطه احساس موقعیت مفصل هستند. در چندین مطالعه کاهش درخورتوجه آماری در توانایی حس عمقی در بیماران مبتلا به زانوهای کمبود لیگامنت متقاطع قدامی، مشاهده شده است (۱۱). اطلاعات حسی به‌دست‌آمده از حس عمقی و همچنین از سیستم دهلیزی و بینایی، به حفظ و کنترل وضعیت و تعادل در موقعیتی خاص یا در حین حرکت کمک می‌کند (۱۲)؛ بنابراین هر نوع اختلال در حس عمقی و همچنین در سیستم دهلیزی یا بینایی، ممکن است کنترل وضعیتی را مختل کند (۱۳)؛ با این حال، نتایج مطالعات پیشین درخصوص تفاوت حس عمقی بین ورزشکاران مستعد آسیب ACL و افراد بدون آسیب، به‌ویژه بسته به ایستا یا دینامیک بودن آزمون‌های استفاده‌شده، همچنان متناقض گزارش شده است.

تعادل، به‌ویژه تعادل دینامیک، یکی از مؤلفه‌های کلیدی کنترل عصبی–عضلانی است که نقش مهمی در پیشگیری از آسیب‌های غیرتماسی لیگامنت متقاطع قدامی ایفا می‌کند. دینامومتری ایزوکینتیک برای ارزیابی وضعیت فیزیکی، اثربخشی توانبخشی و عوامل خطر آسیب در ورزشکاران به ویژه بازیکنان فوتبال استفاده می‌شود؛ درنتیجه، به صورت دوطرفه یا یک‌طرفه، نبود تعادل عضلانی را می‌توان با استفاده از نسبت‌هایی تشخیص داد که به دست می‌آید. نسبت سنتی کمتر از ۶۰ درصد نشان‌دهنده ضعف همسترینگ نسبت به عضلات چهارسرران است که خطر آسیب همسترینگ و لیگامنت متقاطع قدامی را افزایش می‌دهد (۲۴).

در این راستا، صداقتی و همکاران این نتیجه رسیدند که همه مطالعات به نقش والگوس پویا در بروز آسیب‌های مفصل زانو به ویژه رباط صلیبی قدامی اشاره کرده‌اند؛ بنابراین شناسایی مکانیسم آسیب و اصلاح هم‌ترازی پویا والگوس در بین بازیکنان فوتبال ضروری به نظر می‌رسد (۱۴). گیلکریست و همکاران به این نتیجه درست یافتند که برنامه متمرکز بر کنترل عصبی-عضلانی، به نظر می‌رسد خطر آسیب‌های رباط صلیبی قدامی را در فوتبالیست‌های زن دانشگاهی، به‌ویژه آن‌هایی که سابقه آسیب رباط صلیبی قدامی دارند، کاهش می‌دهد (۱۵). روعنگتهونگ و همکاران به این نتیجه رسیدند که عملکرد عضلات زانو و حس عمقی زانو در محدوده پایانی باید برای توان‌بخشی لیگامنت متقاطع قدامی ازجمله پای درگیر در نظر گرفته شود. علاوه بر این، تست SLS به‌عنوان ابزاری برای تعیین توانایی بیماران برای بازگشت به سطح فعالیت قبلی مدنظر قرار می‌گیرد (۲۰). همچنین لورل و همکاران به این نتیجه دست یافتند که تمرین عصبی-عضلانی و حس عمقی آسیب زانو را به طور کلی و آسیب لیگامنت متقاطع قدامی را به طور خاص کاهش می‌دهد. تاریخ انتشار بعدی با مطالعات با کیفیت بالاتر و برآوردهای محافظه‌کارانه‌تر مرتبط بود. ازآنجاکه کیفیت مطالعه به طور کلی پایین بود، این داده‌ها نشان می‌دهد که مطالعات با کیفیت بالاتر باید برای تأیید اثربخشی پیشگیرانه چنین برنامه‌هایی اجرا شود. در این راستا، موتلو و همکاران به این نتیجه رسیدند که تاریخچه ورزشی تأثیری خاص بر کنترل پوسچر پویا دارد. تاریخچه ورزشی، جنسیت و تسلط اندام بر حس عمقی مفصل زانو تأثیر نمی‌گذارد که در یک زنجیره جنبشی باز با استفاده از تغییر موقعیت غیرفعال آزمایش شود. گلاره و همکاران به این نتیجه دست یافتند که تمرین الگوی حرکتی می‌تواند بر عضلات تأثیر بگذارد و اصلاح هم‌ترازی اندام تحتانی می‌تواند منجر به کنترل حرکاتی شود که باعث آسیب لیگامنت متقاطع قدامی می‌شود. همچنین با توجه به تأثیر این تمرینات بر بهبود تعادل، حس عمقی و عملکرد گروه تمرینی، پیشنهاد می‌شود از این تمرینات برای جلوگیری از آسیب لیگامنت متقاطع قدامی در آینده استفاده شود؛ با این

حال، هیچ تست استانداردی برای ارزیابی کنترل عصبی-عضلانی به دنبال بازسازی رباط متقاطع قدامی وجود ندارد، اما تست ایزوکنتیک برای ارزیابی عملکرد عصبی-عضلانی آسیب لیگامنت متقاطع قدامی مفید است. اوج گشتاور استاندارد طلایی در آزمون ایزوکینتیک است (لی و همکاران ۲۰۱۶). در این راستا، محمدی و همکاران به این نتیجه رسیدند که استفاده از تمرینات عصبی-عضلانی را می‌توان برای بهبود حس عمقی در نظر گرفت. مفاصل زانو، مفاصل مچ پا و درنهایت پیشگیری از آسیب رباط صلیبی قدامی توصیه می‌شود (۲۶). همچنین برزگر و همکاران به این نتیجه رسیدند که ارائه تمرینات عصبی-عضلانی به همراه تکایف دوگانه، احتمالاً می‌تواند به‌عنوان رویکردی مفید به بهبود عملکرد اندام تحتانی براساس آزمون تعادلی Y در ورزشکاران مبتلا به ناکارایی لیگامان صلیبی قدامی در نظر گرفته شود (۲۷).

با توجه به مطالب ذکرشده، پژوهش حاضر با هدف مقایسه عملکرد، تعادل و حس عمقی در فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی و فوتبالیست‌های بدون آسیب انجام شد. سؤال اصلی پژوهش این است که آیا بین عملکرد، تعادل و حس عمقی این دو گروه تفاوت معناداری وجود دارد؟

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح گروه‌های مقایسه‌ای بود که در آن ویژگی‌های عملکرد، تعادل و حس عمقی در دو گروه مستعد و غیرمستعد آسیب ACL به‌صورت مقطعی مقایسه شده است. جامعه آماری شامل فوتبالیست‌های ماهر استان خراسان رضوی بین ۱۸ تا ۳۵ سال بود که در مسابقات استانی شرکت داشتند و در شهر مشهد فعالیت می‌کردند. نمونه‌ها به صورت هدفمند و براساس سوابق ورزشی انتخاب شدند. حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور (نسخه ۳,۱,۹,۲) محاسبه شد. با در نظر گرفتن توان آزمون ۰/۸۰، سطح معناداری ۰/۰۵ و و اندازه اثر متوسط (۰/۵)، ۳۰ نفر برای هر گروه برآورد شد. به‌منظور افزایش قدرت آماری و پیشگیری از ریزش نمونه‌ها، این تعداد به ۴۰ نفر در هر گروه افزایش یافت. درمجموع، ۸۰ ورزشکار در پژوهش شرکت کردند که ۴۰ نفر مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی و ۴۰ نفر بدون آسیب بودند. حجم نمونه با توجه به مطالعات مشابه پیشین در حوزه آسیب ACL و توان آزمون آماری تعیین شد که حداقل ۳۰ نفر برای هر گروه پیشنهاد شده بود. با در نظر گرفتن احتمال ریزش نمونه، ۴۰ نفر در هر گروه انتخاب شد. معیارهای ورود شرکت‌کنندگان به پژوهش عبارت بودند از: تمایل داوطلب برای شرکت در پژوهش؛ سن بین ۱۷ تا ۳۵ سال؛ شاخص توده بدنی (BMI) بین ۲۵ تا ۳۰؛ حداقل شش ماه سابقه ورزشی مداوم و شرکت در مسابقات استانی؛ مبتلا نبودن به بیماری‌های خاص؛ مصرف نکردن داروها یا مکمل‌های خاص؛ مصرف نکردن مشروبات الکلی. علاوه بر این، سلامت ساختاری و نداشتن ناهنجاری‌های آناتومیکی شدید در اندام تحتانی (مانند زانوی پرانتزی یا ضربدری شدید که به صورت مستقیم بر مکانیک زانو اثر می‌گذارد)، توسط متخصص ارتوپدی یا فیزیوتراپیست بررسی و تأیید شد. افرادی که سابقه جراحی زانو، پارگی کامل ACL یا آسیب حاد اندام تحتانی در شش ماه گذشته داشتند، از مطالعه کنار گذاشته شدند. معیار خروج، حضور منظم نداشتن در تمرینات یا جلسات آزمون بود. پیش از آغاز آزمون، همه شرکت‌کنندگان فرم رضایت‌نامه آگاهانه را امضا و فرم اطلاعات فردی را تکمیل کردند. شرکت‌کنندگان از اهداف پژوهش، مراحل آزمون، محرمانه بودن اطلاعات و حق خروج در هر مرحله آگاه شدند و پژوهش مطابق با اصول اخلاق در پژوهش‌های انسانی انجام گرفت.

ارزیابی متغیرهای پژوهش شامل «عملکرد»، «تعادل» و «خطر آسیب ACL» با استفاده از آزمون پرش تاک انجام شد. ارزیابی پرش تاک براساس پروتکل استاندارد مایر و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد. این پروتکل شامل ۱۰ معیار حرکتی است که خطاهای تکنیک فرود را ارزیابی می‌کند. امتیازدهی براساس چک‌لیست معتبر این مطالعه صورت گرفت که به‌عنوان ابزاری روا و پایا برای شناسایی ریسک آسیب‌های غیرتماسی ACL شناخته شده است. این آزمون به‌عنوان ابزاری جامع برای سنجش نقص‌های عصبی–عضلانی استفاده شد و امتیازدهی آن براساس چک‌لیست استاندارد مایر و همکاران صورت پذیرفت. برای ثبت دقیق داده‌ها، دو دوربین فیلم‌برداری (۵۰ هرتز) در فاصله ۵ متری قرار گرفتند؛ دوربین اول در نمای فرونتال (روبه‌رو) در راستای مرکز ثقل بدن (سطح کمر) قرار گرفت تا پارامترهای تعادل و هم‌ترازی اندام تحتانی (مانند والگوس زانو و عدم تقارن اندام‌ها) را رصد کند؛ دوربین دوم در نمای ساجیتال (نیم‌رخ) دقیقاً در راستای مفصل زانو تنظیم شد تا الگوی پرش، میزان فلکشن زانو و کیفیت فرود را ثبت کند. امتیازدهی این آزمون به‌گونه‌ای طراحی شد که هر بخش از چک‌لیست، یک متغیر را پوشش دهد: ۱. امتیاز مربوط به «والگوس زانو» و «عدم تقارن اندام‌ها» به‌عنوان شاخص‌های مستقیم «تعادل دینامیک» و «نقص عصبی-عضلانی»؛ ۲. امتیاز مربوط به «افت کیفیت فرود» و «عدم هماهنگی تنه» به‌عنوان شاخص‌های «عملکرد عصبی-عضلانی»؛ ۳. امتیاز کلی ناشی از مجموع این خطاها به‌عنوان «شاخص خطر آسیب ACL» در نظر گرفته شد. در این سیستم امتیازدهی، هرچه مجموع خطاها بیشتر باشد، فرد در سطح پایین‌تری از عملکرد و تعادل قرار دارد و در رده‌بندی «مستعد آسیب ACL» با خطر بیشتر، قرار می‌گیرد.

برای سنجش حس عمقی زانو، آزمون بازسازی زاویه مفصلی در زاویه ۴۵ درجه فلکشن اجرا شد. آزمودنی‌ها روی صندلی دستگاه قرار گرفتند و تنه و اندام تحتانی به‌وسیله کمربند ثابت شد. این زاویه براساس پروتکل‌های متداول در مطالعات بیومکانیکی برای ارزیابی ریسک آسیب‌های ACL انتخاب شد (ناگای و همکاران، ۲۰۱۹). خطای مطلق به‌عنوان شاخص اصلی، نشان‌دهنده دقت حس عمقی است و براساس پژوهش‌های معتبر، ابزاری دقیق برای سنجش حس وضعیت مفصل در ورزشکاران است. پس از معرفی زاویه هدف توسط دستگاه، به آزمودنی‌ها پنج ثانیه فرصت داده شد تا زاویه را حس کنند. سپس از آن‌ها خواسته شد زاویه را بازسازی کنند و در نقطه حس‌شده، کلید ثبت را فشار دهند. این فرایند سه بار تکرار شد و میانگین خطای زاویه‌ای به‌عنوان نمره حس عمقی ثبت شد. خطای مطلق بین زاویه هدف و زاویه بازسازی‌شده به‌عنوان شاخص حس عمقی در نظر گرفته شد. خطای کمتر نشان‌دهنده حس عمقی بهتر بود.
پس از ثبت داده‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳، برای بررسی نرمال بودن توزیع متغیرها از آزمون شاپیرو–ویلک استفاده شد. همگنی واریانس‌ها با آزمون لوین سنجیده شد. در این پژوهش برای کنترل اثر متغیرهای مداخله‌گر (سن، BMI و سابقه ورزشی) از تحلیل کوواریانس چندمتغیره (مانکووا) استفاده شد. هدف اصلی این رویکرد، کنترل خطای نوع اول در مقایسه‌های هم‌زمان چندین متغیر وابسته بود. مقایسه‌های تکمیلی بین گروه‌ها نیز با استفاده از آزمون‌های تی مستقل و آنوا صورت گرفت؛ با این توضیح که این آزمون‌ها به‌منظور بررسی کلی تفاوت‌های بین‌گروهی به‌کار رفتند؛ در حالی که تحلیل اصلی با کنترل کوواریت‌ها از طریق مانکووا انجام شد. سطح معناداری آزمون‌ها P-value<۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

در جدول (۱) ویژگی‌های جمعیت‌شناختی نمونه پژوهش براساس قد، وزن، سابقه ورزشی و سن افراد گزارش شد.

جدول ۱- توصیف ویژگی‌های جمعیت‌شناختی نمونه پژوهش

Table 1- Description of demographic characteristics of the research sample

متغیر Variable	ویژگی Characteristic	فراوانی Frequency	درصد فروانی Frequency percentage
قد	160-170 سانتی متر	15	18
	171-180 سانتی متر	30	38
	181-190 سانتی متر	29	36
	بیشتر از 190 سانتی متر	6	6
	مجموع	**80**	**100**
وزن	کمتر از 60 کیلو گرم	10	12
	6-65 کلیوگرم	17	22
	66-70 کیلوگرم	22	28
	71-75 کیلوگرم	14	17
	76-80 کیلوگرم	10	12
	بیشتر از 80 کیلوگرم	7	9
	مجموع	**80**	**100**
سابقه ورزشی	1-3 سال	22	28
	4-6 سال	32	40
	7-9 سال	17	22
	10 سال و بیشتر	9	10
	مجموع	**80**	**100**
سن	کمتر از 20 سال	17	22
	20-25 سال	25	30
	26-30 سال	21	26
		17	22

بیشتر از 30 سال	**80**	**100**
مجموع		

ابتدا از طریق آزمون شاپیرو-ویلک، به بررسی نرمال بودن داده‌ها پرداخته شد که نتایج در جدول (۲) گزارش شده است.

جدول ۲- نتایج آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی طبیعی بودن توزیع متغیرهای وابسته تحقیق و آزمون لوین به‌منظور بررسی همگن بودن واریانس متغیرهای وابسته تحقیق

Table 2. Results of the Shapiro-Wilk test to examine the normality of the distribution of the dependent variables of the study and the Levene test to examine the homogeneity of variance of the dependent variables of the study

	فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی Footballers prone to anterior cruciate ligament injuries			فوتبالیست‌های بدون آسیب Injury-free footballers			آزمون لوین Levene's test	
آماره Statistic	آماره آزمون Test statistic	مقدار p p-value	طبیعی بودن Normality	آماره آزمون Test statistic	مقدار p p-value	طبیعی بودن Normality	آماره آزمون Test statistic	مقدار p p-value
عملکرد Function	0.66	0.17	✓	0.67	0.35	✓	0.85	0.45
تعادل Balance	0.69	0.31	✓	0.79	0.18	✓	0.50	0.14
حس عمقی Proximity	0.61	0.48	✓	0.81	0.31	✓	0.67	0.33

نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که سطح معناداری به‌دست‌آمده درمورد متغیر پژوهش، به تفکیک گروه‌های مستعد آسیب و بدون، بیشتر از ۰/۰۱ بود؛ لذا پیش‌فرض برقرار بود و اجرای آزمون‌های پارامتریک مجاز بود. نتایج آزمون لوین نشان داد که درمورد تمام متغیرهای پژوهش، سطح معناداری به‌دست‌آمده بیشتر از ۰/۰۵ بود؛ لذا پیش‌شرط همگنی واریانس‌ها برقرار بود (P-value<۰/۰۵).

در ادامه برای هر متغیر (سن، قد، وزن، BMI، سابقه ورزشی) آزمون تی مستقل انجام شد و مشخص شد که بین دو گروه از نظر شاخص‌های جمعیت‌شناختی (سن، قد، وزن و BMI) تفاوت معناداری وجود نداشت (p>۰/۰۵). این یافته نشان‌دهنده همگنی دو گروه در ابتدای مطالعه است. به علت اختصار در حجم مقاله، نتایج آزمون تی مستقل در جداول جداگانه گزارش نشد.

به‌منظور بررسی هم‌زمان تفاوت بین دو گروه فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی و فوتبالیست‌های بدون آسیب در متغیرهای عملکرد، تعادل و حس عمقی، از آزمون تحلیل کوواریانس چندمتغیره (مانکووا) استفاده شد. در این تحلیل، گروه به‌عنوان متغیر مستقل، عملکرد، تعادل و حس عمقی به‌عنوان متغیرهای وابسته و همچنین سن، شاخص توده بدنی و سابقه ورزشی به‌عنوان متغیرهای کنترل وارد مدل شدند. پیش‌فرض‌های نرمال بودن توزیع داده‌ها، همگنی واریانس‌ها، همگنی ماتریس‌های کوواریانس و نبود هم‌خطی شدید بین متغیرهای وابسته، پیش از اجرای آزمون بررسی شد. در صورت معناداری اثر چندمتغیره گروه، آزمون‌های تعقیبی تک‌متغیره برای هریک از متغیرهای وابسته انجام شد. سطح معناداری در تمام آزمون‌ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

جدول ۴- آزمون مانکووا برای فوتبالیست های مستعد آسیب و بدون آسیب عملکرد

Table 4- MANCOVA test for injury-prone and injury-free performance football players

اثر Effect	آماره Statistic	مقدار Value	F	df فرضیه Hypothesis df	df خطا Error df	مقدار p p-value	اندازه اثر جزئی Partial effect size
گروه Group	Pillai’s Trace	0.214	6.72	3	73	0.001	0.214
گروه Group	Wilks’ Lambda	0.786	8.51	3	73	0.001	0.262
گروه Group	Hotelling’s Trace	0.272	7.53	3	73	0.001	0.262
گروه Group	Roy’s Largest Root	0.281	7.81	3	73	0.001	0.209

نتایج آزمون چندمتغیره نشان داد که پس از کنترل سن، شاخص توده بدنی و سابقه ورزشی، اثر گروه بر ترکیب خطی متغیرهای عملکرد، تعادل و حس عمقی معنادار بود. این یافته نشان داد که بین دو گروه در مجموع متغیرهای وابسته تفاوت معناداری وجود داشت. در ادامه تغییرات درون‌گروهی دو گروه بررسی شد که در جدول (۵) نتایج آزمون تی مستقل برای عملکرد گزارش شده است.

جدول ۵- بررسی تفاوت بین نمرات عملکرد فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی با فوتبالیست‌های بدون آسیب

Table 5- Examining the difference between the performance scores of footballers prone to anterior cruciate ligament injury and footballers without injury

متغیر Variable	گروه‌ها Groups	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	P-value
عملکرد Function	مستعد آسیب Prone to injury	25.2	5.36	0.001
	بدون آسیب No injury	31.6	5.07	

براساس نتایج آزمون تی مستقل می‌توان گفت که بین نمرات عملکرد فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی با فوتبالیست‌های بدون آسیب تفاوت معناداری وجود داشت و وضعیت عملکرد فوتبالیست‌های بدون آسیب در وضعیت بهتری بود.

در ادامه آزمون آنووای یک‌طرفه برای مقایسه میانگین نمرات تعادل فوتبالبست های مستعد آسیب و بدون آسیب عملکرد انجام شد که نتایج آن در جدول (۶) گزارش شده است.

جدول ۶- نتایج آزمون آنووا برای فوتبالیست های مستعد آسیب و بدون آسیب تعادل

Table 6- Results of ANOVA test for injury-prone and injury-free balance footballs

تفاوت بین‌گروهی تعادل Difference between balance groups	df	F	P-value
مستعد آسیب Prone to injury	1	0.677	0.517
بدون آسیب No injury	1	6.024	0.007

براساس نتایج، تفاوت معناداری بین گروه‌ها از نظر نمرات تعادل وجود داشت؛ بنابراین بررسی تفاوت نمرات درون‌گروهی تعادل مستعد آسیب و بدون آسیب برای هر گروه به صورت مجزا انجام شد تا از تفاوت‌های بین گروهی متأثر نشود؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که بین نمرات تعادل فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی با فوتبالیست‌های

بدون آسیب تفاوت معناداری وجود داشت. در ادامه تغییرات درون‌گروهی دو گروه بررسی شد که نتایج آزمون تی مستقل برای تعادل در جدول (۷) گزارش شده است.

جدول ۷- بررسی تفاوت بین نمرات تعادل فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی با فوتبالیست‌های بدون آسیب

Table 7- Examining the difference between the balance scores of footballers prone to anterior cruciate ligament injury and footballers without injury

متغیر Variable	گروه‌ها Groups	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	P-value
تعادل Balance	مستعد آسیب Prone to injury	22.7	6.34	0.001
	بدون آسیب No injury	27.3	7.27	

براساس نتایج آزمون تی مستقل می‌توان گفت که بین نمرات تعادل فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی با فوتبالیست‌های بدون آسیب تفاوت معناداری وجود داشت و وضعیت تعادل فوتبالیست‌های بدون آسیب در وضعیت بهتری بود.

درنهایت، آزمون آنووای یک‌طرفه برای مقایسه میانگین نمرات حس عمقی فوتبالیست‌های مستعد آسیب و بدون آسیب عملکرد انجام شد که نتایج آن در جدول (۸) گزارش شده است.

جدول ۸- نتایج آزمون آنووا برای فوتبالیست های مستعد آسیب و بدون آسیب حس عمقی

Table 8- Results of ANOVA test for injury-prone and injury-free proprioceptive football players

تفاوت بین‌گروهی حس عمقی Differences between proprioceptive groups	df	F	p-value
مستعد آسیب Prone to injury	2	0.141	0.625
بدون آسیب No injury	2	0.125	0.711

براساس نتایج، تفاوت معناداری بین گروه‌ها از نظر نمرات حس عمقی وجود نداشت؛ بنابراین بررسی تفاوت نمرات درون‌گروهی حس عمقی مستعد آسیب و بدون آسیب برای هر گروه ضروری نیست؛ لذا می‌توان بیان کرد که بین نمرات

حس فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی با فوتبالیست‌های بدون آسیب تفاوت معناداری وجود نداشت. در ادامه تغییرات درون‌گروهی دو گروه بررسی شد که نتایج آزمون تی مستقل برای حس عمقی در جدول (۹) گزارش شد.

جدول ۹- بررسی تفاوت بین نمرات حس عمقی فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی با فوتبالیست‌های بدون آسیب

Table 9- Examining the difference between proprioception scores of footballers prone to anterior cruciate ligament injury and footballers without injury

متغیر Variable	گروه‌ها Groups	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation	P-value
حس عمقی Proximity	مستعد آسیب Prone to injury	25.9	4.43	0.152
	بدون آسیب No injury	27.5	4.71	

براساس نتایج آزمون تی مستقل می‌توان گفت که بین نمرات حس عمقی فوتبالیست‌های مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی با فوتبالیست‌های بدون آسیب تفاوت معناداری وجود نداشت.

بحث و نتیجه‌گیری

Click or tap here to enter text. این بخش به تحلیل و تفسیر یافته‌های به‌دست‌آمده از مقایسه عملکرد، تعادل و حس عمقی در دو گروه فوتبالیست مستعد آسیب لیگامنت متقاطع قدامی و گروه سالم (بدون آسیب) اختصاص دارد و تلاش شد تا نتایج با استناد به پیشینه‌های پژوهش، بحث و مقایسه شود.

نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که تفاوت معناداری در نمرات عملکرد بین گروه مستعد آسیب و گروه بدون آسیب وجود داشت (p<۰/۰۰۱)؛ به طوری که فوتبالیست‌های بدون آسیب (میانگین ۳۱,۶) در وضعیت عملکردی بهتری نسبت به گروه مستعد آسیب (میانگین ۲۵,۲) بودند. عملکرد ورزشی در فوتبال که شامل توانایی‌های انفجاری، چابکی و حفظ الگوهای حرکتی بهینه است، به طور مستقیم با سلامت ساختارهای عصبی-عضلانی مرتبط است. کاهش عملکرد در گروه مستعد آسیب، نشان‌دهنده نقص عملکردی عمومی است که احتمالاً ناشی از مکانیک حرکتی ضعیف‌تر، ناتوانی در تولید یا جذب نیرو به صورت مؤثر، یا اختلال در هماهنگی عصبی-عضلانی است که در بخش متدولوژی با استفاده از آزمون پرش تاک (TJA) سنجش شد این یافته با مطالعات نظری مانند نظری و همکاران (۲۰۲۳) همسوست که بر نقش تمرینات پلایومتریک و خاص در ارتقای عملکرد بازیکنان تأکید دارند. درواقع، نقص‌های زمینه‌ساز آسیب ACL، خود را در قالب عملکرد ضعیف‌تر در تست‌های عملکردی نشان می‌دهند. نتایج به‌دست‌آمده درخصوص تفاوت معنادار عملکرد، با یافته‌های پژوهش‌های داخلی و خارجی متعددی همخوانی دارد؛ به عنوان مثال، مایر و همکاران (۲۸) و هیوت و همکاران (۲۹) گزارش کردند که نقص‌های عملکردی در حرکات پرشی و فرود، از شاخص‌های اصلی افزایش خطر آسیب

ACL محسوب می‌شوند. از منظر تبیینی، عملکرد ضعیف‌تر در گروه مستعد آسیب را می‌توان ناشی از کاهش کنترل عصبی-عضلانی، الگوهای حرکتی ناکارآمد و ناتوانی در جذب مناسب نیروهای واکنشی زمین دانست؛ عواملی که به طور مستقیم در آزمون پرش تاک نمایان می‌شوند؛ بنابراین یافته حاضر نشان می‌دهد که نقص عملکردی نه‌تنها پیامد آسیب نیست، بلکه می‌تواند به‌عنوان یک عامل خطر پیش‌آسیبی در فوتبالیست‌ها تلقی شود.

در ادامه نتایج آزمون تی مستقل حاکی از تفاوت معنادار در نمرات تعادل بین دو گروه بود (p<۰/۰۰۱). گروه بدون آسیب (میانگین ۲۷,۳) برتری محسوسی در این مؤلفه نسبت به گروه مستعد آسیب (میانگین ۲۲,۷) از خود نشان داد. تعادل، چه ایستا و چه پویا، پیش‌نیاز اساسی برای کنترل پوسچر و جلوگیری از مکانیک‌های پرخطر مانند والگوس داینامیک زانو است. برتری گروه سالم در تعادل، به طور قوی نشان می‌دهد که نقص در سیستم کنترل وضعیت بدن عاملی اساسی در افزایش خطر آسیب است. این یافته به طور قوی با تحقیقات داخلی و خارجی زیادی همسوست. نتایج این پژوهش با یافته‌های گلاره الموتی و همکاران کاملاً مطابقت دارد، که اثربخشی تمرینات عصبی-عضلانی بر بهبود تعادل در جمعیت مستعد آسیب را گزارش کرده‌اند (۳۰). این همسویی تأکید می‌کند که سیستم‌های تعادلی در افراد مستعد آسیب، تحت‌تأثیر منفی قرار گرفته‌اند. این نتیجه از دیدگاه گیلکریست و همکاران که تمرکز بر کنترل عصبی-عضلانی را کلید کاهش آسیب می‌دانند، توجیه می‌شود (۳۱). نتایج این پژوهش در زمینه تعادل، با یافته‌های پژوهش‌هایی مانند پاترنو و همکاران (۳۲) و زازولاک و همکاران (۳۳) هم‌راستا است که گزارش کردند نقص در تعادل پویا، احتمال بروز مکانیک‌های پرخطر زانو را افزایش می‌دهد. علت تفاوت مشاهده‌شده در تعادل را می‌توان در ضعف سیستم کنترل پوسچر و ناتوانی در ادغام اطلاعات حسی–حرکتی جست‌وجو کرد؛ به‌ویژه در شرایطی که نیاز به تنظیم سریع وضعیت بدن وجود دارد. این یافته تأیید می‌کند که تعادل، به‌عنوان یک مؤلفه کلیدی عملکرد عصبی-عضلانی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تمایز فوتبالیست‌های مستعد آسیب از افراد سالم دارد.

درنهایت آزمون‌ها نشان دادند که تفاوت معناداری در نمرات حس عمقی (خطای بازسازی زاویه) بین گروه مستعد آسیب (میانگین ۲۵,۹) و گروه بدون آسیب (میانگین ۲۷,۵) مشاهده نشد (p=۰/۱۵۲). این یافته، یک نقطه تمرکز مهم و نسبتاً ناهمسو با انتظارات سنتی در حوزه پیشگیری از آسیب ACL است. در حالی که عملکرد و تعادل به وضوح در گروه مستعد آسیب ضعیف‌تر بود، نمره حس عمقی اندازه‌گیری‌شده در این مطالعه (براساس خطای بازسازی زاویه ۴۵ درجه) تفاوت آماری معناداری را نشان نداد. این نبود تفاوت می‌تواند به چندین عامل مرتبط باشد که در مقایسه با پیشینه خود را نشان می‌دهد: یافته حاضر با نتایج برخی مطالعات مانند رلف و همکاران همسوست که نشان دادند حس عمقی ایستا، در افراد بدون آسیب ساختاری زانو، توان تمایز زیادی بین گروه‌ها ندارد (۳۴). درمقابل، پژوهش‌هایی که تفاوت معنادار حس عمقی را گزارش کرده‌اند، اغلب از پروتکل‌های دینامیک یا شرایط بارگذاری‌شده استفاده کرده‌اند که حساسیت بیشتری به نقص‌های عملکردی دارند؛ بنابراین مشاهده نشدن تفاوت معنادار در این پژوهش را می‌توان ناشی از ماهیت ایستای آزمون، شرایط ایزوله اندازه‌گیری و فعال‌نبودن کامل مکانیسم‌های پیش‌بینی‌کننده عصبی-عضلانی دانست. ابتدا نوع پروتکل تست است. حس عمقی در این پژوهش تنها در شرایط ایستا و با تثبیت اندام در زاویه ۴۵ درجه سنجیده شد (ابزار اندازه‌گیری: خطای بازسازی زاویه). بسیاری از مطالعات پیشین (مانند محمدی و همکاران، ۱۳۹۷ و حیدری و همکاران، ۱۳۹۶) بر تأثیر تمرینات بر حس عمقی تأکید دارند؛ با این حال، حس عمقی در شرایط دینامیک و تحت فشار (مانند حین فرود پرش تاک که نقص آن در عملکرد مشاهده شد) ممکن است دچار اختلال باشد؛ در حالی که در شرایط ایزوله و ثابت، مکانیسم‌های جبرانی بدن توانسته‌اند تفاوت را بپوشانند. دومین مورد ناسازگاری با پیشینه‌ها است. این یافته با تأکید برخی پژوهش‌ها (مانند لورل و همکاران، ۲۰۱۵) که اثربخشی کلی تمرینات عصبی-عضلانی و حس عمقی را در کاهش آسیب تأیید می‌کنند، در تعارض نیست، اما نشان می‌دهد که حس عمقی ایستا به تنهایی نمی‌تواند شاخص

تفکیک‌کننده قوی بین دو گروه در این جمعیت باشد، برخلاف عملکرد و تعادل. درنهایت نتایج مطالعات خارجی مانند یافته‌های موتلو و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان داد که تاریخچه ورزشی بر کنترل پوسچر پویا تأثیر می‌گذارد، اما حس عمقی زانو در یک زنجیره حرکتی تحت‌تأثیر قرار نگرفته است. این امر نشان می‌دهد که حس عمقی ممکن است در برابر تغییرات عملکردی و تعادلی (که نیازمند واکنش سریع و پیش‌بینی‌کننده هستند) آسیب‌پذیرتر باشد تا در اندازه‌گیری‌های منفعل.

به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در میان مؤلفه‌های بررسی‌شده، عملکرد و تعادل بیشترین هم‌پوشانی را با یافته‌های پیشین و بیشترین قدرت تمایز بین فوتبالیست‌های مستعد آسیب و سالم دارند؛ در حالی که حس عمقی ایستا، مطابق با برخی مطالعات، شاخص حساس و تعیین‌کننده‌ای در این جمعیت محسوب نمی‌شود. این الگو بیانگر آن است که نقص‌های عصبی-عضلانی در درجه نخست در وظایف دینامیک و عملکردمحور بروز می‌کنند، نه در ارزیابی‌های منفعل و ایستا. براساس یافته‌های تحقیق حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت عملکرد و تعادل فوتبالیست‌های مستعد آسیب ACL به طور معناداری ضعیف‌تر از همتایان سالم آن‌ها است که این موضوع با تأیید فرضیه‌های اول و دوم همراه است و با مطالعات داخلی (نظیر گلاره الموتی و همکاران، ۲۰۲۰ و باباگل و همکاران، ۲۰۲۳) در زمینه اهمیت مکانیک حرکتی و تعادل در پیشگیری از آسیب، هم‌پوشانی کامل دارد. نکته کلیدی این پژوهش، نبود تفاوت معنادار در حس عمقی ایستا است. این موضوع نشان می‌دهد که برای غربالگری دقیق‌تر، ارزیابی باید بر شاخص‌های دینامیک متمرکز شود؛ شاخص‌هایی که به طور مستقیم نقص‌های حرکتی در حین اجرای وظایف پیچیده (مانند فرود پرش تاک) را منعکس می‌کنند، نه صرفاً توانایی حفظ وضعیت در شرایط ایزوله.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که برنامه‌های توان‌بخشی باید به طور خاص برای فوتبالیست‌های مستعد آسیب طراحی شوند. این برنامه‌ها می‌توانند شامل تمرینات تقویتی برای تقویت عضلات اطراف زانو، تمرینات تعادلی برای بهبود ثبات و تمرینات حرکتی برای بهبود هماهنگی و دامنه حرکتی باشند. استفاده از تمرینات خاص مانند تمرینات پلنک، تمرینات با توپ‌های تعادلی و تمرینات قدرتی با وزنه می‌تواند به بهبود وضعیت فیزیکی بازیکنان کمک کند. برگزاری کارگاه‌ها شامل برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای مربیان و بازیکنان می‌تواند به آن‌ها کمک کند تا خطرات آسیب‌های ورزشی را بهتر درک کنند و روش‌های پیشگیری از آن‌ها را یاد بگیرند. توسعه مواد آموزشی شامل تولید بروشورها، ویدیوها و محتوای دیجیتال آموزشی کمک می‌کند که به صورت جذاب و قابل‌فهم، اطلاعات لازم ارائه شود. استفاده از ارزیابی‌های دوره‌ای شامل برگزاری ارزیابی‌های دوره‌ای برای اندازه‌گیری پیشرفت در عملکرد و تعادل بازیکنان توصیه می‌شود. این ارزیابی‌ها می‌توانند شامل تست‌های عملکردی و تعادلی باشند. ایجاد سیستم‌های بازخورد شامل استفاده از نرم‌افزارهای تحلیلی برای ثبت و تحلیل داده‌ها به‌منظور ارائه بازخورد مستمر به بازیکنان و مربیان پیشنهاد می‌شود. استفاده از تکنولوژی‌های نوین شامل استفاده از حسگرهای حرکتی، دوربین‌های D۳ و نرم‌افزارهای تحلیل حرکتی می‌تواند به ارزیابی دقیق‌تر عملکرد و تعادل کمک کند. ایجاد محیط‌های تمرینی پیشرفته شامل فراهم کردن امکانات و تجهیزات مدرن برای تمرینات، مانند سطوح مختلف برای تمرین تعادل توصیه می‌شود. شناسایی عوامل تأثیرگذار شامل بررسی عواملی مانند سن، جنسیت، سابقه آسیب، نوع تمرینات و حتی سبک زندگی، می‌توانند بر عملکرد و تعادل تأثیر بگذارند.

بر این اساس، پیشنهادهای کاربردی زیر می‌تواند راهگشا باشد:

۱. برنامه‌های پیشگیری از آسیب ACL باید در درجه اول بر بهبود مکانیک فرود (عملکرد) و افزایش ثبات وضعیتی (تعادل پویا) متمرکز باشند.

۲. از آزمون‌های دینامیک که الگوهای حرکتی پیچیده را شبیه‌سازی می‌کنند (مانند TJA)، به‌عنوان ابزارهای اصلی غربالگری استفاده شود.
۳. تحقیقات آتی باید حس عمقی را تحت شرایط بارهای وزنی و فعالیت‌های دوگانه شناختی و همچنین در فاز بازگشت به ورزش پس از آسیب، بررسی مجدد کنند تا مشخص شود آیا این نقص تنها در شرایط ایستا پنهان می‌ماند یا خیر.

پیام مقاله

ضعف معنادار در عملکرد و تعادل، ریسک‌فاکتورهای تفکیک‌کننده فوتبالیست‌های مستعد آسیب ACL از افراد سالم هستند؛ در حالی که حس عمقی ایستا به‌تنهایی توانایی تمایز این دو گروه را ندارد؛ بنابراین مداخلات پیشگیرانه باید بر اصلاح مکانیک حرکتی دینامیک و کنترل وضعیتی فعال متمرکز شوند.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش براساس ملاحظات اخلاقی انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در انجام این پژوهش مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از تمامی افرادی که در این پژوهش به طور مستقیم و غیرمستقیم مشارکت داشتند و ما را در رسیدن به یافته‌های علمی دقیق یاری کردند، تشکر و قدردانی فراوان می‌کنیم.

منابع

1. García-Pastor J, Alvear-Ordenes I, Arias-Giráldez D, Reguera-García MM, Alonso-Cortés B. Comparison of the agonist/antagonist tensional balance of the knee between two isokinetic positions: a pilot study on a sample of high-level competitive soccer players. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(9):5397. https://doi.org/10.3390/ijerph19095397
2. Milanović Z, Pantelić S, Čović N, Sporiš G, Krustrup P. Is recreational soccer effective for improving $\dot{V}O_2max$? A systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2015;45(9):1339-53. https://doi.org/10.1007/s40279-015-0361-4.
3. Bakker R, Tomescu S, Brenneman E, Hangalur G, Laing A, Chandrashekar N. Effect of sagittal plane mechanics on ACL strain during jump landing. J Orthop Res. 2016;34(9):1636-44. https://doi.org/10.1002/jor.23164
4. Fédération Internationale de Football Association (FIFA). FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football [Internet]. 2008 [cited 2026 Oct 17]. Available from: http://www.fifa.com/mm/document/fifafacts/bcoffsurv/bigcount.statspackage_7024.pdf

5. Abdullah MR, Musa RM, Maliki ABHM, Suppiah PK, Kosni NA. Relationship of physical characteristics, mastery and readiness to perform with position of elite soccer players. Int J Adv Eng Appl Sci. 2016;1(1):8-11.
6. Truong LK, Mosewich AD, Holt CJ, Le CY, Miciak M, Whittaker JL. Psychological, social and contextual factors across recovery stages following a sport-related knee injury: a scoping review. Br J Sports Med. 2020;54(19):1149-56. https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101206
7. 2. Allen MK, Glasoe WM. Metrecom measurement of navicular drop in subjects with anterior cruciate ligament injury. J Athl Train. 2000;35(4):403-6.
8. Lustosa LP, Ocarino JM, de Andrade MAP, Pertence AEM, Bittencourt NFN, Fonseca ST. Muscle co-contraction after anterior cruciate ligament reconstruction: Influence of functional level. J Electromyogr Kinesiol. 2011;21(6):1050-5. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.09.001
9. Dye SF, Cannon WD Jr. Anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. Clin Sports Med. 1988;7(4):715-25. https://doi.org/10.1016/S0278-5919(20)30880-2
10. Reider B, Arcand MA, Diehl LH, Mroczek K, Abulencia A, Stroud CC, et al. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy. 2003;19(1):2-12. https://doi.org/10.1053/jars.2003.50006
11. Roberts D, Fridén T, Stomberg A, Lindstrand A, Moritz U. Bilateral proprioceptive defects in patients with a unilateral anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between patients and healthy individuals. J Orthop Res. 2000;18(4):565-71. https://doi.org/10.1002/jor.1100180408
12. Latash ML, Levin MF, Scholz JP, Schöner G. Motor control theories and their applications. Medicina (Kaunas). 2010;46(6):382-92. https://doi.org/10.3390/medicina46060054
13. Madhavan S, Shields RK. Neuromuscular responses in individuals with anterior cruciate ligament repair. Clin Neurophysiol. 2011;122(5):997-1004. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.09.002
14. Sedaghati P, Mohammadi S, Fadaei Dehcheshmeh M. Study of dynamic knee valgus in male soccer players: a review article. J Sport Biomech. 2022;7(4):238-49. https://doi.org/10.32598/biomechanics.7.4.316.1.
15. Gilchrist J, Mandelbaum BR, Melancon H, Ryan GW, Silvers HJ, Griffin LY, et al. A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. Am J Sports Med. 2008;36(8):1476-83. https://doi.org/10.1177/0363546508318188
16. Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. J Athl Train. 2008;43(4):396-408. https://doi.org/10.4085/1062-6050-43.4.396
17. Muaidi QI, Nicholson LL, Refshauge KM, Adams RD, Roe JP. Effect of anterior cruciate ligament injury and reconstruction on proprioceptive acuity of knee rotation in the transverse plane. Am J Sports Med. 2009;37(8):1618-26. https://doi.org/10.1177/0363546509332429
18. Witchalls J, Blanch P, Waddington G, Adams R. Intrinsic functional deficits associated with increased risk of ankle injuries: a systematic review with meta-analysis. Br J Sports Med. 2012;46(7):515-23. https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090137
19. Oberhofer K, Hosseini Nasab SH, Schütz P, Postolka B, Snedeker JG, Taylor WR, et al. The influence of muscle-tendon forces on ACL loading during jump landing: a systematic review. Muscles Ligaments Tendons J. 2017;7(1):125-35. https://doi.org/10.11138/mltj/2017.7.1.125
20. Rueangthong C, Kanjanomai S. Comparison of lower extremity muscular performance and proprioceptive after anterior cruciate ligament reconstruction [dissertation]. Thammasat University; 2018.
21. Laible C, Sherman OH. Risk factors and prevention strategies of non-contact anterior cruciate ligament injuries. Bull Hosp Jt Dis (2013). 2014;72(1):70-5
22. Akbari A, Ghiasi F, Mir M, Hosseinifar M. The effects of balance training on static and dynamic postural stability indices after acute ACL reconstruction. Glob J Health Sci. 2015;8(4):68-81. https://doi.org/10.5539/gjhs.v8n4p68

23. Faunø P, Jakobsen BW. Mechanism of anterior cruciate ligament injuries in soccer. Int J Sports Med. 2006;27(1):75-9. https://doi.org/10.1055/s-2005-837485
24. Giesche F, Wilke J, Engeroff T, Niederer D, Hohmann H, Vogt L, et al. Are biomechanical stability deficits during unplanned single-leg landings related to specific markers of cognitive function? J Sci Med Sport. 2020;23(1):82-8. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.09.003.
25. Junge A, Dvorak J. Injury risk of playing football in Futsal World Cups. Br J Sports Med. 2010;44(15):1089-92. https://doi.org/10.1136/bjsm.2010.076752.
26. Mohammadi Deh Cheshmeh R, Shojaedin S, Abbasi A. Investigating the effect of neuromuscular training on the proprioception of knee and ankle joints in male soccer player students prone to anterior cruciate ligament injury in Khorazmi University, Tehran, 2018. J Ilam Univ Med Sci. 2023;31(4):22-35
27. Barzegar M, Hadadnezhad M, Shojaedin S, Letafatkar A, Fouladi R. Comparison of the effect of 8-week neuromuscular exercises with and without cognitive-dual tasks on proprioception and balance of athletes with anterior cruciate ligament deficiency. Res Sport Med Technol. 2023;21(26):141-58. https://doi.org/10.61186/jsmt.21.26.141
28. Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Tuck jump assessment for reducing anterior cruciate ligament injury risk. Athl Ther Today. 2008;13(5):39-44. https://doi.org/10.1123/att.13.5.39.
29. Pappas E, Shiyko MP, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Biomechanical deficit profiles associated with ACL injury risk in female athletes. Med Sci Sports Exerc. 2016;48(1):107-13. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000750
30. Gilchrist J, Mandelbaum BR, Melancon H, Ryan GW, Silvers HJ, Griffin LY, et al. A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. Am J Sports Med. 2008;36(8):1476-83. https://doi.org/10.1177/0363546508318188
31. Alamouti G, Letafatkar A, Hadadnezhad M, Alizadeh R. Effect of an online cognitive-motor control training program on pain and its related psychological factors in people with non-specific chronic low back pain: a randomized clinical trial. Sci J Rehabil Med. 2023;12(4):730-45. https://doi.org/10.32598/sjrm.12.4.10
32. 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
33. Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. Am J Sports Med. 2007;35(7):1123-30. https://doi.org/10.1177/0363546507301585
34. Relph N, Herrington L, Tyson S. The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis. Physiotherapy. 2014;100(3):187-95. https://doi.org/10.1016/j.physio.2013.11.002