Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

May & June 2026. Volume 15. Num 2

Research Paper

Reliability of a Multimodal Test Battery for Anterior Cruciate Ligament Injury-Risk Screening in Soccer Players

***Himan Ebrahimi[1], Ali Asghar Norasteh[2], Hassan Daneshmandi[1], Ali Sharifnezhad[3], Mostafa Zarei[4]**

1. Department of Sports Injury and Corrective Exercise, Faculty of Physical Education & Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
2. Department of Physiotherapy, Faculty of Medicine, Guilan University of Medical Sciences, Rasht, Iran.
3. Department of Sport Biomechanics, Sport Science Research Institute, Tehran, Iran.
4. Sport Rehabilitation and Health Department, Faculty of Sports Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Ebrahimi H, Norasteh AA, Daneshmandi H, Sharifnezhad A, Zarei M. [Reliability of a Multimodal Test Battery for Anterior Cruciate Ligament Injury-Risk Screening in Soccer Players (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2026; 15(2):252-269. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.2.3434

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.2.3434

ABSTRACT

Background and Aims Anterior cruciate ligament (ACL) injury risk in soccer players is associated with abnormal landing and cutting mechanics; however, most screening tools assess single tasks or isolated devices. This study quantified the inter-rater and test-retest reliability of a synchronized multimodal test battery integrating 3-dimensional motion capture, force plates, surface electromyography (sEMG), and isokinetic dynamometry across 6 functional assessments (drop vertical jump, change of direction, landing error scoring system, tuck jump, single-leg squat, star excursion balance test) in male soccer players.

Methods A total of 35 male soccer players completed two identical testing sessions separated by 72 h under standardized conditions. Inter-rater reliability was calculated using the intraclass correlation (ICC) (2,1), and test-retest reliability using ICC(3,1). Absolute measurement error was quantified using the standard error of measurement (SEM) and the minimum detectable change at 95% confidence (MDC95).

Results Inter-rater reproducibility was highest for motion capture (median ICC=0.94) and isokinetic dynamometry (0.91), but acceptable for force plates (0.87) and sEMG (0.82). Test-retest reliability was strongest for isokinetic measures (ICC=0.88), moderate for motion capture (0.77) and sEMG (0.78); however, force plates demonstrated the lowest reproducibility (0.48). Landing-based tasks exhibited lower MDC95 values (13%-15%) than multidirectional and plyometric tasks (exceeding 20%-30%).

Conclusion These results established device- and task-specific thresholds for interpreting significant neuromechanical change and supported the application of synchronized multimodal screening as a measurement foundation for preseason assessment, longitudinal monitoring, and return-to-play decision-making in soccer players.

Keywords Reliability, Anterior cruciate ligament, Soccer, Biomechanics, Functional performance

Received: 14 Dec 2025
Accepted: 30 Dec 2025
Available Online: 22 May 2026

**** Corresponding Author:***
Himan Ebrahimi
Address: Department of Sports Injury and Corrective Exercise, Faculty of Physical Education & Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
Tel: +98 (919) 9512844
E-Mail: ebrahimihiman@phd.guilan.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 4-0: 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.

Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

Extended Abstract

Introduction

Anterior cruciate ligament (ACL) injuries in soccer are predominantly non-contact events arising during high-risk movements, such as landing, cutting, and rapid deceleration. These injuries carry substantial consequences, including prolonged absence from sport, elevated reinjury risk, and long-term joint degeneration. Because ACL injury risk is multifactorial, involving kinematic, kinetic, neuromuscular, and strength-related mechanisms, screening strategies based on single tasks or isolated devices provide an incomplete assessment of movement control. Synchronized multimodal testing allows simultaneous evaluation of complementary neuromechanical domains, offering a more comprehensive representation of ACL-relevant movement patterns. However, before such data can be used for screening, longitudinal monitoring, or return-to-play decision-making, their reproducibility must be established. Evidence regarding the inter-rater and test-retest reliability of fully synchronized multimodal test batteries in soccer players remains limited, particularly with respect to absolute reliability indices such as the standard error of measurement (SEM) and minimum detectable change (MDC95). Therefore, this study aimed to quantify both relative and absolute reliability of a synchronized six-test functional battery integrating three-dimensional motion capture, force plates, surface electromyography (sEMG), and isokinetic dynamometry in male soccer players.

Methods

A total of 35 healthy male soccer players who met the predefined inclusion and exclusion criteria participated in this study. All participants completed two identical laboratory testing sessions separated by 72 hours under strictly standardized conditions. The functional battery comprised 6 ACL-relevant tasks: drop vertical jump (DVJ), change of direction (COD), landing error Scoring system (less), tuck jump (TJ), single-leg squat (SLS), and star excursion balance test (SEBT). Three valid trials per task were collected and averaged. Kinematic data were recorded using a 10-camera optical motion-capture system, ground-reaction forces using embedded force plates, neuromuscular activity using wireless sEMG, and strength outcomes using isokinetic dynamometry. All devices were synchronized at the hardware level. Two trained raters independently processed all session-1 datasets to assess inter-rater reliability, while test-retest reliability was evaluated by comparing outcomes across sessions processed by the same rater. Relative reliability was quantified using intraclass correlation coefficient (ICC) [1, 2] for inter-rater agreement and ICC [1, 3] for test-retest stability. Absolute reliability was assessed using SEM and MDC95, expressed in both raw and percentage units. Reliability was summarized at the device and task levels using mean and interquartile ranges, following recommendations.

Results

Inter-rater reliability was predominantly good to excellent across all measurement modalities. Motion capture demonstrated the highest agreement (ICC=0.94), followed by isokinetic dynamometry (0.91), force plates (0.87), and sEMG (0.82). Test-retest reliability showed greater variability between devices. Isokinetic measures exhibited the highest stability (ICC=0.88), motion capture and sEMG demonstrated moderate reproducibility (0.77–0.78), and force-plate variables showed the lowest stability (0.48). At the task level, inter-rater ICCs were consistently high across all 6 tests (ICC≈0.85). Test-retest reliability was highest for landing-based tasks (DVJ, LESS, SEBT; ICC≈0.79–0.80) and lower for multidirectional and highly plyometric tasks (COD, SLS, TJ). Absolute reliability indices refined interpretation of ICC findings. Landing-based tasks exhibited the lowest MDC95 values (approximately 13%–15%), whereas COD, SLS, and particularly TJ required larger changes (>16%–19%, up to >70% in extreme cases) to exceed measurement error. sEMG variables showed the widest absolute error margins, while motion capture and force-plate measures demonstrated smaller SEM and MDC95 values.

Conclusion

This study establishes device- and task-specific reliability benchmarks for a synchronized multimodal ACL injury-risk screening battery in male soccer players. Motion capture and isokinetic dynamometry demonstrated the most robust measurement properties, while landing-based tasks showed superior reproducibility compared with multidirectional and plyometric assessments. Absolute reliability thresholds indicate that subtle longitudinal neuromechanical changes can be detected most reliably using kinematic and landing-task outcomes, whereas sEMG and highly dynamic tasks require larger changes to reflect true physiological adaptation. These findings provide a measurement-science foundation for preseason screening, longitudinal monitoring, and return-to-play decision-making, and support future integration of synchronized multimodal data into fatigue-based monitoring and prospective injury-risk modelling.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this article. The ethical principles observed in the article included obtaining the informed consent of the participants, the confidentiality of information, and the permission of the participants to cancel their participation in the research. This study was approved by the Research Ethics Committee of the Sport Sciences Research Institute (Code: SSRI.REC-2311-2550).

Funding

This article was extracted from PhD thesis of Himan Ebrahimi at Department of Sports Injury and Corrective Exercise, Faculty of Physical Education & Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the participants for their cooperation in this study.

مقاله پژوهشی

پایایی مجموعه آزمون‌های عملکردی برای غربالگری خطر آسیب رباط صلیبی قدامی در بازیکنان فوتبال

*هیمن ابراهیمی[۱]، علی اصغر نورسته[۲]، حسن دانشمندی[۱]، علی شریف نژاد[۳]، مصطفی زارعی[۴]

۱. گروه آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
۲. گروه فیزیوتراپی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران.
۳. گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشگاه علوم ورزشی، تهران، ایران.
۴. گروه توانبخشی و سلامت، دانشکده علوم ورزشی دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Ebrahimi H, Norasteh AA, Daneshmandi H, Sharifnezhad A, Zarei M. [Reliability of a Multimodal Test Battery for Anterior Cruciate Ligament Injury-Risk Screening in Soccer Players (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2026; 15(2):252-269. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.2.3434

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.15.2.3434

چکیده

مقدمه و اهداف خطر وقوع آسیب رباط صلیبی قدامی در بازیکنان فوتبال با الگوهای غیرطبیعی حین حرکات پرش‌فرود و تغییر جهت‌های ناگهانی بسیار زیاد است؛ بااین‌حال در بسیاری از مطالعات گذشته، پایایی آزمون‌های غربالگری به‌صورت تک‌آزمون و یا با استفاده از ابزارهای مجزا اندازه‌گیری شده‌اند. به همین دلیل هدف این مطالعه، تعیین پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر در قالب یک مجموعه آزمون عملکردی (پرش عمودی از ارتفاع، دویدن همراه با تغییر جهت ناگهانی، سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود، پرش تاک، اسکات تک‌پا و تعادل ستاره) و هم‌زمان‌سازی‌شده، به‌وسیله دستگاه‌های آنالیز حرکت، صفحه نیرو، الکترومایوگرافی سطحی و ایزوکینتیک در بازیکنان فوتبال است.

مواد و روش‌ها ۳۵ بازیکن فوتبال مرد، ۶ آزمون عملکردی را در ۲ جلسه جداگانه، با فاصله ۷۲ ساعت و تحت شرایط یکسان و استاندارد انجام دادند. پایایی بین‌آزمونگر با استفاده از ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای (۲/۱) و پایایی درون‌آزمونگر با استفاده از ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای (۳/۱) محاسبه شد. خطای مطلق اندازه‌گیری با استفاده از خطای استاندارد اندازه‌گیری و میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص (MDC95) در سطح اطمینان ۹۵ درصد کمی‌سازی شد.

یافته‌ها بیشترین تکرارپذیری در پایایی بین‌آزمونگر مربوط به دستگاه‌های آنالیز حرکت (ICC=۰/۹۴) و ایزوکینتیک (۰/۹۱) بود و پایایی قابل‌قبولی برای دستگاه‌های صفحه نیرو (۰/۸۷) و الکترومیوگرافی (۰/۸۲) مشاهده شد. همچنین پایایی درون‌آزمونگر برای متغیرهای ایزوکینتیک (ICC=۰/۸۸) بیشترین مقدار و برای دستگاه‌های آنالیز حرکت (۰/۷۷) و الکترومیوگرافی (۰/۷۸) در حد متوسط بود، اما صفحه نیرو (۰/۴۸) کمترین تکرارپذیری را در بین دستگاه‌ها نشان داد. آزمون‌های عملکردی مبتنی بر پرش‌فرود، مقادیر MDC95 کمتری (حدود ۱۳ تا ۱۵ درصد) نسبت به آزمون‌های چندجهتی و پلیومتریک نشان دادند (بیش از ۲۰ تا ۳۰ درصد).

نتیجه‌گیری یافته‌های این مطالعه آستانه‌های تکرارپذیری برای ابزارها و آزمون‌های عملکردی، جهت تفسیر تغییرات نورومکانیکی پیشنهاد می‌کند و همچنین کاربرد مجموعه آزمون‌های عملکردی چندحالته برای غربالگری و ارزیابی پیش از فصل، پایش طولی داخل فصل و بازگشت به ورزش بعد از آسیب در بازیکنان فوتبال را ارائه می‌دهد.

کلیدواژه‌ها پایایی، رباط صلیبی قدامی، فوتبال، بیومکانیک، تست‌های عملکردی

تاریخ دریافت: ۲۳ آذر ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۰۹ دی ۱۴۰۴
تاریخ انتشار: ۰۱ خرداد ۱۴۰۵

* **نویسنده مسئول:**
هیمن ابراهیمی
نشانی: رشت، دانشگاه گیلان،دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه آسیب شناسی و حرکات اصلاحی.
تلفن: ۹۵۱۲۸۴۴ (۹۱۹) ۹۸+
رایانامه: Ebrahimihiman@phd.guilan.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 4-0: 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

پارگی رباط صلیبی قدامی[1] یک آسیب جدی و تهدیدکننده در زندگی حرفه‌ای بازیکنان فوتبال محسوب می‌شود و حدود ۰/۰۶ تا ۰/۰۹ مورد به ازای هر ۱۰۰۰ ساعت فعالیت گزارش شده است [۱، ۲]. بیش از ۷۰ درصد آسیب‌های رباط صلیبی قدامی از نوع آسیب‌های غیربرخوردی[2] هستند که حین کاهش سرعت‌های ناگهانی، فرودهای نامناسب یا تغییر جهت‌های ناگهانی که موجب اضافه‌بار[3] بسیار زیادی بر مجموعه رباط‌های زانو می‌شوند، رخ می‌دهند [۳]. پیامدهای این آسیب شامل غیبت طولانی‌مدت از میادین ورزشی، افزایش خطر آسیب‌دیدگی مجدد و بروز زودهنگام استئوآرتریت، حتی پس از جراحی بازسازی رباط است [۱، ۴-۶]. به‌صورت کلی نیز با افزایش تعداد و فشردگی مسابقات، میزان بروز آسیب رباط صلیبی قدامی همچنان روندی رو به افزایش دارد [۱].

آسیب رباط صلیبی قدامی ماهیتی چندعاملی دارد و دربرگیرنده عوامل بیومکانیکی، عصبی‌عضلانی، آناتومیکی و هورمونی است [۷]. نقص در کنترل عصبی‌عضلانی حین حرکات پرخطر به‌عنوان یک عامل کلیدی قابل‌تعدیل شناخته می‌شود که شامل الگوهای بارگذاری ناقص بر روی مفصل زانو، عدم تعادل قدرت و تغییر در الگوی فعال‌سازی سیستم عصبی‌عضلانی است [۸، ۹]. شناسایی بازیکنان در معرض خطر، برای سلامت جسمانی ورزشکاران و عملکرد ورزشی آن‌ها امری ضروری است [۱۰، ۱۱]؛ بنابراین غربالگری پایا از اهمیت حیاتی برخوردار است؛ زیرا برنامه‌های پیشگیری تنها زمانی معنادار خواهند بود که تغییرات مشاهده‌شده فراتر از خطای اندازه‌گیری و منعکس‌کننده سازگاری‌های فیزیولوژیکی واقعی باشند [۱۲]. بااین‌حال پیش‌نیاز استفاده معتبر از ابزارهای غربالگری، اطمینان از پایایی اندازه‌گیری آن‌ها در شرایط استاندارد است؛ زیرا بدون پایایی کافی، تمایز بین تغییرات واقعی کنترل عصبی‌عضلانی و نوسانات ناشی از خطای اندازه‌گیری امکان‌پذیر نخواهد بود [۱۳-۱۵].

رویکردهای رایج در غربالگری، مبتنی بر آزمون‌های جداگانه، همانند پرش عمودی از ارتفاع، پرش تاک، یا آزمون‌های ایزوکینتیکی هستند [۷، ۱۶]. اگرچه این آزمون‌ها اطلاعات ارزشمندی را در مطالعات مختلف فراهم می‌کنند، اما قادر به ارائه کامل روابط پیچیده متغیرهای نورومکانیکی نبوده و معمولاً عوامل خطر را به‌صورت مجزا، نه در قالب تأثیرات ترکیبی، ارزیابی می‌کنند. ازآنجاکه نقص در کنترل عصبی‌عضلانی ماهیتی پویا و چندبعدی دارد و با تغییرات ظریف در الگوهای حرکتی و بارگذاری مفصل همراه است، شناسایی آن مستلزم ابزارهای غربالگری است که از پایایی کافی برای تشخیص تغییرات واقعی برخوردار باشند.

رویکرد ترکیبی آزمون‌های چندحالته[4] و هم‌زمان‌سازی‌شده[5] امکان ارزیابی هم‌زمان سازوکارهای کینماتیکی و کینتیکی در سیستم عصبی‌عضلانی و اسکلتی را فراهم می‌کند و دیدگاه جامع‌تری از سیستم کنترل حرکت ارائه می‌دهد [۹]. ازاین‌رو تعیین پایایی اختصاصی ابزارها و آزمون‌ها برای اطمینان از این که تغییرات مشاهده‌شده فراتر از خطای اندازه‌گیری بوده و قابلیت پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های کاربردی را دارند، امری ضروری است.

همچنین با وجود پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های مختلف، شواهد مربوط به تکرارپذیری اندازه‌گیری‌های چندحالته و هم‌زمان‌سازی‌شده در بازیکنان فوتبال هنوز محدود است [۱۷، ۱۸]. تعداد اندکی از مطالعات شاخص‌های مطلق پایایی نظیر خطای استاندارد اندازه‌گیری[6] و حداقل تغییر قابل‌تشخیص در سطح اطمینان[7] ۹۵ درصد را گزارش کرده‌اند. درحالی‌که این شاخص‌ها برای تعیین آستانه‌های مربوط به تغییرات فیزیولوژیکی معنادار ضروری هستند [۱۲]. پیشرفت‌های اخیر در روش تحقیقات امکان هم‌زمان‌سازی زمانی دستگاه‌های آنالیزحرکتی، الکترومایوگرافی سطحی[8]، صفحه نیرو را در قالب پروتکل‌های کاملاً همگن فراهم کرده‌اند [۱۹]. بااین‌حال این رویکردهای چندحالته آزمون‌ها به‌ندرت در قالب یک مجموعه کامل از آزمون‌های عملکردی اختصاصی در ورزش مورد استفاده قرار گرفته و یا از منظر پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر[9] به‌طور اختصاصی ارزیابی شده‌اند [۲۰]. درنتیجه، شکاف اصلی در ادبیات موجود، فقدان شواهد نظام‌مند درباره پایایی نسبی و مطلق خروجی‌های بیومکانیکی و نورومکانیکی استخراج‌شده از یک مجموعه آزمون عملکردی چندحالته و همگام‌سازی‌شده در بازیکنان فوتبال است.

اگرچه برخی مطالعات پایایی آزمون‌های عملکردی یا دستگاه‌های منفرد را به‌صورت مجزا بررسی کرده‌اند، این مطالعات عمدتاً به یک آزمون، یک متغیر اندازه‌گیری یا تنها یکی از انواع پایایی محدود بوده‌اند و ارزیابی هم‌زمان پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر در یک مجموعه چندمتغیره و یکپارچه در بازیکنان فوتبال انجام نشده است [۱۶، ۱۷، ۱۹]. باتوجه‌به بررسی‌های جامعی که در این مطالعه انجام شد، مطالعه‌ای به‌صورت نظام‌مند و جامع هر دو نوع پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر را در مجموعه‌ای همزمان‌سازی‌شده به‌وسیله دستگاه‌های آنالیز حرکت، الکترومایوگرافی سطحی، صفحه نیرو و ایزوکینتیک در بازیکنان فوتبال کمی‌سازی نکرده است. به همین دلیل، در این مطالعه یک مجموعه آزمون عملکردی شش‌گانه شامل پرش عمودی از ارتفاع[10]، دویدن همراه با تغییر جهت

1. Anterior cruciate ligament
2. Non-contact
3. Over load

4. Multimodal
5. Synchronized
6. Standard Error of Measurement (SEM)
7. Minimum Detectable Change (MDC95)
8. Surface Electromyography (sEMG)
9. Inter-Rater and Test-Retest Reliability
10. Drop Vertical Jump (DVJ)

ناگهانی[11]، سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود[12]، پرش تاک[13]، اسکات تک پا[14] و آزمون تعادل ستاره‌ای[15] تحت شرایط استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفتند تا مؤلفه‌های مکمل بارگذاری مکانیکی و کنترل عصبی‌عضلانی مرتبط با خطر آسیب رباط صلیبی قدامی به‌صورت جامع در قالب یک مجموعه آزمون عملکردی ارزیابی شوند. پایایی نسبی با استفاده از ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای[16] و پایایی مطلق با استفاده از خطای استاندارد اندازه‌گیری و میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص در سطح اطمینان ۹۵ درصد به‌عنوان معیار تفسیر تغییرات واقعی کمی‌سازی شد. فرضیه ما این بود که اندازه‌گیری‌های کینماتیکی و کینتیکی هم‌زمان‌سازی‌شده و شاخص‌های اندازه گیری، پایایی خوبی در هر دو سطح بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر نشان خواهند داد. همچنین متغیرهای حاصل از دستگاه‌های هم‌زمان‌سازی‌شده تکرارپذیری خوب تا عالی خواهند داشت؛ بدین ترتیب، یک چارچوب کمی برای غربالگری نرومکانیکی پیش از فصل مسابقات، پایش طولی حین فصل و تصمیم‌گیری برای بازگشت به ورزش در بازیکنان فوتبال فراهم خواهد شد.

مواد و روش‌ها

۳۵ بازیکن فوتبال مرد سالم از لیگ‌های دسته دوم و سوم فوتبال تهران در این مطالعه شرکت کردند که در زمان انجام آزمون‌ها نیز به‌صورت منظم در تمرینات تیمی (۴ روز در هفته) و مسابقات رسمی لیگ‌های مربوطه (۱ روز در هفته) شرکت و همگی در چرخه رقابتی فعال فصل حضور داشتند.

معیارهای ورود به تحقیق، شامل عدم آسیب اندام تحتانی در ۶ ماه گذشته، عدم اختلالات و ناهنجاری‌های شناخته‌شده اسکلتی، عصبی‌عضلانی و یا بیماری‌های قلبی‌عروقی بود. معیارهای خروج از تحقیق نیز شامل سابقه جراحی و بازسازی رباط صلیبی قدامی، بی‌ثباتی مفصل زانو و پست دروازه‌بانی به دلیل الزامات بیومکانیکی متفاوت آن با سایر پست‌ها در فوتبال بود [۲۱]. معیارها ورود و خروج از تحقیق به‌منظور افزایش همگن‌سازی در اندازه‌گیری و برآورد دقیق پایایی اعمال شدند.

تمامی شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه آگاهانه کتبی را مطالعه و امضا کردند. این مطالعه توسط کمیته اخلاق در پژوهش پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی ثبت شده است و مطابق با اصول بیانیه اخلاقی هلسینکی[17] انجام شد [۲۲]. همچنین تمامی مراحل ارزیابی این تحقیق مطابق با مقررات ایمنی مربوط به آزمایشگاه انجام گرفت.

حجم نمونه‌ها براساس ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای محاسبه شد. با فرض مقدار موردانتظار ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۰ (حداقل مقدار قابل‌قبول ۰/۶۰)، وجود ۲ آزمونگر و سطح معناداری ۲ طرفه α=۰/۰۵، حداقل ۳۰ شرکت‌کننده برای دستیابی به فاصله اطمینان ۹۵ درصد نیاز بود؛ بنابراین با ارزیابی ۳۵ بازیکن، دقت برآورد به حدود ۰/۰۸± بهبود یافت [۲۳-۲۵].

در این مطالعه از طرح اندازه‌گیری مکرر برای ارزیابی پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر در مجموعه آزمون‌های غربالگری چندحالته و هم‌زمان‌سازی‌شده در بازیکنان فوتبال استفاده شد [۲۶]. هرکدام از شرکت‌کنندگان در ۲ جلسه جداگانه و با فاصله ۷۲ ساعت به‌منظور بازیابی کامل سیستم عصبی‌عضلانی[18] و به حداقل رساندن سازگاری یا اثرات یادگیری شرکت کردند. تمامی آزمون‌ها بین ساعات ۹ تا ۱۴ و تحت شرایط استاندارد آزمایشگاهی، به‌منظور کاهش تغییرات شبانه‌روزی انجام شدند. شرایط پیش‌آزمون برای شرکت‌کنندگان طی ۲۴ ساعت قبل از هر جلسه کنترل و ثابت نگه داشته شد (حداقل ۷ ساعت خواب، پرهیز از مصرف الکل و کافئین، پرهیز از فعالیت شدید ۲۴ ساعت قبل از آزمون، حفظ الگوی منظم تغذیه و آب‌رسانی بدن) که ازطریق پرسش‌نامه مورد تأیید قرار گرفت [۲۷، ۲۸].

هرکدام از شرکت‌کنندگان در هر دو جلسه از آزمون‌ها، در یک بازه زمانی ثابت ۲ ساعته (۳۰± دقیقه) و به‌صورت یکسان ارزیابی شدند. بازیکنان از یک مدل کفش استاندارد و یکسان استفاده کردند و همه آزمون‌ها روی سطح یکپارچه و همتراز با صفحات نیرو در آزمایشگاه انجام شدند. پیش از شروع آزمون‌ها، همه شرکت‌کنندگان یک برنامه گرم کردن استاندارد (۵ دقیقه رکاب زدن با توان ۷۰ وات و سپس ۵ دقیقه تمرینات پویا) را اجرا کردند. فواصل استراحت (۶۰ تا ۹۰ ثانیه بین تلاش‌ها و ۳ تا ۵ دقیقه بین آزمون‌ها) به‌صورت زمانی کنترل شد. معیارهای تکرار در هر تلاش (فاصله زمانی بیش از ۱۰ فریم در مارکرها، وجود خطاهای واضح در سیگنال‌ها یا هرگونه اختلال در روند اجرا) برای تمامی آزمون‌ها از قبل تعیین شد. ۲ آزمونگر آموزش‌دیده (دانشجوی دکتری با ۲ سال سابقه کار در محیط آزمایشگاهی) به‌طور مستقل تمام داده‌های جلسه اول را پردازش کردند. هر دو آزمونگر جلسات کالیبراسیون[19]، جای‌گذاری مارکرها، نصب الکترودها و پردازش داده‌ها را سپری کردند و نسبت به نتایج یکدیگر کور بودند. پایایی درون‌آزمونگر، هر دو جلسه توسط آزمونگر اصلی پردازش شد تا تغییرپذیری در روش تحلیل داده‌ها به حداقل برسد [۲۵، ۲۹، ۳۰].

11. Change Of Direction (COD)
12. Landing Error Scoring System (LESS)
13. Tuck Jump (TJ)
14. Single Leg Squat (SLS)
15. Star Excursion Balance Test (SEBT)
16. Intraclass Correlation Coefficient (ICC)
17. Declaration of Helsinki
18. Neuromuscular system
19. Calibration

مجموعه آزمون‌های عملکردی

مجموعاً ۶ آزمون عملکردی با هدف ارزیابی عوامل نرومکانیکی مرتبط با خطر آسیب رباط صلیبی قدامی مورد استفاده قرار گرفت: پرش عمودی از ارتفاع [۷، ۳۱]، دویدن همراه تغییر جهت ناگهانی [۳۲، ۳۳]، سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود [۳۴، ۳۵]، پرش تاک [۱۶، ۲۷، ۳۶]، اسکات تک پا [۳۷، ۳۸]و تعادل ستاره [۲۵، ۳۹]. دستورالعمل دقیق و معیارهای اعتبار اختصاصی هر آزمون در **پیوست شماره ۱** ارائه شده است. به‌منظور کاهش تأثیر ترتیب، خستگی و یادگیری، نحوه اجرای آزمون‌ها توسط رایانه تصادفی‌سازی شد. هر بازیکن ۳ تلاش کامل و معتبر برای هر آزمون اجرا کرد که از قبل به‌عنوان تلاش‌هایی با ثبت کامل داده‌ها، اجرای صحیح بیومکانیکی و انطباق با معیارهای پذیرش در آزمون‌ها تعریف شده بودند. جهت کاهش تغییرپذیری درون‌فردی و پایداری ضریب همبستگی، خروجی داده‌ها برای هر متغیر از میانگینِ ۳ تلاش در هر آزمون محاسبه شدند [۱۲، ۲۷].

ابزارهای اندازه‌گیری

داده‌های کینماتیکی سه‌بعدی با استفاده از ۱۰ عدد دوربین اپتیکی آنالیز حرکت[20] (Raptor-E,Motion Analysis Corp, USA) با نرخ نمونه‌برداری ۲۵۰ هرتز و با استفاده از مارکرگذاری هلن‌هایز[21] ثبت شد **(تصویر شماره ۱)**. نیروهای عکس‌العمل زمین با نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰۰ هرتز به‌وسیله ۲ صفحه نیرو[22] (AMT;USA) ثبت شد. در آزمون‌های پرش عمودی از ارتفاع، سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود و پرش تاک، تماس هر دو پا و در آزمون‌های دویدن همراه تغییر جهت ناگهانی، اسکات تک پا و تعادل ستاره نیاز تماس تک پا نیاز بود. اندام برتر براساس پای ترجیحی برای ضربه زدن به توپ[23] تعیین شد و این معیار به‌صورت ثابت در تمامی آزمون‌ها ثبت و به کار برده شد [۱]. سیگنال‌های الکترومایوگرافی سطحی با نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰۰ هرتز از اندام برتر با استفاده از یک دستگاه بی‌سیم ۸ کاناله (Myon AG, Switzerland) جمع‌آوری شد. الکترودهای دوقطبی مطابق با دستورالعمل سنیام[24] روی ۸ عضله اندام‌های فوقانی و تحتانی قرار داده شدند. آماده‌سازی پوست و تثبیت الکترودها مقاومت و خطای حرکتی را به حداقل رساند؛ فاصله بین الکترودها ۲۰ میلی‌متر ثابت نگه داشته شد و مقاومت کمتر از ۵ کیلواهم حفظ شد. گشتاور عضلات چهارسر و همسترینگ به‌صورت کانسنتریک و اکسنتریک در دامنه سرعتی ۶۰ ـ ۱۲۰ ـ ۱۸۰ درجه بر ثانیه با استفاده از دستگاه دینامومتر ایزوکنتیک اندازه‌گیری شد. ۳ تلاش بیشینه در هر سرعت ثبت و بیشینه گشتاور در تحلیل‌ها استفاده شد. تمامی دستگاه‌ها ازطریق تریگر دیجیتال، به‌وسیله سخت‌افزار هم‌زمان‌سازی شدند تا همسان‌سازی زمانی در سطح فریم هماهنگ شود. کالیبراسیون همه دستگاه‌ها به‌صورت استاندارد مطابق با مطالعات مروری روش‌شناختی به‌روز انجام شد و طی ۱ جلسه پایلوت (۵ نفر بازیکن فوتبال با ضریب پایایی ۰/۸۵<) مراحل انجام پروتکل تحقیق، کیفیت سیگنال‌ها، یکپارچگی و هم‌زمان‌سازی دستگاه‌ها و تکرارپذیری اولیه تأیید شد. داده‌های پایلوت در تحلیل نهایی اعمال نشدند [۴۰-۴۳].

پردازش داده‌ها

حرکات سه‌بعدی حین آزمون‌های مختلف در نرم‌افزار کورتکس[25] (نسخه ۷/۱) بازسازی و در فرمت سه‌بعدی[26] ذخیره شدند. شکاف‌های کوچک (۱۰≤ فریم) با استفاده از درون‌یابی اسپلاین مکعبی[27] بازسازی شدند و مسیرهای مارکر با فیلتر پایین‌گذر بدون تأخیر فازی باتروورث مرتبه ۴[28] و با فرکانس برشی[29] ۶ هرتز هموارسازی[30] شدند. فرکانس‌های برشی براساس تحلیل مطالعات قبلی تعیین و به‌طور یکنواخت برای تمامی آزمون‌ها اعمال شد تا یکنواختی پردازش سیگنال‌ها حفظ شده و از ایجاد تفاوت‌های مصنوعی ناشی از فیلترگذاری بین آزمون‌ها جلوگیری شود. فرکانس ۶ هرتز نیز به‌طور گسترده برای تحلیل کینماتیک آزمون‌های عملکردی گزارش شده است [۴۴]. سیگنال‌های نیروی عکس‌العمل زمین با فیلتر باتروورث مرتبه ۴، بدون تأخیر فازی و فرکانس برشی ۳۰ هرتز فیلتر شدند. لحظه تماس اولیه[31] به‌عنوان نیروی عکس‌العمل عمودی زمین بیش از ۲۰ نیوتن تعریف شد و متغیرهای کینتیکی نسبت به این رویداد استخراج شدند. مؤلفه‌های عمودی و داخلی‌خارجی نیروی عکس‌العمل زمین در فازهای تماس اولیه و پیشروی[32] اختصاصی هر آزمون تحلیل شدند [۴۵، ۴۶]. برای سیگنال‌های الکترومایوگرافی سطحی از فیلترهای میان‌گذر (۲۰-۴۵۰ هرتز) و هموارسازی کامل به طول ۵۰ میلی‌ثانیه ریشه میانگین مربعات[33] استفاده شد. شروع فعالیت الکترومایوگرافی با استفاده از آستانه تطبیقی (میانگین پایه ۳+ انحراف‌معیار و طی ۲۰۰ میلی‌ثانیه وضعیت ایستادن آرام) تشخیص داده شد. دامنه‌های الکترومایوگرافی به‌وسیله مقادیر حداکثر انقباض ایزومتریک ارادی[34] نرمال‌سازی شدند که پایداری بالایی (۰/۸۵) نشان دادند [۴۰، ۴۷-۴۹]. معیارهای حذف تلاش‌ها در هر آزمون، شامل وقوع نسبت سیگنال به نویز کمتر از دسی‌بل، جدا شدن الکترودها

20. Motion capture
21. Helen hayes
22. Force plate
23. Kicking leg
24. SENIAM
25. CORTEX software
26. C3D
27. Cubic Spline Interpolation
28. Zero-lag-fourth-order Butterworth filter
29. Cut-off frequency
30. Smooth
31. Initial contact
32. Propulsion phase
33. Root Mean Square (RMS)
34. Maximal Voluntary Isometric Contraction (MVIC)

تصویر ۱. نحوه مارکرگزاری، چیدمان الکترودها و صفحات نیرو در تست‌های عملکردی.

طب توانبخشی

یا بروز خطاهای بیش از ۴± انحراف‌معیار از خطای پایه بود. داده‌های کینماتیکی و کینتیکی در نرم‌افزار اپن‌سیم (نسخه ۴/۴) و سی ترای دی تولز نسخه ۱۰ هم‌زمان‌سازی و درنرم‌افزار ویژوال ترای دی (۶/۰۱) و موکا (نسخه ۶/۲) پردازش شدند. خروجی‌های داده‌های مربوط به قدرت از فایل‌های ایزوکنتیک با استفاده از الگوریتم‌های گشتاور تصحیح‌شده ازنظر گرانش استخراج شدند [۴۵-۴۷، ۵۰]. متغیرها کینتیکی و کینماتیکی، براساس معیارها و سازوکارهای آسیب رباط صلیبی قدامی در مطالعات مروری قبل انتخاب شدند و در مراحل مختلف اختصاصی مربوط به هر آزمون استخراج شدند [۵۱، ۵۲]. برای جلوگیری از تورم[35] مصنوعی برآوردهای پایایی ناشی از تعدد متغیرها، تحلیل‌های پایایی در سطح آزمون و ابزار خلاصه‌سازی شدند و نتایج به‌صورت شاخص‌های مرکزی گزارش شدند.

تحلیل‌های آماری

برای توصیف داده‌های جمعیت‌شناختی و متغیرهای بیومکانیکی از میانگین و انحراف‌معیار استفاده شد. پایایی بین‌آزمونگر با ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای (۲/۱) (مدل تصادفی ۲ طرفه، توافق مطلق) و پایایی درون‌آزمون‌گر با ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای (۳/۱) (مدل ترکیبی ۲ طرفه، توافق مطلق) براساس داده‌های ۲ جلسه با فاصله ۷۲ ساعت محاسبه شد [۳۰]. تمامی ضریب‌های همبستگی همراه با فاصله اطمینان ۹۵ درصد گزارش و براساس طبقه‌بندی استاندارد تفسیر شدند [۲۹]. پایایی مطلق با استفاده از خطای استاندارد اندازه‌گیری و حداقل تغییر قابل‌تشخیص در سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه و به‌صورت مقادیر خام و درصدی گزارش شد [۱۲]. در سطح ابزار، این مقادیر ابتدا برای تمامی متغیرهای استخراج‌شده از هر ابزار به‌طور جداگانه محاسبه و سپس به‌صورت میانگین خلاصه‌سازی شدند. در سطح آزمون نیز مقادیر متناظر تمامی متغیرهای مربوط به هر آزمون عملکردی جمع‌آوری و میانگین آن‌ها گزارش شد. باتوجه‌به ماهیت مطالعه از نوع اندازه‌گیری، آزمون فرض صفر انجام نشد و تفسیر نتایج صرفاً براساس شاخص‌های پایایی صورت گرفت [۵۳]. تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷/۰/۱ و پایتون (نسخه ۳/۱۱/۴) انجام شدند.

35. Inflation

یافته‌ها

الگوهای کلی نتایج پایایی

۳۵ بازیکن فوتبال با میانگین سنی ۲۵/۱±۳/۵ سال، وزن ۷۸/۴±۶/۸ کیلوگرم، قد ۱۸۱/۶±۵/۹ سانتی‌متر و سابقه ۸/۲±۲/۱ سال فعالیت در رشته فوتبال، در نتایج مربوط به پایایی این مطالعه شرکت داشتند (**جدول شماره ۱**). ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای بین‌آزمونگر نشان‌دهنده تکرارپذیری بین ۲ آزمونگر براساس داده‌های جلسه اول بودند. درحالی‌که ضریب همبستگی درون‌آزمونگر نشان‌دهنده تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها بین ۲ جلسه با فاصله ۷۲ را نشان می‌داد. شاخص‌های نسبی ضریب همبستگی درون‌طبقه به همراه فاصله اطمینان ۹۵ درصد و دامنه‌های بین‌چارکی (خطای استاندارد اندازه‌گیری و حداقل تغییر قابل‌تشخیص) در سطح ابزار و آزمون در **جداول شماره ۱، ۲ و ۳** خلاصه شدند. متغیرها مطابق با طبقه‌بندی عالی (≥۰/۹۰)، خوب (۰/۷۵-۰/۸۹)، متوسط (۰/۵۰-۰/۷۴) یا ضعیف (<۰/۵۰) تفسیر شدند.

نتایج ارزیابی‌های مربوط به پایایی، شامل متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی از دستگاه‌های آنالیز حرکت، صفحه نیرو، متغیرهای فعالیت عضلانی از الکترومایوگرافی سطحی و متغیرهای قدرت از ایزوکینتیک بودند که به‌صورت هدفمند و مبتنی بر ادبیات مرتبط با آسیب رباط صلیبی قدامی و عملکرد سیستم اندازه‌گیری در سطح ابزار و سطح آزمون ارزیابی و انتخاب شدند. به‌منظور جلوگیری از تفسیر نادرست ناشی از تعدد متغیرها، نتایج پایایی در این بخش در سطح ابزار و آزمون خلاصه‌سازی و گزارش شده‌اند.

جدول ۱. اطلاعات جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها

آماره	میانگین±انحراف‌معیار
سن (سال)	۲۵/۱±۳/۵
وزن (کیلوگرم)	۷۸/۴±۶/۸
قد (سانتی‌متر)	۱۸۱/۶±۵/۹
سابقه فعالیت در فوتبال (سال)	۸/۲±۲/۱

طب توانبخشی

نتایج پایایی در سطح ابزار

در سطح ابزار، بیشترین پایایی و توافق بین آزمونگرها مربوط به دستگاه آنالیز حرکت بود؛ طوری‌که حدود ۸۰ درصد متغیرها در طبقه «عالی» قرار گرفتند. دستگاه ایزوکینتیک نیز توافق بسیار بالایی، تقریباً ۹۶ درصد، مشابه با دستگاه آنالیز حرکت نشان داد و متغیرها در طبقه «خوب یا عالی» طبقه‌بندی شدند. صفحه نیرو توافق پایین‌تر (۷۴ درصد) نشان داد و متغیرها در طبقه «خوب تا عالی» قرار گرفتند. دستگاه الکترومایوگرافی سطحی نیز توافق بالایی نشان داد که در آن حدود ۹۰ درصد متغیرها در طبقه «خوب یا متوسط» قرار گرفتند (جدول شماره ۲).

پایایی درون‌آزمونگر تنوع بیشتری بین ابزارها نشان داد (جدول شماره ۲). اندازه‌گیری‌های مربوط به دستگاه ایزوکینتیک پایدارترین نتایج را ارائه کردند و بیش از ۵۵ درصد آن‌ها در طبقه «خوب تا عالی» قرار گرفتند. اندازه‌گیری‌های آنالیز حرکت، پایداری متوسطی نشان دادند؛ طوری‌که حدود ۴۰ درصد متغیرها در طبقه «ضعیف» قرار گرفتند. صفحه نیرو ضعیف‌ترین پایداری را نشان دادند و بیش از ۵۰ درصد متغیرها در طبقه «ضعیف» طبقه‌بندی شدند.

مقادیر به‌صورت ضریب همبستگی همراه با فاصله اطمینان ۹۵ درصد و دامنه بین‌چارکی گزارش شده‌اند. درصدها توزیع متغیرها را براساس طبقه‌بندی کوو و لی (عالی، خوب، متوسط، ضعیف) نشان می‌دهند.

نتایج پایایی در سطح آزمون

در سطح آزمون، توافق بین آزمونگرها در هر ۶ آزمون عملکردی بالا بود (جدول شماره ۳)؛ طوری‌که ضرایب همبستگی درون‌طبقه‌ای در بازه ۰/۸۴ تا ۰/۸۶ قرار داشت و حدود ۷۵ تا ۸۲ درصد متغیرها در طبقه «خوب تا عالی» طبقه بندی شدند. آزمون‌های پرش عمودی از ارتفاع و سیستم امتیازدهی خطای پرش فرود بیشترین میزان توافق را نشان دادند، درحالی‌که پرش تاک کمترین مقدار را داشت، اما همچنان در دامنه «خوب» قرار داشت. ضریب همبستگی پایایی کلی بین آزمون‌گرها ۰/۸۵ و دامنه بین چارکی ۰/۰۹ بود.

پایایی درون‌آزمونگر در سطح آزمون از ۰/۷۷ تا ۰/۸۰ متغیر بود (جدول شماره ۳). بیشترین میزان ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای مربوط به پرش عمودی از ارتفاع (۰/۸۰؛ حدود ۶۸ درصد «خوب تا عالی») بود و پس از آن سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود و تعادل ستاره قرار گرفتند. آزمون‌های اسکات

جدول ۲. پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر به تفکیک دستگاه‌ها

متغیر	دستگاه	تعداد متغیر	ضریب همبستگی	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	دامنه بین‌چارکی	عالی	خوب	متوسط	ضعیف
پایایی بین‌آزمونگر	آنالیز حرکت	۸۶۴	۰/۹۴	۰/۹۶–۰/۹۲	۰/۰۴۱	۷۹/۸۵	۱۶/۹	۱/۷۵	۱/۵
	ایزوکنتیک	۶۰۰	۰/۹۱	۰/۹۴–۰/۸۸	۰/۰۵۲	۶۰/۴	۳۵/۴	۲/۱	۲/۱
	صفحه نیرو	۲۸۸	۰/۸۷	۰/۹۳–۰/۸۲	۰/۱۴۹	۳۵	۳۸/۸	۶۰/۳۰	۱۹/۹
	الکترومایوگرافی	۲۱۶۰	۰/۸۲	۰/۸۶–۰/۷۸	۰/۱۱۲	۹	۶۳/۶	۲۵/۵	۱/۹
پایایی درون‌آزمونگر	آنالیز حرکت	۴۳۲	۰/۷۷	۰/۸۹–۰/۶۵	۰/۴۴۷	۲۱/۲	۲۳/۸	۲۱/۵	۳۳/۵
	ایزوکنتیک	۳۰۰	۰/۸۸	۰/۹۶–۰/۷۲	۰/۲۲۰	۱۶/۷	۴۰	۲۶/۶	۱۶/۷
	صفحه نیرو	۱۴۴	۰/۴۸	۰/۶۲–۰/۳۲	۰/۲۱۰	۵/۳	۱۵/۲	۱۵/۲	۵۴/۸
	الکترومایوگرافی	۱۰۸۰	۰/۷۸	۰/۸۸–۰/۶۸	۰/۴۴۵	۸/۳	۳۲/۱	۳۲/۱	۳۷/۱

طب توانبخشی

جدول ۳. پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر به تفکیک آزمون‌ها

متغیر	دستگاه	تعداد متغیر	ضریب همبستگی	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	دامنه بین‌چارکی	عالی	خوب	متوسط	ضعیف
پایایی بین‌آزمونگر	پرش عمودی از ارتفاع	۶۵۲	۰/۸۶	۰/۹۱–۰/۸۱	۰/۱۴۱	۳۱/۹	۴۹/۸	۱۵/۲	۳
	سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود	۶۵۲	۰/۸۵۵	۰/۹۱–۰/۸۰	۰/۱۴۳	۲۹/۶	۵۰/۸	۱۶/۷	۲/۹
	دویدن همراه تغییر جهت ناگهانی	۶۵۲	۰/۸۵	۰/۹۱–۰/۸۰	۰/۱۳۸	۲۹	۴۸/۶	۱۸/۹	۳/۵
	اسکات تک پا	۶۵۲	۰/۸۵	۰/۹۱–۰/۸۰	۰/۱۴۱	۳۰/۲	۴۸/۵	۱۷/۹	۳/۴
	تعادل ستاره	۶۵۲	۰/۸۵	۰/۹۱–۰/۷۹	۰/۱۴۵	۲۸/۷	۵۰/۷	۱۷/۲	۳/۴
	پرش تاک	۶۵۲	۰/۸۴۵	۰/۹۰–۰/۷۹	۰/۱۴۸	۳۱/۱	۴۵/۸	۱۹/۷	۳/۴
پایایی درون‌آزمونگر	پرش عمودی از ارتفاع	۳۲۶	۰/۸۰	۰/۸۹–۰/۶۹	۰/۴۹۶	۲۸/۳	۳۹/۷	۱۹/۸	۱۲/۲
	سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود	۳۲۶	۰/۷۹	۰/۸۹–۰/۶۷	۰/۴۹۷	۲۸/۸	۳۶/۸	۲۱/۹	۱۲/۵
	دویدن همراه تغییر جهت ناگهانی	۳۲۶	۰/۷۸	۰/۸۹–۰/۶۶	۰/۴۴۵	۳۰/۹	۳۵/۲	۲۱/۵	۱۲/۴
	اسکات تک پا	۳۲۶	۰/۷۸	۰/۸۹–۰/۶۶	۰/۴۲۸	۳۱/۲	۳۷	۲۲/۶	۹/۲
	تعادل ستاره	۳۲۶	۰/۷۹	۰/۸۹–۰/۶۷	۰/۴۹۲	۲۹/۸	۳۸/۱	۲۰/۴	۱۱/۷
	پرش تاک	۳۲۶	۰/۷۷	۰/۸۹–۰/۶۶	۰/۴۶۱	۲۷/۴	۳۸/۹	۲۱/۳	۱۲/۴

طب توانبخشی

تک پا و دویدن همراه تغییر جهت ناگهانی مقادیر مشابهی (۰/۷۸) نشان دادند و پرش تاک کمترین پایایی را داشت (۰/۷۷؛ حدود ۶۶ درصد «خوب تا عالی»).

مقادیر به‌صورت ضریب همبستگی همراه با فاصله اطمینان ۹۵ درصد و دامنه بین‌چارکی گزارش شده‌اند. درصدها توزیع متغیرها را براساس طبقه‌بندی کوو و لی (عالی، خوب، متوسط، ضعیف) نشان می‌دهند.

نتایج پایایی مطلق

شاخص‌های پایایی مطلق (خطای استاندارد اندازه‌گیری و میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص) در سطح ابزار و آزمون در جدول شماره ۴ گزارش شدند. در سطح ابزار، دستگاه صفحه نیرو کمترین خطای نرمال‌شده را نشان داد (MDC95=۳/۶۳ ؛SEM=۱/۳۱) و با واریانس بین‌فردی کمتری همزمان بود. دستگاه آنالیز حرکت نیز خطای کمی نشان داد (MDC95=۳/۹۲؛ SEM=۱/۴۲) و پس از آن دستگاه ایزوکینتیک قرار گرفت (MDC95=۷/۹۵؛ SEM=۲/۸۶). الکترومایوگرافی بیشترین میزان خطا را نشان داد (SEM=۱۰/۷۳ ؛MDC95=۲۹/۷۳). در سطح آزمون، پرش عمودی از ارتفاع، سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود، تعادل ستاره کمترین مقادیر (SEM=۴/۸۷-۵/۵۲ و MDC95=۱۳/۵-۱۵/۲) را نشان دادند. آزمون‌های دویدن همراه با تغییر جهت ناگهانی، اسکات تک پا و پرش تاک تغییرپذیری بیشتری نشان دادند (SEM٪> ۶/۰۸؛ MDC95>۱۶/۷)؛ طوری‌که پرش تاک بیشترین میزان خطا را داشت (SEM٪=۷۶/۶۶؛ MDC95=۱۸/۶۲). به‌منظور جلوگیری از برداشت اشتباه، باید توجه داشت ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای یک شاخص نسبی و وابسته به پراکندگی بین‌فردی است؛ بنابراین ممکن است در شرایطی با وجود خطای استاندارد اندازه‌گیری پایین، ضریب همبستگی به دلیل محدود بودن واریانس بین آزمودنی‌ها کاهش یابد.

خطای استاندارد اندازه‌گیری به‌صورت درصدی از میانگین و میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص در سطح اطمینان ۹۵ درصد بیان شد.

بحث

این مطالعه پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر یک مجموعه آزمون عملکردی و همزمان‌سازی‌شده برای غربالگری خطر آسیب رباط صلیبی قدامی را در بازیکنان مرد فوتبال ارزیابی کرد. این پژوهش از نخستین مطالعاتی است که هر دو نوع پایایی را در یک مجموعه همزمان‌سازی‌شده از دستگاه‌ها و آزمون‌های عملکردی مورد بررسی قرار داد. اغلب مطالعات پیشین بر آزمون‌های جداگانه یا ابزارهای مجزا متکی بوده‌اند [۹، ۲۰، ۲۱]، درصورتی‌که خطر آسیب رباط صلیبی قدامی ماهیتی چندعاملی[36] دارد [۲۴، ۲۵]. یافته‌های ما نشان داد غربالگری عملکردی چندحالته و همزمان‌سازی‌شده نه‌تنها در محیط‌های حرفه‌ای فوتبال عملی است، بلکه در بسیاری از متغیرهای پایایی

36. Multifactorial

جدول ۴. پایایی مطلق به تفکیک ابزار و آزمون (خطای استاندارد اندازه‌گیری و میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص)

	متغیر	میانگین خطای استاندارد اندازه‌گیری	حداقل خطای استاندارد اندازه‌گیری	حداکثر خطای استاندارد اندازه‌گیری	میانگین حداقل تغییر قابل‌تشخیص	حداقل حداقل تغییر قابل‌تشخیص	حداکثر حداقل تغییر قابل‌تشخیص
دستگاه	آنالیز حرکت	۱/۴۲	۰/۰۸	۲/۹۰	۳/۹۲	۰/۲۲	۸/۰۵
	ایزوکنتیک	۲/۸۶	۰/۴۷	۷/۹۲	۷/۹۵	۱/۳۲	۲۲/۳۴
	صفحه نیرو	۱/۳۱	۰/۰۱	۱۵/۸۰	۳/۶۳	۰/۰۲	۴۳/۸۰
	الکترومایوگرافی	۱۰/۳۷	۲/۹۴	۳۴/۶۲	۲۹/۷۳	۸/۲۳	۹۵/۰۱
آزمون	پرش عمودی از ارتفاع	۵/۱۴	۰/۹۶	۱۹/۳۷	۱۴/۲۶	۲/۶۷	۵۳/۲
	سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود	۴/۸۷	۰/۹۱	۲۱/۱۸	۱۳/۴۹	۲/۵۲	۵۸/۴۵
	دویدن همراه تغییر جهت ناگهانی	۶/۴۲	۱/۴۳	۲۴/۷۱	۱۷/۷۴	۴/۰۷	۶۸/۳۳
	اسکات تک پا	۶/۰۸	۱/۳۶	۲۳/۹۵	۱۶/۷۹	۳/۸۸	۶۶/۸۲
	تعادل ستاره	۵/۵۲	۱/۰۲	۲۲/۳۶	۱۵/۲۴	۲/۸۳	۶۱/۹۷
	پرش تاک	۶/۷۹	۱/۴۹	۲۷/۶۸	۱۸/۶۲	۴/۱۸	۷۶/۶۶

طب توانبخشی

بین‌آزمونگر نتایج خوب تا عالی را نیز به همراه دارد؛ درحالی‌که پایداری درون‌آزمونگر بسته به نوع ابزار و آزمون متفاوت بود که بر ضرورت تفسیر اختصاصی مبتنی بر متغیر و نوع آزمون، هنگام استفاده از این ابزارها برای غربالگری پیش‌فصل و پایش طولی نورومکانیکی تأکید می‌کند. هنگامی که نتایج حاضر براساس آستانه‌های حداقل تغییر قابل‌تشخیص ابزار و آزمون تفسیر شوند، مشخص می‌شود آزمون‌های مبتنی بر فرود و متغیرهای قدرت ایزوکینتیک، پایدارترین شاخص‌های طولی وضعیت نورومکانیکی را فراهم می‌کنند.

تفسیر نتایج در سطح ابزار

درووین [۴۲] و لردینی و [۵۴] نشان دادند دستگاه‌های اپتیکی آنالیز حرکت، در صورت کنترل دقیق بر جای‌گذاری مارکرها و کالیبراسیون، پایایی بین‌آزمونگر بسیار بالایی دارند. همسو با این یافته‌ها، مطالعه حاضر نیز بالاترین پایایی بین‌آزمونگر را برای دستگاه آنالیز حرکت (ICC=۰/۹۴) ثبت کرد. پس از آن دستگاه ایزوکینتیک تکرارپذیری بالای را نشان داد. تومنین و همکاران [۴۳] نیز تکرارپذیری بالای دستگاه ایزوکینتیک را گزارش داده‌اند که با پایایی بین‌آزمونگر عالی (۰/۹۱) و پایداری درون‌آزمونگر بالای (۰/۸۸) مشاهده‌شده در این مطالعه هم‌خوانی کامل دارد. درمورد پایایی دستگاه صفحه نیرو در مطالعه‌ای وینتر [۴۸] نشان داد بیش از آنکه پایایی دستگاه به عملکرد حسگرها وابسته باشد، به راهبرد اجرایی شرکت‌کنندگان وابسته است. هم‌راستا با این اصل، مقادیر صفحات نیرو در این پژوهش پایایی بین‌آزمونگر قابل‌قبول (۰/۸۷)، اما پایداری درون‌آزمونگر کمتری (۰/۴۸) نشان دادند. این الگو احتمالاً بیش از آنکه بیانگر خطای سیستماتیک سنسورها باشد، بازتاب‌دهنده تغییرپذیری زیستی[37] الگوهای حرکتی بین جلسات است؛ زیرا توافق بین‌آزمونگر صفحات نیرو همچنان در حد قابل‌قبول باقی ماند. دلوکا [۴۵] و هرمنس [۴۶] تصریح کرده‌اند پایایی الکترومایوگرافی سطحی به‌شدت تحت تأثیر جای‌گذاری الکترودها، مقاومت پوست[38] و نسبت سیگنال‌ها به خطا قرار دارد. در انطباق کامل با این محدودیت‌ها، خروجی‌های الکترومایوگرافی در این مطالعه پایایی بین‌آزمونگر مناسب (۰/۸۲)، اما پایداری درون‌آزمونگر پایین‌تری (۰/۷۷) نشان دادند. استادنمن و همکاران [۴۱] نیز تغییرپذیری روش‌های نرمال‌سازی دامنه الکترومایوگرافی را مستند کرده‌اند که از مشاهده حاضر مبنی بر ضرورت تفسیر الکترومایوگرافی براساس شاخص‌های خطای مطلق و نه صرفاً ضریب همبستگی پشتیبانی می‌کند. شاخص‌های پایایی مطلق، در پایش سازوکارهای پرش‌فرود، تفسیرپذیری بالینی بهتری نسبت به ضریب همبستگی دارند. همسو با این اصل، نتایج حاضر تأیید می‌کند ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای باید همواره در کنار خطای استاندارد اندازه‌گیری و میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص تفسیر شود، زیرا محدود بودن واریانس بین جلسات می‌تواند حتی در صورت خطای مطلق کوچک، منجر به کاهش مقادیر ضریب همبستگی شود. براین‌اساس، تنها تغییراتی که از آستانه‌های میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص هر مدالیته فراتر می‌روند، باید به‌عنوان سازگاری فیزیولوژیکی واقعی تلقی شوند [۳۶، ۴۰، ۵۵، ۵۶].

37. Biological execution
38. Skin impedance

تفسیر نتایج در سطح آزمون

پایایی درون‌آزمونگر در سطح آزمون، همین الگوی سلسله‌مراتبی را با مقادیر ضریب همبستگی پایین‌تر نشان داد که نشان‌دهنده تغییرپذیری متغیرهای زیستی و عصبی‌عضلانی افزوده بین جلسات است. آزمون پرش عمودی از ارتفاع بیشترین تکرارپذیری را نشان داد (ICC=۰/۸۰) و پس از آن سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود و تعادل ستاره (هر دو ۰/۷۹) قرار گرفتند. پاودا و همکاران [۳۴] در مطالعه خود نشان دادند آزمون‌های با ارزیابی‌های مکرر مثل سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود از پایایی درون‌آزمونگر بالایی برخوردار است. همسو با این گزارش، مطالعه حاضر نیز تکرارپذیری بالای آزمون سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود (۰/۷۹) را مشاهده کرد که با آزمون‌های پرش عمودی از ارتفاع (۰/۸۰) و تعادل ستاره (۰/۷۹) نیز قابل‌مقایسه بود. رید و همکاران [۳۵] در مطالعه‌ای گزارش کردند تکالیف فرودی کنترل‌شده نسبت به حرکات برشی و چندجهته، تکرارپذیری بالاتری دارند. این الگوی سلسله‌مراتبی در مطالعه حاضر نیز نشان داده شد؛ به‌گونه‌ای که آزمون‌های مبتنی بر فرود، مثل پرش عمودی از ارتفاع و سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود پایایی بالاتری نسبت به آزمون‌های دویدن همراه با تغییر سرعت ناگهانی و اسکات تک پا نشان دادند.

هویت و همکاران [۷] پیش‌تر نشان داده بودند آزمون پرش عمودی از ارتفاع بستر قدرتمندی برای نمایه‌سازی خطر نورومکانیکی فراهم می‌کند. یافته‌های حاضر نیز این دانش را توسعه داده و نشان می‌دهند شاخص‌های آزمون پرش عمودی از ارتفاع کمترین مقادیر خطای استاندارد اندازه‌گیری (حدود ۵ درصد) و میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص (حدود ۱۴ درصد) را دارند که بر قابلیت آن برای شناسایی سازگاری‌های طولی دقیق تأکید می‌کند. درحالی‌که آزمون‌های دویدن همراه با تغییر جهت ناگهانی و اسکات تک پا مقادیر ۰/۷۸ و آزمون پرش تاک کمترین مقدار پایایی را (۰/۷۷) نشان دادند.

آکنهد [۱۳] و هانزلیکووا [۵۷] گزارش کردند وظایف چندجهته تغییرپذیری سیستم عصبی‌عضلانی بیشتری در آزمون‌های تکراری نشان می‌دهند. هم‌راستا با این یافته‌ها، آزمون‌های تغییر سرعت ناگهانی و اسکات تک پا در این مطالعه نیز برای عبور از خطای اندازه‌گیری به آستانه‌های میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص بزرگ‌تری (حدود ۱۶ تا ۱۹ درصد) نیاز داشتند. لپانن و همکاران [۵۸] تغییرپذیری بالای آزمون‌های پلیومتریک را به نوسانات لحظه‌ای سیستم عصبی‌عضلانی نسبت دادند. همسو با این گزارش، پرش تاک در این پژوهش بیشترین دامنه را در میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص (تا ۷۶/۷ درصد) نشان داد که بیانگر محدودیت جدی آن برای پایش طولی دقیق است. به‌طورکلی، آزمون‌های مبتنی بر فرود (پرش عمودی از ارتفاع، سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود و تعادل ستاره) نسبت به آزمون‌های چندجهته (دویدن همراه تغییر جهت ناگهانی، اسکات تک پا) و پلیومتریک (پرش تاک) از پایداری بازآزمایی بیشتری برخوردار بودند. این یافته با گزارش‌های پیشین مربوط به پایایی اختصاصی تکالیف حرکتی همخوانی دارد.

نتایج کاربردی

یافته‌های این مطالعه شاخص‌های اندازه‌گیری مناسبی برای تفسیر تغییرات عصبی‌عضلانی در غربالگری پیش از فصل، پایش طولی و کمک به تصمیم‌گیری در بازگشت به ورزش را فراهم می‌کند. استفاده هم‌زمان از شاخص‌های اندازه‌گیری (ضریب همبستگی درون‌طبقه‌ای، خطای استاندارد اندازه‌گیری، میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص) به متخصصان امکان می‌دهد سازگاری فیزیولوژیکی واقعی را از تغییرپذیری تصادفی تفکیک کنند [۱۲، ۲۷].

آزمون‌های مبتنی بر فرود، به‌ویژه پرش عمودی از ارتفاع و سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود مطلوب‌ترین توازن میان تکرارپذیری و حساسیت را نشان دادند (میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص ۱۴ تا ۱۵ درصد) و بدین ترتیب به‌عنوان آزمون‌های محوری در پایش طولی فصول مختلف مسابقات توصیه می‌شوند [۳۴، ۳۵]. در مقابل، آزمون‌های چندجهته و پلیومتریک، همچون دویدن همراه با تغییر مسیر ناگهانی و پرش تاک برای عبور از آستانه خطا به تغییرات بزرگ‌تری نیاز دارند . این ویژگی نشان می‌دهد این آزمون‌ها، علی‌رغم پایایی پایین‌تر نسبی، همچنان می‌توانند برای شناسایی نواقص حرکتی بارز یا الگوهای پرخطر آشکار در ارزیابی‌های مقطعی یا غربالگری تک‌جلسه‌ای کاربرد بالینی داشته باشند، اما حساسیت کمتری برای پایش تغییرات ظریف در طول زمان دارند [۱۳، ۵۷]. در سطح ابزار، دستگاه‌های آنالیز حرکت و ایزوکینتیک پایدارترین ویژگی‌های اندازه‌گیری را نشان دادند و بدین ترتیب به‌عنوان مبنای پایه کمی غربالگری و پایش طولی، به‌ویژه برای والگوس پویای زانو و نسبت قدرت عضلات همسترینگ به چهارسر، پیشنهاد می‌شوند [۴۲، ۴۳]. دستگاه الکترومایوگرافی سطحی و برخی از متغیرهای صفحه نیرو خطای مطلق بزرگ‌تری نشان دادند که بیان‌کننده این است که تنها تغییرات قابل‌توجه سیستم عصبی‌عضلانی یا تغییرات بارگذاری نیرو باید به‌عنوان تغییرات فیزیولوژیکی واقعی تفسیر شوند [۴۵، ۴۷-۴۹]. بدین ترتیب، مجموعه آزمون‌های عملکردی چندحالته و هم‌زمان‌سازی‌شده به‌عنوان یک چارچوب پایه از تصمیم‌گیری هایی پشتیبانی می‌کنند که در آن متغیرهای با میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص پایین، مسیر پیشرفت سازگاری را هدایت می‌کنند؛ درحالی‌که متغیرهای با میزان حداقل تغییر قابل‌تشخیص بالاتر، برای شناسایی نواقص حرکتی آشکار به کار می‌روند [۹، ۱۵، ۲۰].

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد مجموعه آزمون‌های عملکردی و هم‌زمان‌سازی‌شده، شامل دستگاه‌های آنالیز حرکات سه‌بعدی، تحلیل صفحات نیرو، الکترومایوگرافی سطحی و ایزوکینتیک، پایایی خوب تا عالی در هر دو بخش بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر دارند. دستگاه‌های آنالیز حرکت و ایزوکینتیک بیشترین پایایی را داشتند. همچنین آزمون‌های پرش عمودی از ارتفاع، سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود و تعادل ستاره نسبت به آزمون‌های چندجهته و پلیومتریک، مانند دویدن همراه تغییر جهت ناگهانی، اسکات تک پا و پرش تاک تکرارپذیری بیشتری نشان دادند. شاخص‌های خطای استاندارد اندازه‌گیری و حداقل تغییر قابل‌تشخیص در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان دادند. دستگاه آنالیز حرکت و آزمون‌های فرود برای شناسایی سازگاری‌های طولی مناسب‌تر هستند؛ درحالی‌که الکترومایوگرافی و آزمون‌های پلیومتریک پویا، برای کاهش خطای اندازه‌گیری به تغییرات بزرگ‌تری نیاز دارند. درمجموع، این یافته‌ها می‌توانند درزمینه اندازه‌گیری و به‌کارگیری مجموعه آزمون‌های عملکردی هم‌زمان‌سازی‌شده برای غربالگری پیش‌فصل و پایش طولی نورومکانیکی در بازیکنان فوتبال مورد استفاده قرار گیرند.

محدودیت‌ها

این مطالعه دارای محدودیت‌هایی بود؛ بنابراین باتوجه‌به این محدودیت‌ها باید ملاحظات لازم نیز مدنظر قرار گیرد. در این مطالعه پایایی عوامل خطر آسیب رباط صلیبی قدامی اندازه‌گیری شده است؛ بنابراین نتایج باید به‌عنوان شاخص‌های اندازه‌گیری تفسیر شوند و از تفسیر عوامل خطر به‌صورت مستقیم در بروز آسیب پرهیز شود. بررسی روایی و شاخص‌های مستقیم در بروز آسیب رباط صلیبی قدامی در مطالعات بعدی گامی ضروری خواهد بود. نمونه پژوهش حاضر محدود به بازیکنان مرد فوتبال از یک جامعه یکسان بود که ممکن است تعمیم‌پذیری را به ورزشکاران زن، گروه‌های سنی جوان یا سایر بازیکنان محدود کند. بااین‌حال همگنی نمونه‌ها در این مطالعه، انسجام درونی را برای برآورد پایایی که هدف اصلی این مطالعه بود، تقویت کرد. اندازه‌گیری‌های مبتنی بر دستگاه‌های آنالیز حرکت، صفحه نیرو و الکترومایوگرافی همچنان در معرض خطاهای ناشی از بافت نرم، روش‌های اجرایی و تغییرات سیستم عصبی‌عضلانی هستند که همگی از محدودیت‌های شناخته‌شده در ارزیابی‌های پویای حرکتی محسوب می‌شوند. علاوه‌براین عواملی، مانند خستگی تجمعی، شرایط محیطی متغیر (نظیر زمان فصل و بار تمرینی) و تکرار آزمون‌ها در طول فصل مسابقات می‌توانند بر تکرارپذیری خروجی‌ها اثرگذار باشند، اما در چارچوب طراحی حاضر به‌طور مستقل کنترل یا بررسی نشدند. درنهایت، این مطالعه اطلاعات دقیقی درمورد نحوه سازگاری، تأثیر خستگی یا میزان پیش‌آگهی فراهم نمی‌کند. مطالعات آینده باید چارچوب پایایی را به‌وسیله آزمون‌های تعدیل‌شده همراه با خستگی و پایش هم‌زمان در طول چند فصل گسترش دهند تا اعتبار بیرونی این شاخص‌ها تقویت شده و امکان ادغام آن‌ها در مدل‌سازی پیش‌بینی خطر آسیب فراهم شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای این پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق **پژوهشگاه تربیت‌بدنی** در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره (SSRI.REC-2311-2550) دریافت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری تخصصی هیمن ابراهیمی در گروه حرکات اصلاحی و آسیب‌شناسی ورزشی **دانشگاه گیلان** است. این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیر انتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از شرکت‌کنندگان به خاطر همکاری‌شان در این مطالعه تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

[1] Ekstrand J, Krutsch W, Spreco A, van Zoest W, Roberts C, Meyer T, et al. Time before return to play for the most common injuries in professional football: A 16-year follow-up of the UEFA Elite Club Injury Study. British Journal of Sports Medicine. 2020; 54(7):421-6. [DOI:10.1136/bjsports-2019-100666] [PMID]

[2] Hagglund M, Walden M, Ekstrand J. Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer: The UEFA injury study. The American Journal of Sports Medicine. 2013; 41(2):327-35. [DOI:10.1177/0363546512470634] [PMID]

[3] Walden M, Krosshaug T, Bjorneboe J, Andersen TE, Faul O, Hagglund M. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: A systematic video analysis of 39 cases. British Journal of Sports Medicine. 2015; 49(22):1452-60. [DOI:10.1136/bjsports-2014-094573] [PMID]

[4] Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: The Delaware-Oslo ACL cohort study. British Journal of Sports Medicine. 2016; 50(13):804-8. [DOI:10.1136/bjsports-2016-096031] [PMID]

[5] Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport. The American Journal of Sports Medicine. 2014; 42(7):1567-73. [DOI:10.1177/0363546514530088] [PMID]

[6] Whittaker JL, Losciale JM, Juhl CB, Thorlund JB, Lundberg M, Truong LK, et al. Risk factors for knee osteoarthritis after traumatic knee injury: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials and cohort studies for the OPTIKNEE Consensus. British Journal of Sports Medicine. 2022; 56(24):1406-21. [DOI:10.1136/bjsports-2022-105496] [PMID]

[7] Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt Jr RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. The American Journal of Sports Medicine. 2005; 33(4):492-501. [DOI:10.1177/0363546504269591] [PMID]

[8] Zebis MK, Andersen LL, Bencke J, Kjaer M, Aagaard P. Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament ruptures by neuromuscular screening. The American Journal of Sports Medicine. 2009; 37(10):1967-73. [DOI:10.1177/0363546509335000] [PMID]

[9] Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Quatman CE. Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut risk with three sharpened and validated tools. Journal of Orthopaedic Research. 2016; 34(11):1843-55. [DOI:10.1002/jor.23414] [PMID]

[10] Eliakim E, Morgulev E, Lidor R, Meckel Y. Estimation of injury costs: Financial damage of English Premier League teams' underachievement due to injuries. BMJ Open Sport & Exercise Medicine. 2020; 6(1):e000675. [DOI:10.1136/bmjsem-2019-000675] [PMID]

[11] Nieto Torrejon L, Martinez-Serrano A, Villalon JM, Alcaraz PE. Economic impact of muscle injury rate and hamstring strain injuries in professional football clubs. Evidence from LaLiga. PLoS One. 2024; 19(6):e0301498. [DOI:10.1371/journal.pone.0301498] [PMID]

[12] Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. Journal of Strength and Conditioning Research. 2005; 19(1):231-40. [DOI:10.1519/15184.1] [PMID]

[13] Akenhead R, Nassis GP. Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2016; 11(5):587-93. [DOI:10.1123/ijspp.2015-0331] [PMID]

[14] Bush M, Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bradley PS. Evolution of match performance parameters for various playing positions in the English Premier League. Human Movement Science. 2015; 39:1-11. [DOI:10.1016/j.humov.2014.10.003] [PMID]

[15] Petushek EJ, Sugimoto D, Stoolmiller M, Smith G, Myer GD. Evidence-based best-practice guidelines for preventing anterior cruciate ligament injuries in young female athletes: A systematic review and meta-analysis. The American Journal of Sports Medicine. 2019; 47(7):1744-53. [DOI:10.1177/0363546518782460] [PMID]

[16] Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Tuck jump assessment for reducing anterior cruciate ligament injury risk. Athletic Therapy Today. 2008; 13(5):39-44. [DOI:10.1123/att.13.5.39] [PMID]

[17] Zeng Z, Liu Y, Hu X, Tang M, Wang L. Validity and reliability of inertial measurement units on lower extremity kinematics during running: A systematic review and meta-analysis. Sports Medicine - Open. 2022; 8(1):86. [DOI:10.1186/s40798-022-00477-0] [PMID]

[18] Gagnon SS, Birmingham TB, Dickey JP, Leitch K, O'Neill L, Bryant D, et al. Test-retest reliability and longitudinal validity of drop vertical jump biomechanics during rehabilitation after ACL reconstruction. Journal of Biomechanics. 2024; 170:112150. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2024.112150] [PMID]

[19] Jahnke S, Cruysen C, Prill R, Kittmann F, Pflug N, Albert JA, et al. Protocol for a randomized crossover trial to evaluate the effect of soft brace and rigid orthosis on performance and readiness to return to sport six months post-ACL-reconstruction. Healthcare. Healthcare (Basel, Switzerland). 2023; 11(4):513. [DOI:10.3390/healthcare11040513] [PMID]

[20] McCunn R, Aus der Funten K, Fullagar HHK, McKeown I, Meyer T. Reliability and association with injury of movement screens: A critical review. Sports Medicine. 2016; 46(6):763-81. [DOI:10.1007/s40279-015-0453-1] [PMID]

[21] Di Salvo V, Benito PJ, Calderon FJ, Di Salvo M, Pigozzi F. Activity profile of elite goalkeepers during football match-play. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2008; 48(4):443-6. [PMID]

[22] Cantín M. [World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. Reviewing the latest version (Spanish)]. International Journal of Medical and Surgical Sciences. 2014; 1(4):339-46. [DOI:10.32457/ijmss.2014.042]

[23] Walter SD, Eliasziw M, Donner A. Sample size and optimal designs for reliability studies. Statistics in Medicine. 1998; 17(1):101-10. [DOI:10.1002/(sici)1097-0258(19980115)17:1%3C101::aid-sim727%3E3.0.co;2-e]

[24] Bonett DG. Sample size requirements for estimating intraclass correlations with desired precision. Statistics in Medicine. 2002; 21(9):1331-5. [DOI:10.1002/sim.1108] [PMID]

[25] Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: A literature and systematic review. Journal of Athletic Training. 2012; 47(3):339-57. [DOI:10.4085/1062-6050-47.3.08] [PMID]

[26] Kottner J, Audige L, Brorson S, Donner A, Gajewski BJ, Hrobjartsson A, et al. Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies (GRRAS) were proposed. Journal of Clinical Epidemiology. 2011; 64(1):96-106. [DOI:10.1016/j.jclinepi.2010.03.002] [PMID]

[27] Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. Sports Medicine. 1998; 26(4):217-38. [DOI:10.2165/00007256-199826040-00002] [PMID]

[28] Chtourou H, Souissi N. The effect of training at a specific time of day: A review. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2012; 26(7):1984-2005. [DOI:10.1519/JSC.0b013e31825770a7] [PMID]

[29] Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. Journal of Chiropractic Medicine. 2016; 15(2):155-63. [DOI:10.1016/j.jcm.2016.02.012] [PMID]

[30] Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. Psychological Bulletin. 1979; 86(2):420-8. [DOI:10.1037//0033-2909.86.2.420] [PMID]

[31] Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2003; 35(10):1745-50. [DOI:10.1249/01.mss.0000089346.85744.d9] [PMID]

[32] Dos'Santos T, Thomas C, McBurnie A, Comfort P, Jones PA. Change of direction speed and technique modification training improves 180° turning performance, kinetics, and kinematics. Sports (Basel, Switzerland). 2021; 9(6):73. [DOI:10.3390/sports9060073] [PMID]

[33] Nimphius S, Callaghan SJ, Spiteri T, Lockie RG. Change of direction deficit: A more isolated measure of change of direction performance than total 505 time. Journal of Strength and Conditioning Research. 2016; 30(11):3024-32. [DOI:10.1519/jsc.0000000000001421] [PMID]

[34] Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett Jr WE, Beutler AI. The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The JUMP-ACL study. The American Journal of Sports Medicine. 2009; 37(10):1996-2002. [DOI:10.1177/0363546509343200] [PMID]

[35] Read PJ, Oliver JL, de Ste Croix MBA, Myer GD, Lloyd RS. Reliability of the tuck jump Injury risk screening assessment in elite male youth soccer players. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2016; 30(6):1510-6. [DOI:10.1519/jsc.0000000000001260] [PMID]

[36] Wedege P, Steffen K, Strøm V, Opheim AI. Reliability of three-dimensional kinematic gait data in adults with spinal cord injury. Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering. 2017; 4:2055668317729992. [DOI:10.1177/2055668317729992] [PMID]

[37] Nakagawa TH, Moriya ETU, Maciel CD, Serrao FV. Test-retest reliability of three-dimensional kinematics using an electromagnetic tracking system during single-leg squat and stepping maneuver. Gait & Posture. 2014; 39(1):141-6. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2013.06.011] [PMID]

[38] Crossley KM, Zhang WJ, Schache AG, Bryant A, Cowan SM. Performance on the Single-Leg Squat task indicates hip abductor muscle function. The American Journal of Sports Medicine. 2011; 39(4):866-73. [DOI:10.1177/0363546510395456] [PMID]

[39] Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 2006; 36(12):911-9. [DOI:10.2519/jospt.2006.2244] [PMID]

[40] Besomi M, Hodges PW, Van Dieen J, Carson RG, Clancy EA, Disselhorst-Klug C, et al. Consensus for experimental design in electromyography (CEDE) project: Electrode selection matrix. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2019; 48:128-44. [DOI:10.1016/j.jelekin.2019.07.008] [PMID]

[41] Staudenmann D, Roeleveld K, Stegeman DF, Van Dieen JH. Methodological aspects of SEMG recordings for force estimation-a tutorial and review. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2010; 20(3):375-87. [DOI:10.1016/j.jelekin.2009.08.005] [PMID]

[42] Drouin JM, Valovich-mcLeod TC, Shultz SJ, Gansneder BM, Perrin DH. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. European Journal of Applied Physiology. 2004; 91(1):22-9. [DOI:10.1007/s00421-003-0933-0] [PMID]

[43] Tuominen J, Leppänen M, Jarske H, Pasanen K, Vasankari T, Parkkari J. Test-retest reliability of isokinetic ankle, knee and hip strength in physically active adults using Biodex System 4 Pro. Methods and Protocols. 2023; 6(2):26. [DOI:10.3390/mps6020026] [PMID]

[44] Davis RB, Ounpuu S, Tyburski D, Gage JR. A gait analysis data collection and reduction technique. Human Movement Science. 1991; 10:575-87. [DOI:10.1016/0167-9457(91)90046-Z]

[45] De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. Journal of Applied Biomechanics. 1997; 13(2):135-63. [DOI:10.1123/jab.13.2.135]

[46] Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2000; 10(5):361-74. [DOI:10.1016/s1050-6411(00)00027-4] [PMID]

[47] Burden A. How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25years of research. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2010; 20(6):1023-35. [DOI:10.1016/j.jelekin.2010.07.004] [PMID]

[48] Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. 4th ed. Waterloo: John Wiley & Sons; 2009. [DOI:10.1002/9780470549148]

[49] Merrigan JJ, Stone JD, Hornsby WG, Hagen JA. Identifying reliable and relatable force-time metrics in athletes-considerations for the isometric mid-thigh pull and countermovement jump. Sports (Basel). 2020; 9(1):4. [DOI:10.3390/sports9010004] [PMID]

[50] Delp SL, Anderson FC, Arnold AS, Loan P, Habib A, John CT, et al. OpenSim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2007; 54(11):1940-50. [DOI:10.1109/TBME.2007.901024] [PMID]

[51] Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: A key component of preventing injuries in sport. British Journal of Sports Medicine. 2005; 39(6):324-9. [DOI:10.1136/bjsm.2005.018341] [PMID]

[52] Cronstrom A, Creaby MW, Ageberg E. Do knee abduction kinematics and kinetics predict future anterior cruciate ligament injury risk? A systematic review and meta-analysis of prospective studies. BMC Musculoskeletal Disorders. 2020; 21(1):563. [DOI:10.1186/s12891-020-03552-3] [PMID]

[53] Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika. 1965; 52(3-4):591-611. [DOI:10.1093/biomet/52.3-4.591]

[54] Leardini A, Chiari L, Della Croce U, Cappozzo A. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation. Gait & Posture. 2005; 21(2):212-25. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2004.05.002] [PMID]

[55] Bahr R. Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will: A critical review. British Journal of Sports Medicine. 2016; 50(13):776-80. [DOI:10.1136/bjsports-2016-096256] [PMID]

[56] Casolo A, Nuccio S, Bazzucchi I, Felici F, Del Vecchio A. Reproducibility of muscle fibre conduction velocity during linearly increasing force contractions. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2020; 53:102439. [DOI:10.1016/j.jelekin.2020.102439] [PMID]

[57] Hanzlikova I, Hebert-Losier K. Is the Landing Error Scoring System reliable and valid? A systematic review. Sports Health. 2020; 12(2):181-8. [DOI:10.1177/1941738119886593] [PMID]

[58] Leppanen M, Pasanen K, Krosshaug T, Kannus P, Vasankari T, Kujala UM, et al. Sagittal plane hip, knee, and ankle biomechanics and the risk of anterior cruciate ligament injury: A prospective study. Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2017; 5(12):2325967117745487. [DOI:10.1177/2325967117745487] [PMID]

پیوست ۱. دستورالعمل آزمون‌های عملکردی

این جدول دستورالعمل‌های استاندارد شامل آماده‌سازی، نحوه اجرای آزمون و معیارهای روایی را برای آزمون‌های عملکردی (پرش عمودی از ارتفاع، دویدن همراه با تغییر جهت ناگهانی، سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود، پرش تاک، اسکات تک پا و تعادل ستاره) خلاصه می‌کند.

آزمون	آماده‌سازی	اجرای آزمون	معیارهای روایی
پرش عمودی از ارتفاع	جعبه ۳۰ سانتی‌متری؛ پاها به اندازه عرض شانه؛ دست‌ها روی لگن	پایین آمدن از جعبه، فرود هم‌زمان با هر دو پا روی صفحات نیرو، سپس اجرای بلافاصله یک پرش عمودی بیشینه	رؤیت کامل مارکرها، نشانگر صفحه نیرو، سیگنال الکترومایوگرافی؛ فرود کامل روی صفحه نیرو؛ عدم خطاهای عمده
سیستم امتیازدهی خطای پرش‌فرود	جعبه ۳۰ سانتی‌متری؛ پاها به اندازه عرض شانه، دست‌ها آزاد، فاصله هدف = ۵۰ درصد طول بدن	پرش رو به جلو از جعبه به روی صفحات نیرو و فرود هم‌زمان، بلافاصله حداکثر پرش	رؤیت کامل مارکرها، نشانگر صفحه نیرو، سیگنال الکترومایوگرافی؛ امتیازدهی مستقل توسط ۲ آزمونگر آموزش‌دیده و یادداشت رکوردها؛ عدم بروز خطاهای عمده
دویدن همراه با تغییر جهت ناگهانی	دویدن از محل ورودی تا ۱۰ متر؛ پای برتر روی نشانگر صفحه نیرو؛ گیت زمان‌سنج؛ تغییر جهت ۹۰ درجه با مانع	دوی ۷ متر، گذاشتن پای برتر با تغییر جهت ۴۵ درجه و پیمودن ۳ متر مسافت اضافی	رؤیت کامل مارکرها، نشانگر صفحه نیرو، سیگنال الکترومایوگرافی؛ سرعت ورودی در محدوده ±۱۰ درصد هدف ۴/۵ متر/ثانیه؛ زاویه تغییر جهت صحیح با مانع؛ عدم تماس دست؛ گام‌برداری معتبر برروی صفحه نیرو؛ عدم بروز خطاهای عمده
اسکات تک پا	تکیه بر اندام برتر؛ دست‌ها روی کمر؛ مرجع دیداری برای فلکشن زانو ۶۰ تا ۷۰ درجه	اجرای اسکات تک پا تا حدود ۶۰ تا ۷۰ درجه؛ اندام مقابل در فلکشن حدود ۹۰ درجه	رؤیت کامل مارکرها، نشانگر صفحه نیرو، سیگنال الکترومایوگرافی؛ ثبات وضعیت؛ عدم تماس اندام مقابل؛ عدم چرخش بیش‌ازحد تنه؛ دستیابی به عمق کامل؛ عدم بروز خطاهای عمده
تعادل ستاره‌ای	تکیه بر اندام برتر؛ نشانه‌گیری دورترین فاصله در ۸ جهت نرمال‌سازی برحسب طول اندام	حفظ تعادل روی پای برتر؛ بیشینه کردن دسترسی اندام مقابل در جهت‌های مشخص و تماس سبک با نشانگر	رؤیت کامل مارکرها، نشانگر صفحه نیرو، سیگنال الکترومایوگرافی؛ حفظ تعادل؛ عدم بلند شدن پاشنه؛ بازگشت کنترل شده به وضعیت ایستاده؛ نرمال‌سازی فاصله‌ها به طول اندام؛ عدم بروز خطاهای عمده
پرش تاک	دست‌ها در کنار بدن؛ مدت ۱۰ ثانیه؛ ریتم حدود ۲ پرش در ثانیه با راهنمایی کلامی	اجرای پرش‌های متوالی تاک با بالا آوردن زانوها تا نزدیک قفسه سینه و ران‌ها موازی در هر پرش	رؤیت کامل مارکرها؛ حفظ فرم و ریتم؛ توقف آزمون در صورت ناهماهنگی حرکتی؛ حذف تلاش‌ها عدم بروز خطاهای عمده

طب توانبخشی

This Page Intentionally Left Blank