Journal of
Biomechanics and technology in sport

Vol. 1, No. 1, Winter 2026

Research Paper

Comparison of the Effectiveness of Static, Dynamic, and Injury Prevention Warm-up Protocols on Selected Performance Indicators and Kinetic Indices During Single-Leg Landing in Male Athletes

Nematollah Behboodian[*1], **Rahman Amiri**[2]

1. MSc of Sport Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

2. PhD in Sports Pathology and Corrective Exercises, Department of Sports Pathology and Corrective Exercises, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Citation Behboodian N, Amiri R. Comparison of the Effectiveness of Static, Dynamic, and Injury Prevention Warm-up Protocols on Selected Performance Indicators and Kinetic Indices During Single-Leg Landing in Male Athletes (In Persian). Journal of Biomechanics and technology in sport. 2026;1(1): [105-123].

doi: 10.22103/jbts.2026.27399.1022

Keywords

Static Warm-up

Dynamic Warm-up

Injury Prevention Program

Kinetic Indices

Triple-leg Hop

Single-leg Landing

Anterior Cruciate Ligament

Received: 2025/12/30

Accepted: 2026/04/20

Available Online:2026/04/24

ABSTRACT

Introduction The aim of the present study was to compare the acute effects of static, dynamic, and injury prevention warm-up protocols on selected performance indicators and kinetic indices during single-leg landing in male athletes aged 18-25 years.

Methods Thirty-six male athletes were selected and randomly assigned to three groups: static warm-up (n=12, age: 23.08±1.50 years, height: 180.08±2.02 cm, weight: 74.83±3.15 kg, BMI: 23.06±0.73 kg/m²), dynamic warm-up (n=12, age: 22.83±1.85 years, height: 178.41±1.56 cm, weight: 71.91±3.31 kg, BMI: 22.58±0.84 kg/m²), and injury prevention program (n=12, age: 22.75±1.81 years, height: 179.33±1.92 cm, weight: 73.16±3.01 kg, BMI: 22.75±0.95 kg/m²). The triple-leg hop test and an AMTI force plate were used to assess performance and ground reaction force, respectively. After the pre-test, each warm-up protocol was performed for 10-15 minutes, followed by the post-test. Analysis of covariance (ANCOVA) with Bonferroni post-hoc test was used for between-group comparisons, and paired t-test was used for within-group comparisons, with a significance level set at 0.05.

Results The results of ANCOVA showed significant differences among the three groups (static, dynamic, and injury prevention program) in triple-leg hop and ground reaction force variables (P=0.001). Bonferroni post-hoc test revealed significant differences between all pairs of groups (static vs. dynamic, static vs. injury prevention, and dynamic vs. injury prevention) in both variables (P=0.001). The paired t-test results indicated that changes in the triple-leg hop variable in the dynamic warm-up group were not significant (P=0.79); however, changes in the other variables were significant in all groups (P=0.001).

Conclusion According to the findings of this acute effect study, the injury prevention program (containing plyometric and balance exercises) showed the greatest positive effect, static warm-up showed the least positive effect (and even a negative effect on performance), and dynamic warm-up showed an intermediate effect on performance and kinetic variables related to ACL injury risk. Although the injury prevention program improved landing patterns in the short term, it should be emphasized that these findings are based on a single session of warm-up and cannot be extrapolated to actual injury prevention. Long-term effectiveness of this program requires future longitudinal studies with appropriate follow-up periods.

*Corresponding Author

Nematollah Behboodian, MSc of Sport Biomechanics

Address: Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Email: behboodian_n1368@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

Sports injuries are a major challenge in physical activities and competitive sports, with the lower extremity being particularly vulnerable due to its primary role in movements such as running, cutting, jumping, and landing. Among the joints of the lower extremity, the knee joint is of special importance because it is located in the middle of the kinetic chain and experiences high loads during athletic activities. The dynamic stability of the knee largely depends on the proper function of the periarticular muscles and neuromuscular coordination of the lower extremity [1].

The anterior cruciate ligament (ACL) is a key structure in maintaining knee stability, and ACL injury is a common and serious injury among athletes. ACL injury can lead to knee instability, proprioceptive deficits, reduced athletic performance, and difficulty returning to pre-injury activity levels [2-4]. Most non-contact ACL injuries occur during landing, sudden stopping, cutting, and jumping maneuvers [5,6]. Recent studies have shown that ACL injury is multifactorial, with factors such as reduced knee flexion during landing, increased dynamic knee valgus, inadequate trunk and hip control, hip abductor weakness, and improper landing patterns contributing to increased mechanical loading of the ACL [7]. Therefore, assessing ACL injury risk requires consideration of multiple kinetic and kinematic variables.

Kinetic variables, such as ground reaction forces (GRF), provide important information about the loads imposed on the body during landing. Increased GRF, especially in the absence of adequate neuromuscular control, may be associated with increased knee joint loading. However, a more complete interpretation of ACL injury risk requires simultaneous assessment of kinematic variables [7].

Warm-up is a key component of athlete preparation prior to training and competition. Different warm-up protocols have varying effects on performance and neuromuscular responses. Recent systematic reviews have shown that dynamic stretching in warm-ups can have more favorable effects on jumping performance and lower extremity preparation compared to static stretching [8]. Injury prevention programs incorporating neuromuscular, balance, agility, strength, and plyometric exercises have gained increasing attention [9]. However, the acute effects of these programs on performance and kinetic indices during landing require further investigation.

Therefore, this study aimed to compare the acute effects of static warm-up, dynamic warm-up, and an injury prevention program on selected performance indicators and kinetic indices during single-leg landing in male athletes aged 18-25 years.

Method

The statistical population consisted of male university athletes (students of physical education at Kharazmi University). Based on inclusion criteria, 36 eligible male athletes were selected and randomly assigned to three groups (n=12 per group): static warm-up (age: 23.08±1.50 years, height: 180.08±2.02 cm, weight: 74.83±3.15 kg, BMI: 23.06±0.73 kg/m²), dynamic warm-up (age: 22.83±1.85 years, height: 178.41±1.56 cm, weight: 71.91±3.31 kg, BMI: 22.58±0.84 kg/m²), and injury prevention program (age: 22.75±1.81 years, height: 179.33±1.92 cm, weight: 73.16±3.01 kg, BMI: 22.75±0.95 kg/m²) [10,11]. Athletes were defined as individuals who performed regular physical activity at least three sessions per week, each session lasting a minimum of one hour [12]. Inclusion criteria were: age 18-25 years, BMI 18.5-24.9 kg/m², general health,

no knee pain or dislocation history, no ACL rupture, no lower extremity surgery or fracture history, and no postural abnormalities affecting the study. Exclusion criteria included unwillingness to continue participation and any injury or illness preventing physical activity. An AMTI force plate (USA) was used to measure kinetic indices during single-leg landing. Ground reaction force (GRF) components, including vertical and anterior-posterior forces, were recorded at a sampling frequency of 1000 Hz [13,14]. A 40 cm high box was placed 10 cm from the force plate for the drop landing task. Lower extremity performance was assessed using the triple-leg hop test. Participants performed three consecutive hops on their dominant leg, and the maximum distance covered was recorded as the individual's score. Errors (contact of the opposite foot or hands with the ground, loss of balance, or an extra hop) resulted in repetition of the test [16]. All participants signed written informed consent. The study was conducted in the biomechanics laboratory of Kharazmi University (Tehran, Iran) during a single 30-45 minute session. After pre-test measurements (triple-leg hop and GRF), each group performed their respective 10-15 minute warm-up protocol: static warm-up (5 minutes jogging + 5 static stretches held for 30 seconds each) [15], dynamic warm-up (dynamic stretching and agility drills over 10-20 m distances) [15], or injury prevention program (identical to dynamic warm-up plus additional plyometric and balance exercises including jump with balance, double squat, squat jump, glute bridge, shuffle, and forward jump) [15]. Post-test measurements were then conducted under identical conditions. Descriptive statistics (mean ± SD) were calculated. Normality was verified using the Shapiro-Wilk test. One-way ANOVA confirmed no significant differences in demographic variables among groups at baseline. Between-group comparisons were performed using ANCOVA with pre-test scores as covariates, followed by Bonferroni post-hoc test. Within-group comparisons (pre-test vs. post-test) were analyzed using paired t-test. Significance level was set at $P < 0.05$. SPSS version 22 was used for all analyses.

Result

The aim of the present study was to compare the effectiveness of static, dynamic, and injury prevention warm-up protocols on selected performance indicators and kinetic indices during single-leg landing in male athletes aged 18-25 years. A total of 36 participants were randomly assigned to three groups of 12 each: static warm-up (age: 23.08±1.50 years, height: 180.08±2.02 cm, weight: 74.83±3.15 kg, BMI: 23.06±0.73 kg/m²), dynamic warm-up (age: 22.83±1.85 years, height: 178.41±1.56 cm, weight: 71.91±3.31 kg, BMI: 22.58±0.84 kg/m²), and injury prevention program (age: 22.75±1.81 years, height: 179.33±1.92 cm, weight: 73.16±3.01 kg, BMI: 22.75±0.95 kg/m²). One-way ANOVA results showed no significant differences in descriptive variables among the three groups ($P > 0.05$).

No significant differences were observed among groups in pre-test values for any variable. ANCOVA results revealed significant differences among the three groups in triple-leg hop ($P = 0.001$, $\eta^2p = 0.86$), vertical ground reaction force ($P = 0.001$, $\eta^2p = 0.98$), and anterior-posterior ground reaction force ($P = 0.001$, $\eta^2p = 0.95$). The Bonferroni post-hoc test showed significant differences between all pairs of groups (static vs. dynamic, static vs. injury prevention, and dynamic vs. injury prevention) in all three variables ($P = 0.001$).

The paired t-test results indicated that changes in triple-leg hop were significant in the static warm-up group ($P = 0.001$) and injury prevention group ($P = 0.001$), but not in the dynamic warm-up group ($P = 0.79$). Specifically, static warm-up decreased performance (pre-test: 354.41±24.53 vs. post-test: 345.75±25.46), the injury prevention program improved performance (pre-test: 347.16±29.16 vs. post-test: 351.25±29.32), and dynamic warm-up had no significant effect on triple-leg hop performance (pre-test: 362.08±26.78 vs. post-test: 361.83±27.33).

Changes in vertical ground reaction force were significant in all three groups (P = 0.001). Static warm-up increased this force (pre-test: 2381.41±331.91 vs. post-test: 2693.08±345.18), dynamic warm-up also increased it (pre-test: 2371.41±335.81 vs. post-test: 2421.25±343.92), while the injury prevention program decreased it (pre-test: 2705.08±326.84 vs. post-test: 2651.25±338.40). Similarly, changes in anterior-posterior ground reaction force were significant in all three groups (P = 0.001). Static warm-up increased this force (pre-test: 139.33±24.81 vs. post-test: 170.66±23.34), dynamic warm-up also increased it (pre-test: 146.50±26.47 vs. post-test: 148.33±25.80), and the injury prevention program decreased it (pre-test: 146.75±27.63 vs. post-test: 141.58±28.06).

Conclusion

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All participants voluntarily took part in this study and signed a written informed consent form. Prior to the start of the research procedures, all stages of the study and any potential risks were fully explained to the participants. The participants were free to withdraw from the study at any time if they were not satisfied or no longer wished to continue. Furthermore, in the event of any injury or illness that would prevent physical activity during the research process, the participant was excluded from continuing the study. All experimental procedures were conducted in a comfortable, enclosed laboratory environment to ensure the well-being of the participants. Personal information and photographs of the participants were not disclosed anywhere.

Funding

This study received no financial support or research funding.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection, data analysis, interpretation of the findings, and drafting and revision of the manuscript. All authors read and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

مقاله پژوهشی

مقایسه اثربخشی پروتکل‌های گرم‌کردن ایستا، پویا و برنامه پیشگیری از آسیب بر شاخص‌های عملکردی منتخب و شاخص‌های کینتیکی حین فرود تک‌پا در مردان ورزشکار

نعمت‌اله بهبودیان*[۱]، رحمان امیری[۲]

۱.کارشناس ارشد بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲. دکترای آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، گروه آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

Citation Behboodian N, Amiri R. Comparison of the Effectiveness of Static, Dynamic, and Injury Prevention Warm-up Protocols on Selected Performance Indicators and Kinetic Indices During Single-Leg Landing in Male Athletes (In Persian). Journal of Biomechanics and technology in sport. 2026;1(1): [105-123].

doi: 10.22103/jbts.2026.27399.1022

کلمات کلیدی:

گرم‌کردن ایستا

گرم‌کردن پویا

برنامه پیشگیری از آسیب

شاخص‌های کینتیکی

لی‌لی سه‌گانه

فرود تک‌پا

لیگامان صلیبی قدامی

چکیده

مقدمه: هدف از تحقیق حاضر مقایسه اثربخشی پروتکل‌های گرم کردن ایستا، پویا و برنامه پیشگیری از آسیب بر شاخص‌های عملکردی منتخب و شاخص‌های کینتیکی حین فرود تک‌پا در مردان ورزشکار ۱۸-۲۵ سال بود.

روش پژوهش: ۳۶ نفر ورزشکار مرد انتخاب و بصورت تصادفی به سه گروه گرم کردن ایستا (۱۲ نفر، سن: ۱/۵۰ ± ۲۳/۰۸، قد: ۲/۰۲ ± ۱۸۰/۰۸، وزن: ۳/۱۵ ± ۷۴/۸۳، BMI: ۰/۷۳ ± ۲۳/۰۶)، گرم کردن پویا (۱۲ نفر، سن: ۱/۸۵ ± ۲۲/۸۳، قد: ۱/۵۶ ± ۱۷۸/۴۱، وزن: ۳/۳۱ ± ۷۱/۹۱، BMI: ۰/۸۴ ± ۲۲/۵۸) و برنامه پیشگیری از آسیب (۱۲ نفر، سن: ۱/۸۱ ± ۲۲/۷۵، قد: ۱/۹۲ ± ۱۷۹/۳۳، وزن: ۳/۰۱ ± ۷۳/۱۶، BMI: ۰/۹۵ ± ۲۲/۷۵) تقسیم‌بندی شدند. جهت ارزیابی عملکرد و نیروی عکس العمل زمین از آزمون های لی‌لی سه گانه و دستگاه صفحه نیرو AMTI استفاده گردید. پس از پیش آزمون، هر کدام از سه پروتکل گرم کردن به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه انجام و پس از آن پس آزمون گرفته شد. به‌منظور مقایسه بین گروهی از آزمون کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی و برای بررسی درون گروهی از آزمون تی وابسته در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج آزمون کوواریانس نشان داد که بین گروه های گرم کردن ایستا، گرم کردن پویا و برنامه پیشگیری از آسیب در متغیرهای لی لی سه گانه و نیروی عکس العمل زمین اختلاف معنی داری وجود دارد (P=۰/۰۰۱). نتایج آزمون بونفرونی نشان داد که بین گروه های گرم کردن ایستا با گرم کردن پویا، گرم کردن ایستا با برنامه پیشگیری از آسیب و گرم کردن پویا با برنامه پیشگیری از آسیب در متغیرهای لی لی سه گانه و نیروی عکس العمل زمین اختلاف معنی داری وجود دارد (P=۰/۰۰۱). نتایج آزمون t وابسته نشان داد که تغییرات متغیر لی لی سه گانه در گروه گرم کردن پویا معنی دار نبود (P=۰/۷۹). اما تغییرات سایر متغیرها در گروه ها معنی دار بود (P=۰/۰۰۱).

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج، از بین پروتکل‌های گرم کردن، برنامهٔ پیشگیری از آسیب بیشترین و گرم کردن ایستا کمترین اثر مثبت و گرم کردن پویا اثری تقریباً بینابین را نشان دادند. همچنین با توجه به اثر مثبت برنامهٔ پیشگیری از آسیب بر روی عملکرد افراد می‌توان به داشتن تمرینات پلایومتریک و تعادلی این برنامه اشاره کرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۰۴

***نویسنده مسئول:**

نعمت‌اله بهبودیان، کارشناس ارشد بیومکانیک ورزشی

آدرس: گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی ،دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

پست الکترونیکی: behboodian_n1368@yahoo.com

مقدمه

آسیب‌های ورزشی یکی از چالش‌های مهم در فعالیت‌های بدنی و ورزش‌های رقابتی محسوب می‌شوند و اندام تحتانی به دلیل نقش اصلی در حرکاتی مانند دویدن، تغییر جهت، پرش و فرود، بیشتر در معرض آسیب قرار دارد. در میان مفاصل اندام تحتانی، مفصل زانو به دلیل قرار گرفتن در بخش میانی زنجیره حرکتی اندام تحتانی و تحمل نیروهای زیاد در فعالیت‌های ورزشی، اهمیت ویژه‌ای دارد. ثبات پویای این مفصل تا حد زیادی به عملکرد مناسب عضلات اطراف زانو و هماهنگی عصبی-عضلانی اندام تحتانی وابسته است؛ بنابراین اختلال در عملکرد عضلات و کنترل حرکتی می‌تواند زانو را در معرض بارهای نامطلوب و آسیب قرار دهد (۱).

لیگامان صلیبی قدامی یکی از ساختارهای مهم در حفظ ثبات مفصل زانو است و آسیب آن از جمله آسیب‌های شایع و جدی در میان ورزشکاران به شمار می‌رود. آسیب ACL می‌تواند با ناپایداری مفصل زانو، اختلال در حس عمقی، کاهش عملکرد ورزشی، محدودیت در فعالیت‌های بدنی و دشواری در بازگشت به سطح فعالیت پیشین همراه باشد (۲-۴). بسیاری از آسیب‌های ACL در شرایط غیرتماسی و هنگام حرکاتی مانند فرود، توقف ناگهانی، تغییر جهت و پرش رخ می‌دهند (۵،۶). مطالعات جدیدتر نشان داده‌اند که آسیب ACL پدیده‌ای چندعاملی است و عواملی مانند کاهش فلکشن زانو هنگام فرود، افزایش والگوس پویای زانو، کنترل ناکافی تنه و ران، ضعف عضلات ابداکتور ران و الگوی نامناسب فرود می‌توانند در افزایش بار مکانیکی وارد بر ACL نقش داشته باشند (۷). از این رو، ارزیابی عوامل مرتبط با آسیب ACL تنها با یک متغیر امکان‌پذیر نیست و باید مجموعه‌ای از شاخص‌های کینتیکی و کینماتیکی در نظر گرفته شود.

در بررسی عوامل مرتبط با بارگذاری اندام تحتانی، متغیرهای کینتیکی مانند نیروی عکس‌العمل زمین می‌توانند اطلاعات مهمی درباره میزان بار وارد بر بدن حین فرود فراهم کنند. افزایش نیروهای وارد بر بدن در زمان تماس پا با زمین، به‌ویژه در شرایطی که کنترل عصبی-عضلانی کافی وجود نداشته باشد، ممکن است با افزایش بار مفصل زانو همراه شود. با این حال، برای تفسیر کامل‌تر خطر آسیب ACL، بررسی هم‌زمان متغیرهای کینماتیکی مانند زاویه والگوس زانو، میزان فلکشن زانو و مکانیک مفصل ران نیز اهمیت دارد (۷). بنابراین، مطالعه شاخص‌های کینتیکی حین فرود می‌تواند بخشی از شناخت ما درباره بارگذاری اندام تحتانی را فراهم کند.

گرم‌کردن یکی از اجزای اصلی آماده‌سازی ورزشکاران پیش از تمرین و مسابقه است و با هدف افزایش آمادگی جسمانی، بهبود عملکرد و کاهش احتمال آسیب‌دیدگی انجام می‌شود. نوع گرم‌کردن می‌تواند اثرات متفاوتی بر عملکرد ورزشی و پاسخ‌های عصبی-عضلانی داشته باشد. گرم‌کردن ایستا معمولاً با نگه‌داشتن عضله در وضعیت کشش انجام می‌شود، اگرچه

ممکن است دامنه حرکتی را افزایش دهد، اما در برخی شرایط می‌تواند اثر مطلوبی بر عملکردهای انفجاری نداشته باشد. در مقابل، گرم‌کردن پویا شامل حرکات فعال و کنترل‌شده‌ای است که شباهت بیشتری به فعالیت‌های ورزشی دارد و می‌تواند از طریق افزایش دمای عضله، تحریک سیستم عصبی-عضلانی و آماده‌سازی حرکتی، عملکرد اندام تحتانی را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج مرورهای جدید نیز نشان داده‌اند که کشش پویا در گرم‌کردن، در مقایسه با کشش ایستا، می‌تواند اثر مطلوب‌تری بر عملکرد پرشی و آماده‌سازی اندام تحتانی داشته باشد (۸).

در سال‌های اخیر، برنامه‌های پیشگیری از آسیب با تأکید بر تمرینات عصبی-عضلانی، تعادلی، چابکی، قدرتی و پلایومتریک مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. این برنامه‌ها با هدف بهبود کنترل حرکتی، افزایش پایداری اندام تحتانی و اصلاح الگوهای حرکتی پرخطر طراحی می‌شوند. شواهد جدید نشان می‌دهد که برنامه‌های گرم‌کردن عصبی-عضلانی می‌توانند در کاهش آسیب‌های ورزشی و بهبود کنترل حرکتی ورزشکاران نقش داشته باشند (۹). با وجود این، اثر حاد این نوع برنامه‌ها در مقایسه با روش‌های رایج گرم‌کردن، به‌ویژه بر شاخص‌های عملکردی و کینتیکی حین فرود، همچنان نیازمند بررسی بیشتر است.

با توجه به اهمیت گرم‌کردن در آماده‌سازی ورزشکاران و نقش شاخص‌های کینتیکی و عملکردی در ارزیابی پاسخ اندام تحتانی به فعالیت، پژوهش حاضر با هدف مقایسه اثربخشی پروتکل‌های گرم‌کردن ایستا، گرم‌کردن پویا و برنامه پیشگیری از آسیب بر شاخص‌های عملکردی منتخب و شاخص‌های کینتیکی حین فرود تک‌پا در مردان ورزشکار ۱۸ تا ۲۵ سال انجام شد.

روش‌شناسی پژوهش

شرکت‌کنندگان

جامعه آماری تحقیق حاضر را مردان ورزشکار دانشگاهی (دانشجویان تربیت بدنی دانشگاه خوارزمی) تشکیل می‌دادند که براساس سن و ورزش طبقه‌بندی شدند که از بین آنها ۳۶ نفر، براساس معیارهای ورود به تحقیق انتخاب و به‌صورت تصادفی در یکی از سه گروه گرم کردن ایستا (۱۲ نفر، سن: ۱/۵۰ ± ۲۳/۰۸، قد: ۲/۰۲ ± ۱۸۰/۰۸، وزن: ۳/۱۵ ± ۷۴/۸۳، BMI: ۰/۷۳ ± ۲۳/۰۶)، گرم کردن پویا (۱۲ نفر، سن: ۱/۸۵ ± ۲۲/۸۳، قد: ۱/۵۶ ± ۱۷۸/۴۱، وزن: ۳/۳۱ ± ۷۱/۹۱، BMI: ۰/۸۴ ± ۲۲/۵۸) و برنامه پیشگیری از آسیب (۱۲ نفر، سن: ۱/۸۱ ± ۲۲/۷۵، قد: ۱/۹۲ ± ۱۷۹/۳۳، وزن: ۳/۰۱ ± ۷۳/۱۶، BMI: ۰/۹۵ ± ۲۲/۷۵) قرار گرفتند. با توجه به ماهیت آزمایشگاهی پژوهش و براساس مطالعات مشابه در زمینه اثر حاد پروتکل‌های گرم‌کردن بر شاخص‌های عملکردی و آمادگی جسمانی، ۳۶ ورزشکار مرد واجد شرایط انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی در سه گروه ۱۲ نفره قرار گرفتند (۱۰،۱۱). در پژوهش حاضر منظور از ورزشکار، فردی بود که حداقل سه جلسه در هفته و هر جلسه دست‌کم یک ساعت فعالیت بدنی منظم داشت (۱۲).

ابزار

۱. صفحه نیرو

برای اندازه‌گیری شاخص‌های کینتیکی، از دستگاه صفحه نیرو AMTI ساخت کشور آمریکا استفاده شد. مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین شامل نیروی عمودی و نیروی قدامی-خلفی حین فرود تک‌پا ثبت گردید. داده‌های نیروی عکس‌العمل زمین با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز، از لحظه تماس پای آزمودنی با صفحه نیرو ثبت شد. برای اجرای آزمون فرود، از جعبه‌ای به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر استفاده گردید که در فاصله ۱۰ سانتی‌متری صفحه نیرو قرار داشت.

۲. آزمون لی‌لی سه‌گانه

برای ارزیابی عملکرد اندام تحتانی از آزمون لی‌لی سه‌گانه استفاده شد. در این آزمون، آزمودنی سه لی‌لی متوالی با پای غالب انجام می‌داد و بیشترین مسافت طی‌شده به‌عنوان رکورد فرد ثبت می‌شد. آزمودنی نباید هنگام فرود بیش از دو ثانیه مکث می‌کرد. تماس پای مقابل یا دست‌ها با زمین، از دست دادن تعادل و انجام لی‌لی اضافی هنگام فرود به‌عنوان خطا در نظر گرفته شد و در صورت وقوع هر یک از این خطاها، آزمون تکرار می‌شد.

۳. ویژگی‌های آنتروپومتریکی

قد، وزن و شاخص توده بدنی آزمودنی‌ها به‌عنوان ویژگی‌های آنتروپومتریکی ثبت شد. شاخص توده بدنی براساس مقادیر قد و وزن محاسبه گردید و برای توصیف ویژگی‌های آزمودنی‌ها و مقایسه اولیه گروه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

روند اجرای پژوهش

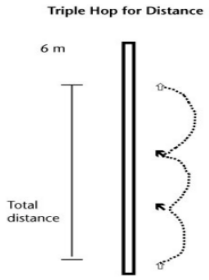
تمام آزمودنی‌ها رضایت نامه آگاهانه کتبی شرکت در تحقیق را امضا کردند. آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی و براساس معیارهای ورود به مطالعه برای تکمیل یک جلسه آزمون ۳۰ تا ۴۵ دقیقه‌ای در آزمایشگاه دانشکده تربیت بدنی دانشگاه خوارزمی تهران در سال ۱۳۹۵ حضور پیدا کرده و به سه گروه شامل: ۱- گرم کردن ایستا[1]، ۲- گرم کردن پویا[2] و ۳- برنامه پیشگیری از آسیب[3] تقسیم‌بندی شدند. معیارهای ورود به مطالعه عبارت بود از قرار داشتن در دامنه سنی ۲۵-۱۸ سال، داشتن سلامت عمومی، داشتن BMI ۲۴/۹-۱۸/۵، عدم وجود درد، سابقه دررفتگی و نیمه دررفتگی در زانو، عدم وجود پارگی در ACL، عدم وجود سابقه جراحی در اندام تحتانی، عدم وجود هرگونه سابقه شکستگی و جراحی در مفاصل اندام تحتانی و عدم ابتلاء به هرگونه ناهنجاری وضعیتی اثرگذار بر روند تحقیق را داشتند. آزمودنی ها از نظر قد، وزن، BMI و طول پا درگروه های مورد نظر نرمال شده بودند. از آزمودنی‌ها پیش‌آزمون ارزیابی عملکرد و حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین به ترتیب با استفاده از آزمون لی‌لی سه‌گانه و صفحهٔ نیرو به‌عمل آمد. سپس هر گروه یک پروتکل گرم کردن استاندارد شده ۱۰ تا ۱۵ دقیقه‌ای انجام دادند. آزمودنی‌ها به اینکه در کدام یک از پروتکل‌های گرم کردن قرار می‌گرفتند ناآگاه بودند. پس از

[1]. Static Warm-Up
[2]. Dynamic Warm-Up
[3]. Injury-Prevention Program

انجام سه پروتکل گرم کردن، پس‌آزمون آزمون‌های لی‌لی سه‌گانه و حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین در شرایط اندازه‌گیری‌های پیش‌آزمون انجام گرفت. در ضمن از جمله معیارهای خروج از تحقیق شامل عدم رضایت آزمودنی ها و عدم تمایل آنها به ادامه روند تحقیق و همچنین آسیب ها و بیماری هایی که مانع فعالیت بدنی آزمودنی ها در طول روند انجام تحقیق شوند، بودند.

جهت بررسی نیروی عکس العمل زمین، آزمودنی‌ها فرود آمدن عمودی بر روی یک پا را با پای غالب از روی جعبه‌ای به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر بر روی صفحهٔ نیرو که از جعبه‌ی مورد نظر ۱۰ سانتی‌متر فاصله داشت انجام دادند و از اطلاعات نیروهای عکس‌العمل زمین شاخص‌های مدنظر استخراج شد (۱۳،۱۴). به این صورت که فرد روی جعبه در وضعیتی متعادل نزدیک به لبه جعبه به‌طریقی ایستاد که پای غالب در حالت معلق قرار داشت. این وضعیت با کنترل مرکز ثقل حرکات افقی بدن را محدود می‌کرد و سپس از او خواسته می‌شد که یک فرود انجام دهد و به محض استقرار، دست‌ها را در ناحیه لگن قرار داده، سر را بالا نگه دارد و روبرو را نگاه کند و سعی کند که تعادلش را حفظ نماید. قبل از اینکه آزمودنی آزمون فرود آمدن را انجام دهد از وی خواسته می‌شد تا حرکت فرود را سه بار انجام دهد تا با شرایط و نحوه‌ی اجرای آزمون آشنا گردد. اطلاعات نیروهای عکس‌العمل زمین توسط صفحه نیرو با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز از لحظه‌ای که پای فرد با صفحه نیرو تماس می‌یافت ثبت شد (شکل ۱) (۱۳،۱۵).

شکل ۱. آزمون فرود تک‌پا



شکل ۲. آزمون لی‌لی سه‌گانه

جهت ارزیابی عملکرد از آزمون لی‌لی سه‌گانه[4] استفاده شد. در آزمون لی‌لی سه‌گانه فرد سه لی‌لی پشت سر هم انجام می‌دهد و حداکثر مسافت کسب شده به‌عنوان رکورد فرد در نظر گرفته می‌شود. در آزمون لی‌لی سه‌گانه آزمودنی نباید حین فرود بیشتر از دو ثانیه مکث داشته باشد. خطاها در اجرا شامل تماس پای دیگر یا دست‌ها با زمین حین انجام لی‌لی با یک‌پا، از دست دادن تعادل و لی‌لی اضافی حین فرود می‌باشد. وجود هر کدام از خطاهای ذکر شده باعث تکرار اجرا شد (۱۶).

پروتکل گرم کردن ایستا: پروتکل گرم کردن ایستا روی افزایش طول عضلات اندام تحتانی شامل همستریگ، چهارسرانی، مجموعه دوقلو-نعلی، خم کننده‌های ران و دورکننده‌های ران متمرکز بود. این پروتکل با یک سرعت راحت با پنج دقیقه

[4] Triple hop for distance

دویدن شروع شده و سپس پنج کشش دو طرفه ایستا انجام شد. هر کشش برای حدود ۳۰ ثانیه تا آستانه درد نگه داشته شد. در تدوین این پروتکل از مطالعات قبلی که در آن فایگن باوم[5] و همکاران (۲۰۰۵) یک پروتکل گرم کردن ایستا را با ورزشکاران جوان کار کرده بودند، استفاده شده بود (پیوست ۱) (۱۵).

پروتکل گرم کردن پویا: پروتکل گرم کردن پویا روی افزایش تدریجی در شدت گرم کردن تمرکز داشت مانند حرکات پویا که از بازی واقعی تقلید می‌شود (مثل این سو و آن سو حرکت کردن و عقب نشینی). این پروتکل به سه مرحله تقسیم می‌شد: یک حرکت پویا شامل کشش پویا و تمرینات چابکی به فاصله ۱۰ متر، دویدن با سرعت به فاصله ۱۰ متر و یک بازیابی آهسته دویدن به عقب تا خط شروع؛ مخروط‌ها از خط شروع به فاصله ۱۰ و ۲۰ متر قرار داشت که دلالت به فاز انتقال داشت. پروتکل گرم کردن پویا شامل تمرینات انعطاف‌پذیری پویا برای عضلات همسترینگ، چهارسررانی، مجموعه دوقلو-نعلی، فلکسورهای ران، ادداکتورهای ران و گروه عضلانی گلوتئال[6] می‌باشد (پیوست ۱) (۱۵).

برنامه پیشگیری از آسیب: این پروتکل نیز روی افزایش تدریجی در شدت گرم کردن با همان سه مرحله موجود در پروتکل گرم کردن پویا تمرکز دارد. این سه مرحله شامل: یک حرکت پویا شامل کشش پویا و تمرینات چابکی به فاصله ۱۰ متر، دویدن با سرعت به فاصله ۱۰ متر و یک بازیابی آهسته دویدن به عقب تا خط شروع؛ مخروط‌ها از خط شروع به فاصله ۱۰ و ۲۰ متر قرار داشت که دلالت به فاز انتقال داشت، بود. این پروتکل و پروتکل گرم کردن پویا تمرینات مشابهی را شامل می‌شدند، اما برنامه پیشگیری از آسیب تمرینات پلایومتریک و تعادل را نیز در خود گنجانده است. از جمله این تمرینات می توان به پرش با تعادل، اسکات دوگانه، پرش اسکات، پل زدن ران، شافل با هر دو دست، پرش رو به جلو اشاره کرد (پیوست ۱) (۱۵).

روش آماری

از محیط نرم‌افزار MATLAB برای پردازش داده‌های خام استفاده شد. همچنین از آمار توصیفی به‌منظور برآورد میانگین و انحراف استاندارد شاخص های فیزیولوژیکی و آنتروپومتریکی آزمودنی‌ها استفاده شد. جهت بررسی نرمال بودن داده ها از آزمون شاپیروویلک، برای بررسی تغییرات بین گروه‌ها از آزمون تحلیل کوواریانس و آزمون تعقیبی بونفرونی جهت مقایسه دو به دوی گروه ها و نیز t وابسته برای بررسی تغییرات درون گروهی استفاده گردید. از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ جهت تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شد. معنی دار بودن آزمون ها با اطمینان ۹۵ درصد ($P< ۰/۰۵$) در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

هدف از تحقیق حاضر مقایسه اثربخشی پروتکل‌های گرم‌کردن ایستا، پویا و برنامه پیشگیری از آسیب بر شاخص‌های عملکردی منتخب و شاخص‌های کینتیکی حین فرود تک‌پا در مردان ورزشکار ۲۵-۱۸ سال بود. ۳۶ آزمودنی در سه گروه گرم کردن

5. Faigenbaum
6. Gluteal

ایستا (۱۲ نفر، سن: ۱/۵۰ ± ۲۳/۰۸، قد: ۲/۰۲ ± ۱۸۰/۰۸، وزن: ۳/۱۵ ± ۷۴/۸۳، BMI: ۰/۷۳ ± ۲۳/۰۶)، گرم کردن پویا (۱۲ نفر، سن: ۱/۸۵ ± ۲۲/۸۳، قد: ۱/۵۶ ± ۱۷۸/۴۱، وزن: ۳/۳۱ ± ۷۱/۹۱، BMI: ۰/۸۴ ± ۲۲/۵۸) و برنامه پیشگیری از آسیب (۱۲ نفر، سن: ۱/۸۱ ± ۲۲/۷۵، قد: ۱/۹۲ ± ۱۷۹/۳۳، وزن: ۳/۰۱ ± ۷۳/۱۶، BMI: ۰/۹۵ ± ۲۲/۷۵) قرار گرفتند.

شاخص های فیزیولوژیکی و آنتروپومتریکی آزمودنی ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات آنتروپومتریکی آزمودنی‌های تحقیق (N=۳۶)

شاخص های آنتروپومتریک	گروه‌ها	(Mean± SD)	p
سن(سال)	گرم کردن ایستا (۱۲ نفر)	۲۳/۰۸ ± ۱/۵۰	۰/۸۸
	گرم کردن پویا(۱۲ نفر)	۲۲/۸۳ ± ۱/۸۵	
	برنامه پیشگیری از آسیب (۱۲ نفر)	۲۲/۷۵ ± ۱/۸۱	
قد (سانتی‌متر)	گرم کردن ایستا	۱۸۰/۰۸ ± ۲/۰۲	۰/۱۰
	گرم کردن پویا	۱۷۸/۴۱ ± ۱/۵۶	
	برنامه پیشگیری از آسیب	۱۷۹/۳۳ ± ۱/۹۲	
وزن (کیلوگرم)	گرم کردن ایستا	۷۴/۸۳± ۳/۱۵	۰/۰۹
	گرم کردن پویا	۷۱/۹۱ ± ۳/۳۱	
	برنامه پیشگیری از آسیب	۷۳/۱۶ ± ۳/۰۱	
BMI (کیلوگرم بر متر مربع)	گرم کردن ایستا	۲۳/۰۶ ± ۰/۷۳	۰/۳۷
	گرم کردن پویا	۲۲/۵۸ ± ۰/۸۴	
	برنامه پیشگیری از آسیب	۲۲/۷۵ ± ۰/۹۵	

با توجه به جدول شماره ۱، نتایج آزمون آنوا نشان داد که بین اطلاعات توصیفی سه گروه تفاوت معنی داری وجود ندارد.

در این بخش به‌منظور مقایسه لی‌لی سه‌گانه، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین و نیروی عکس‌العمل زمین در جهت قدامی-خلفی بین گروه‌ها با توجه به برقراری پیش فرض های آزمون کوواریانس از تحلیل کوواریانس و جهت تغییرات درون گروهی از تی وابسته استفاده شد. در ضمن گروه های گرم کردن ایستا، پویا و برنامه پیشگیری از آسیب در متغیرهای لی‌لی سه‌گانه، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین و نیروی عکس‌العمل زمین در جهت قدامی-خلفی در پیش آزمون با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند.

جدول ۲. نتایج آزمون کوواریانس متغیرها

متغیر	گروه	میانگین مجذورات	F	P	اندازه اثر
لی‌لی سه‌گانه	گرم کردن ایستا گرم کردن پویا پیشگیری از آسیب	۵۰۷/۴۲	۹۷/۹۸	*۰/۰۰۱	۰/۸۶
نیروی عمودی عکس‌العمل زمین	گرم کردن ایستا گرم کردن پویا پیشگیری از آسیب	۴۰۱۱۴۵/۲۱	۹۹۱/۹۳۶	*۰/۰۰۱	۰/۹۸
نیروی عکس‌العمل زمین در جهت قدامی-خلفی	گرم کردن ایستا گرم کردن پویا پیشگیری از آسیب	۴۳۶۷/۹۴	۳۴۸/۶۳	*۰/۰۰۱	۰/۹۵

*سطح معناداری ۰۵ / ۰ > p در نظر گرفته شد.

جدول ۳. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی متغیرها

متغیر	گروه		اختلاف میانگین	P
لی‌لی سه‌گانه	گرم کردن ایستا	گرم کردن پویا	-۸/۲۹	*۰/۰۰۱
		پیشگیری از آسیب	-۱۲/۸۶	*۰/۰۰۱
	گرم کردن پویا	پیشگیری از آسیب	-۴/۵۷	*۰/۰۰۱
نیروی عمودی عکس‌العمل زمین	گرم کردن ایستا	گرم کردن پویا	۲۶۱/۵۲	*۰/۰۰۱
		پیشگیری از آسیب	۳۷۵/۶۵	*۰/۰۰۱
	گرم کردن پویا	پیشگیری از آسیب	۱۱۴/۱۳۶	*۰/۰۰۱
نیروی عکس‌العمل زمین در جهت قدامی-خلفی	گرم کردن ایستا	گرم کردن پویا	۲۹/۲۹	*۰/۰۰۱
		پیشگیری از آسیب	۳۶/۲۸	*۰/۰۰۱
	گرم کردن پویا	پیشگیری از آسیب	۶/۹۹	*۰/۰۰۱

با توجه به جدول شماره ۳، نتایج آزمون بونفرونی نشان داد که بین گروه های گرم کردن ایستا با گرم کردن پویا، گرم کردن ایستا با برنامه پیشگیری از آسیب و گرم کردن پویا با برنامه پیشگیری از آسیب در متغیرهای لی‌لی سه‌گانه، نیروی عمودی عکس‌العمل زمین و نیروی عکس‌العمل زمین در جهت قدامی-خلفی اختلاف معنی داری وجود دارد (P=۰/۰۰۱). نتایج مقایسه تغییرات درون گروهی در هر یک از گروه ها و متغیرهای مربوطه توسط آزمون تی وابسته در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به جدول شماره ۴، نتایج آزمون t وابسته نشان داد که تغییرات متغیر لی لی سه گانه در گروه های گرم کردن ایستا (P=۰/۰۰۱) و برنامه پیشگیری از آسیب (P=۰/۰۰۱) معنی دار اما در گروه گرم کردن پویا معنی دار نبود (P=۰/۷۹). بطوری

که می توان گفت گرم کردن ایستا موجب کاهش رکورد، برنامه پیشگیری از آسیب موجب افزایش رکورد و گرم کردن پویا تأثیری معنی دار روی رکورد فاکتور لی لی سه گانه نداشت. همچنین تغییرات متغیرهای نیروی عمودی عکس العمل زمین و نیروی عکس‌العمل زمین در جهت قدامی-خلفی در گروه های گرم کردن ایستا (P=۰/۰۰۱)، گرم کردن پویا (P=۰/۰۰۱) و برنامه پیشگیری از آسیب (P=۰/۰۰۱) معنی دار بود. بطوری که گرم کردن ایستا و پویا باعث افزایش رکورد و برنامه پیشگیری از آسیب باعث کاهش رکورد شد.

جدول ٤. نتایج مقایسه میانگین ها در پیش آزمون و پس آزمون برای متغیرهای تحقیق

متغیر	گروه		M±SD	T	P
لی‌لی سه‌گانه	گرم کردن ایستا	پیش آزمون	۳۵۴/۴۱ ± ۲۴/۵۳	۱۳/۲۲	*۰/۰۰۱
		پس آزمون	۳۴۵/۷۵ ± ۲۵/۴۶		
	گرم کردن پویا	پیش آزمون	۳۶۲/۰۸ ± ۲۶/۷۸	۰/۲۶	۰/۷۹
		پس آزمون	۳۶۱/۸۳ ± ۲۷/۳۳		
	برنامه پیشگیری از آسیب	پیش آزمون	۳۴۷/۱۶ ± ۲۹/۱۶	-۴۹/۰۰	*۰/۰۰۱
		پس آزمون	۳۵۱/۲۵ ± ۲۹/۳۲		
نیروی عمودی عکس-العمل زمین	گرم کردن ایستا	پیش آزمون	۲۳۸۱/۴۱ ± ۳۳۱/۹۱	-۳۱/۹۹	*۰/۰۰۱
		پس آزمون	۲۶۹۳/۰۸ ± ۳۴۵/۱۸		
	گرم کردن پویا	پیش آزمون	۲۳۷۱/۴۱ ± ۳۳۵/۸۱	-۱۳/۱۶	۰/۰۰۱
		پس آزمون	۲۴۲۱/۲۵ ± ۳۴۳/۹۲		
	برنامه پیشگیری از آسیب	پیش آزمون	۲۷۰۵/۰۸ ± ۳۲۶/۸۴	۱۳/۵۲	*۰/۰۰۱
		پس آزمون	۲۶۵۱/۲۵ ± ۳۳۸/۴۰		
نیروی عکس‌العمل زمین در جهت قدامی-خلفی	گرم کردن ایستا	پیش آزمون	۱۳۹/۳۳ ± ۲۴/۸۱	-۱۸/۵۹	*۰/۰۰۱
		پس آزمون	۱۷۰/۶۶ ± ۲۳/۳۴		
	گرم کردن پویا	پیش آزمون	۱۴۶/۵۰ ± ۲۶/۴۷	-۴/۷۵	*۰/۰۰۱
		پس آزمون	۱۴۸/۳۳ ± ۲۵/۸۰		
	برنامه پیشگیری از آسیب	پیش آزمون	۱۴۶/۷۵ ± ۲۷/۶۳	۱۱/۷۱	*۰/۰۰۱
		پس آزمون	۱۴۱/۵۸ ± ۲۸/۰۶		

*سطح معناداری ۰۵ / ۰ > p در نظر گرفته شد.

بحث

هدف از مطالعه حاضر مقایسه اثربخشی پروتکل‌های گرم کردن ایستا، پویا و برنامه پیشگیری از آسیب بر شاخص‌های عملکردی منتخب و شاخص‌های کینتیکی حین فرود تک‌پا در مردان ورزشکار ۱۸-۲۵ سال بود.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که برنامه گرم کردن حاوی تمرینات پیشگیری از آسیب به‌طور نسبی موجب بهبود بیشتری در تکنیک فرود نسبت به دو برنامه گرم کردن دیگر می‌شود. هر چند مقدار تغییر نسبتاً کم است، اما مزایای حاد مشاهده‌شده بعد از یک جلسه ممکن است یک مزیت افزاینده باشد که در صورت تکرار در هر جلسه تمرینی، پیشرفت‌های بیشتری را به همراه داشته باشد (۱۵،۱۶).

نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات روت و همکاران (۲۰۱۵)، فرانک و همکاران (۲۰۱۳) و پادووا و همکاران (۲۰۰۹) همسو می‌باشد. همچنین مطالعه جدیدتر استرجیو و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد که برنامه‌های گرم کردن عصبی-عضلانی می‌توانند به‌طور معناداری الگوهای حرکتی پرخطر را در کوتاه‌مدت اصلاح کنند. از طرفی نتایج ناهمسو با تحقیق حاضر در این زمینه یافت نگردید.

آسیب به ACL زمانی اتفاق می‌افتد که بار اعمال شده بیش از استحکام کلی رباط باشد. ACL بزرگترین بارگیری را زمانی تحمل می‌کند که نیروی برشی درشت‌نی قدامی در ترکیب با چرخش داخلی-خارجی و/یا لحظاتی والگوس-واروس اعمال می‌شود. در نتیجه، ACL ممکن است در معرض بیشترین خطر برای آسیب‌دیدگی در طول بارگذاری‌های چند صفحه‌ای ترکیب شده قرار گیرد. نیروی برشی درشت‌نی قدامی مستقیم‌ترین مکانیسم بارگذاری در نظر گرفته شده است (۱۷).کاهش نیروی برشی درشت‌نی قدامی از طریق برنامه‌های گرم کردن حاوی تمرینات عصبی-عضلانی می‌تواند یک روش بالقوه برای به حداقل رساندن بارگذاری ACL در کوتاه‌مدت باشد .با این حال، تأثیر طولانی‌مدت این تغییرات بر میزان واقعی آسیب نیازمند مطالعات آینده‌نگر با دوره پیگیری است (۱۸).

بارگذاری ACL در طول فرود آمدن در حداکثر زمان از حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بلافاصله پس از تماس اولیه می‌باشد. پادووا و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که اوج نیروی خلفی عکس‌العمل زمین همزمان با حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین می‌باشد. همچنین گزارش شده که نیروی خلفی عکس‌العمل زمین و فلکشن کم زانو پیش‌بینی قابل توجهی از نیروی برشی درشت‌نی قدامی در طول آزمون پرش-فرود است (۱۹). این یافته‌ها نشان می‌دهند که زاویه خم شدن زانو، والگوس-واروس زانو، فلکشن-اکستنشن لحظه‌ای زانو و نیروی عکس‌العمل زمین همه فاکتورهای مهمی هستند که بر مقدار نیروی برشی درشت‌نی قدامی تأثیر می‌گذارند. تحقیقات جدیدتر نیز تأیید کرده‌اند که اصلاح این متغیرهای بیومکانیکی حتی

در یک جلسه تمرینی کوتاه مدت امکان‌پذیر است (۲۰). حدود ۷۰ ٪ از تمام آسیب‌های ACL در نتیجه یک مکانیسم غیربرخوردی آسیب هستند و معمولاً به‌طوریکه یک فرد در حال فرود، برش یا پرش است، اتفاق می‌افتد (۲۱).

طبق تحقیقات قبلی، گرم کردن پویا اوج گشتاور چهارسرران را بهبود می‌بخشد و افزایش معنی‌داری در اکسنتریک چهارسرران و افزایش غیرمعنی‌داری در کانسنتریک چهارسرران را موجب می‌شود (۲۲). اوج گشتاور کانسنتریک عضله چهارسرران در عملکرد به‌عنوان کنترل مقتدرانه اکستنشن زانو ضروری است، که یکی از اجزای اصلی در ایجاد هر حرکت شامل اکستنشن سه‌گانه می‌باشد. نیروی کانسنتریک برای شتاب دادن بدن از یک حالت ایستاده یا پس از ایجاد تغییر جهت مهم است.

نیروی عضلات چهارسرران موجب ایجاد نیروی برشی قدامی درشت‌نی شده و در زانوی نزدیک به اکستنشن کامل، استرس و استرین را بر ACL وارد می‌کند. برعکس، عضلات همسترینگ با نیروی برشی خلفی تیبیا، موجب کاهش نیرو بر ACL می‌گردند. به همین ترتیب، عمل اکسنتریک چهارسرران برای حرکات ورزشی شامل تغییر جهت، کاهش شتاب و کنترل اندام تحتانی ضروری است. قدرت اکسنتریک ممکن است همچنین در برابر آسیب چهارسرران محافظت کند، چون در پراکندگی نیروی عکس‌العمل زمین در طول پرش-فرود و کاهش شتاب نقش دارد (۲۲). اگر نیروی برشی قدامی ایجاد شده توسط انقباض اکسنتریک عضله چهارسرران به اندازه کافی باشد و همسترینگ نتواند نیروی برشی خلفی کافی برای مقابله با این نیرو ایجاد کند، ACL در معرض خطر آسیب قرار می‌گیرد.

یو و همکاران (۲۰۰۶) ارتباط بین کینماتیک و کینتیک مفصل زانو و نیروهای عکس‌العمل زمین را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که نیروهای عکس‌العمل زمین بزرگتر و گشتاورهای اکستنشن زانو با نیروی برشی قدامی تیبیای بزرگتر همراه است. در زوایای کم فلکشن زانو، توانایی عضلات چهارسرران و دوقلو در اعمال نیروی برشی قدامی و بار وارد بر ACL افزایش می‌یابد، در حالی که توانایی عضلات همسترینگ در کاهش میزان این نیرو، کاهش می‌یابد (۱۳).

مطالعات نشان دادند که بزرگسالان و جوانان با راهنمایی‌های شفاهی که به آن تمرکز می‌کند، می‌تواند به‌شدت موجب تغییر الگوهای حرکتی اندام تحتانی در طول آزمون پرش- فرود شود (۱۵). در توافق این یافته‌ها، افراد در تحقیق حاضر که برنامهٔ پیشگیری از آسیب را اجرا کردند به‌طور نسبی بهبودی بیشتری در تکنیک فرود دراپ نسبت به افرادی که دو برنامهٔ گرم کردن دیگر را اجرا کردند، به‌دست آوردند. هر چند مقدار تغییر نسبتاً کم است اما مزایای حاد بعد از یک جلسهٔ ممکن است یک مزیت افزاینده باشد که پیشرفت‌ها را بعد از هر جلسه افزایش بدهد. تحقیقات گذشته نیز اشاره کرده‌اند که استفادهٔ مکرر از برنامه‌های پیشگیری از آسیب به افزایش احتمال حفظ اثرات طولانی مدت ضروری باشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر، تفاوت معنی‌داری بین پروتکل‌های گرم کردن ایستا، پویا و برنامه حاوی تمرینات پلایومتریک در متغیر لی‌لی سه‌گانه مشاهده شد، به‌طوری که پروتکل گرم کردن ایستا باعث کاهش عملکرد افراد شد، پروتکل گرم کردن پویا تأثیر معناداری بر عملکرد افراد نشان نداد و برنامه حاوی تمرینات پلایومتریک موجب افزایش عملکرد افراد گردید.

نتایج این بخش از تحقیق با یافته‌های فرانک و همکاران (۲۰۱۳) و فایگن‌باوم و همکاران (۲۰۰۵) همسو بود. با این حال، برخی مطالعات دیگر نتایج متفاوتی گزارش کرده‌اند که می‌توان آن را به تفاوت در شدت، مدت، نوع پروتکل گرم کردن و ویژگی‌های افراد شرکت‌کننده نسبت داد (۲۳،۲۴). بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که تمرینات کششی ایستا از طریق کاهش تولید قدرت بیشینه، توان، سرعت، زمان عکس‌العمل و چابکی، عملکرد بهینه در افراد را کاهش می‌دهد. محققان معتقدند که تغییر ویژگی‌های ساختاری تاندونی-عضلانی و یا تغییر در فعالیت‌های عصبی در اثر فعالیت کششی ایستا ممکن است موجب چنین کاهشی در عملکرد بهینه افراد باشد (۲۵).

بر اساس نتایج این تحقیق مشخص شد که پروتکل گرم کردن پویا نسبت به گرم کردن ایستا مؤثرتر عمل کرد و باعث بهبود عملکرد در مقایسه با گرم کردن ایستا شد، اما در کل نه موجب بهبودی معنادار و نه موجب اختلال در عملکرد افراد گردید. پروتکل‌های پویایی که عملکرد را بهبود می‌دهند معمولاً از تمرینات پویا که از فعالیت‌های عملکردی تقلید می‌کنند یا از پروتکل کشش پویای طولانی مدت استفاده می‌کنند. اگرچه در مطالعه ما از پروتکل گرم کردن پویا شامل کشش پویا و تمرینات عملکردی پویا استفاده شد، بهبودی در عملکرد مشاهده نکردیم. این امر احتمالاً به دلیل زمان سپری شده تا پس‌آزمون و یا عدم وجود فعالیت پرشی خاص با حجم کافی در پروتکل گرم کردن پویا می‌باشد.

مرور سیستماتیک آل عطار و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که برنامه‌های پیشگیری از آسیب که شامل تمرینات پلایومتریک هستند، در صورت اجرای منظم در طول فصل، میزان بروز آسیب ACL را به طور معناداری کاهش می‌دهند. با این حال، تأکید می‌شود که این نتیجه از مطالعات طولی چندماهه به دست آمده است و به مطالعه حاضر (که فقط اثر یک جلسه را بررسی کرده) قابل تعمیم نمی‌باشد.

در توجیه یافته‌های این بخش از تحقیق می‌توان گفت فعالیت‌های کششی پویا در تحقیق حاضر موجب افزایش تدریجی دمای مرکزی عضلات شده است، اما وقتی آزمودنی‌ها به‌طور غیرفعال مشغول اجرای فعالیت‌های کشش ایستا می‌شوند، ممکن است دمای عضلات که طی فعالیت‌های هوازی زیر بیشینه اندکی بالا رفته بود، کاهش یابد. فعالیت‌های کشش پویا با بکارگیری تودهٔ عضلانی فعال بیشتر به شکل انقباضات کانسنتریک و اکسنتریک موجود افزایش دمای متابولیسمی عضلات می‌شود (۲۷).

همچنین با شروع فعالیت‌های پویا میزان توزیع جریان خون به عضلات فعال بیشتر خواهد شد. افزایش جریان خون و دما، موجب آزادسازی بیشتر اکسیژن از ترکیب هموگلوبین در عضلات می‌شود. بنابراین فعالیتی که بتواند حجم خون بیشتری را همراه با اکسیژن به عضلات سوق دهد، می‌تواند اکسیژن‌رسانی و جذب اکسیژن را بهبود بخشد. شاید بهبود چند درصدی عملکرد افراد بعد از اجرای برنامهٔ پیشگیری از آسیب در این تحقیق را بتوان با چنین دلیلی توجیه کرد (۲۸).

حال با توجه به مواردی که گفته شد می‌توان نتیجه‌گیری کرد با توجه به اینکه برنامهٔ پیشگیری از آسیب در تحقیق حاضر شامل تمرینات پلایومتریک می‌باشد در نتیجه برنامهٔ پیشگیری از آسیب احتمالاً می‌تواند به‌عنوان یک روش گرم کردن مناسب برای مربیان و ورزشکارن مطرح شود.

نتیجه‌گیری

از بحث و بررسی یافته‌های تحقیق حاضر و مقایسهٔ آن با تحقیقات گذشته، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که از بین پروتکل‌های گرم کردن، برنامهٔ پیشگیری از آسیب بیشترین و گرم کردن ایستا کمترین اثر مثبت و گرم کردن پویا اثری تقریباً بینابین را نشان دادند. بر خلاف آنچه که در تحقیق حاضر عدم تأثیر فعالیت‌های کششی پویا بر عملکرد، گزارش شد. به‌نظر می‌رسد عواملی همچون وضعیت تمرینی آزمودنی‌ها، مدت زمان اجرای پروتکل، کنترل شدت فعالیت توسط خود آزمودنی‌ها، فاصلهٔ زمانی از اجرای پروتکل تا آغاز آزمون‌های اجرایی می‌توانند دلیلی بر عدم بهبود عملکرد به دنبال اجرای پروتکل گرم کردن پویا دانست. همچنین با توجه به اثر مثبت برنامهٔ پیشگیری از آسیب بر روی عملکرد افراد می‌توان به داشتن تمرینات پلایومتریک و تعادلی این برنامه اشاره کرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاقی

این مطالعه مطابق با دستورالعمل‌ها و اصول اخلاقی مربوط به پژوهش‌های انسانی انجام شد. شرکت‌کنندگان پیش از آغاز مطالعه به‌طور کامل درباره اهداف و روند تحقیق آگاه شدند و با آگاهی کامل فرم رضایت‌نامه را امضا کردند. همچنین تمامی مراحل تحقیق با رضایت داوطلبانه افراد انجام گرفت.

حامی مالی

این مطالعه هیچ‌گونه حمایت مالی یا بودجه پژوهشی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در طراحی و اجرای مطالعه، گردآوری داده‌ها، تحلیل داده‌ها، تفسیر یافته‌ها و نگارش و بازنگری نسخه نهایی مقاله به‌طور مساوی مشارکت داشتند. همچنین، همه نویسندگان نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کردند.

تعارض منافع

نویسنده اظهار می‌دارد که این پژوهش بدون هرگونه رابطه تجاری یا مالی که بتواند به‌عنوان تعارض منابع احتمالی تلقی شود، انجام شده است.

منابع

1. Miller RH, Azar FM. Knee injuries. In: Canale ST, Beaty JH, editors. Campbell's operative orthopaedics. 11th ed. Philadelphia: Mosby Elsevier; 2008. p. 2096-2099.

2. Fleming JD, Ritzmann R, Centner C. Effect of an anterior cruciate ligament rupture on knee proprioception within 2 years after conservative and operative treatment: a systematic review with meta-analysis. Sports Med. 2022;52(5):1091-1102.

3. Filbay SR, Skou ST, Bullock GS, Le CY, Räisänen AM, Toomey CM, et al. Long-term quality of life, work limitation, physical activity, economic cost and disease burden following ACL and meniscal injury: a systematic review and meta-analysis for the OPTIKNEE consensus. Br J Sports Med. 2022;56(24):1465-1474.

4. van Haren IEPM, van der Worp MP, van Rijn R, Stubbe JH, van Cingel REH, Verbeek ALM, et al. Return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction: prognostic factors and prognostic models. A systematic review. Ann Phys Rehabil Med. 2025;68(3):101921.

5. Hewett, T.E., Torg, J.S. and Boden, B.P., 2009. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. British journal of sports medicine, 43(6), pp.417-422.

6. Onate, J., Cortes, N., Welch, C. and Van Lunen, B., 2010. Expert versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. Journal of sport rehabilitation, 19(1), pp.41-56.

7. Larwa, J., Stoy, C., Chafetz, R. S., Boniello, M., & Franklin, C. (2021). Stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: A systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(7), 3826.

8. Esteban-García, P., Abián-Vicen, J., Sánchez-Infante, J., Ramírez-delaCruz, M., & Rubio-Arias, J. Á. (2024). Does the inclusion of static or dynamic stretching in the warm-up routine improve jump height and ROM in physically active individuals? A systematic review with meta-analysis. Applied Sciences, 14(9), 3872.

9. Lutz, D., et al. (2024). Best practices for the dissemination and implementation of neuromuscular training injury prevention warm-ups in youth team sport: A systematic review. British Journal of Sports Medicine, 58(11), 615–625.

10. Alikhajeh, Y. 2012. The Effect of Different Warm-Up Protocols on Young Soccer Players' Explosive Power. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 46: p. 2742-2746.

11. Ayubi Avaz, M., Saghebjoo, M., and Ilbeigi, S. 2014. Acute effects of different warm up protocols (massage, dynamic stretching and proprioception) on anaerobic power, agility and flexibility in male athletes of volleyball player. Research on Educational Sport, Volume:2 Issue: 6, p. 69 - 86

12. Salehzadeh K, et al. Physical Self-concept, Body Mass Index, and Physical Activity Level Among College Students. Dev Psychol. 2011;8(29):85-96.

13. Yu, B., Lin, C.F. and Garrett, W.E., 2006. Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. Clinical Biomechanics, 21(3), pp.297-305.

14. Pilanthananond M, Tharawadeepimuk K, Saengsirisuwan V, Limroongreungrat W. Muscle Activation and Ground Reaction Force between Single-Leg Drop Landing and Jump Landing among Young Females during Weight-Acceptance Phase. Sports. 2023;11(9):185.

15. Root, H., Trojian, T., Martinez, J., Kraemer, W. and DiStefano, L.J., 2015. Landing technique and performance in youth athletes after a single injury-prevention program session. Journal of athletic training, 50(11), pp.1149-1157.

16 Olivares-Jabalera J, Fílter-Ruger A, Dos'Santos T, Afonso J, Della Villa F, Morente-Sánchez J, et al. Exercise-Based Training Strategies to Reduce the Incidence or Mitigate the Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament Injury in Adult Football Players: A Systematic Review. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(24):13351.

17. Markolf, K.L., Burchfield, D.M., Shapiro, M.M., Shepard, M.F., Finerman, G.A. and Slauterbeck, J.L., 1995. Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. Journal of Orthopaedic Research, 13(6), pp.930-935.

18. Kamatsuki, Y., Qvale, M.S., Steffen, K., Wangensteen, A., & Krosshaug, T. (2025). Anatomic Risk Factors for Initial and Secondary Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. *American Journal of Sports Medicine*, 53(1), 123-131.

19. Padua, D.A. and DiStefano, L.J., 2009. Sagittal plane knee biomechanics and vertical ground reaction forces are modified following ACL injury prevention programs: a systematic review. Sports Health, 1(2), pp.165-173.

20. Zhang, X., Gao, Y., Sun, Y., & Li, E. (2025). Effects of different induction methods and post-activation potentiation on lower limb muscle activation and explosive power. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13, 1674571.

21 Al Attar, W.S.A., Bakhsh, J.M., Khaledi, E.H., Ghulam, H., & Sanders, R.H. (2022). Injury prevention programs that include plyometric exercises reduce the incidence of anterior cruciate ligament injury: a systematic review of cluster randomised trials. *Journal of Physiotherapy*, 68(4), 255-261.

22. Aguilar, A.J., DiStefano, L.J., Brown, C.N., Herman, D.C., Guskiewicz, K.M. and Padua, D.A., 2012. A dynamic warm-up model increases quadriceps strength and hamstring flexibility. The Journal of Strength & Conditioning Research, 26(4), pp.1130-1141.

23. Cochrane DJ, Stretch RA. (2020). Acute effects of static and dynamic stretching on jump performance. *Eur J Sport Sci*. 20(4):456-463.

24. Konrad A, et al. (2021). The acute effects of static and dynamic stretching on muscle-tendon unit stiffness. *Scand J Med Sci Sports*. 31(3):562-571.

25. Yamaguchi, T. and Ishii, K., 2005. Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. Journal of strength and Conditioning Research, 19(3), pp.677-683.

26. Thomas, K., French, D. and Hayes, P.R., 2009. The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. The Journal of Strength & Conditioning Research, 23(1), pp.332-335.

27. Boden BP, Torg JS, Knowles SB, Hewett TE. Video analysis of anterior cruciate ligament injury. Am J Sports Med. 2009;37(2):252-259.

28. Fioranelli, D. and Lee, C.M., 2008. The influence of bar diameter on neuromuscular strength and activation: inferences from an isometric unilateral bench press. The Journal of Strength & Conditioning Research, 22(3), pp.661-666.