



The Effect of Bodyweight Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) Warm-Up on Knee Kinematics During Single-Leg Landing in Male Basketball Players from Kerman

Fatemeh Jahangiri^{1a}; Mohammadtaghi Amiri-Khorasani^{2,3*}; MohammadReza AmirSeyfadini^{1b}

1. MSc ^a, Associate Professor ^b in Sport Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
2. Associate Professor of Sport Biomechanics, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
3. Associate Professor of Sport Biomechanics, Department of Sport Biomechanics, Sport Sciences Research Institute, Tehran, Iran.

Received: December 2025; Accepted: February 2026

Keywords

Post-activation
performance
enhancement,
Warm-up,
Knee kinematics,
Single-leg landing,
Basketball.

Abstract

Background and Aim: This study examined the effects of a body-weight post-activation performance enhancement (PAPE)-based warm-up on knee kinematics during single-leg landing in male basketball players.

Methods: Twenty semi-professional male basketball players (Kerman, Iran) participated in this quasi-experimental, within-subject crossover study. Each participant completed a general warm-up and a body-weight PAPE warm-up (general warm-up plus 3×10 body-weight squats, 30-s rest, followed by 2-min rest). Participants then performed three single-leg landings from a 30-cm height with the dominant leg. Kinematic data were captured using a six-camera motion analysis system (Motion Analysis Raptor-H) with Cortex 5.2 software and processed in MATLAB. Outcome measures were maximal knee flexion, eccentric knee angular velocity, and knee valgus angle. Data were analysed using Shapiro–Wilk and paired t-tests ($\alpha = 0.05$).

Results: No significant difference was observed in maximal knee flexion between conditions ($d = 0.02$, $p = 0.96$). However, PAPE significantly reduced eccentric knee angular velocity ($d = 0.52$, $p = 0.03$) and knee valgus angle ($d = 0.94$, $p < 0.001$) during landing.

Conclusion: A body-weight PAPE-based warm-up effectively lowered eccentric knee angular velocity and knee valgus without significantly altering maximal knee flexion. This simple, equipment-free strategy may serve as a practical approach to improve knee motor control during single-leg landing in male basketball players.

* Corresponding Author: Tel: 021-88747884

✉ Email: amirikhorasani@ssrc.ac.ir

Orcid Code:0000-0002-0199-7522

Extended Abstract

Introduction

Warm-up is an essential component of training and competition, preparing the neuromuscular system, increasing muscle temperature and blood flow, improving movement readiness, and potentially reducing injury risk (1, 2). Basketball involves frequent jumping, landing, acceleration, deceleration, and changes of direction, making landing a demanding task for the knee joint (3). Inadequate trunk and lower-limb control may increase knee valgus and shear loading (4, 5), while non-contact landing and cutting are common mechanisms of ligamentous, particularly ACL, injuries (5, 6). Increased knee valgus, inadequate eccentric control, and rapid knee motion may further contribute to knee loading during landing (6-8).

Post-activation performance enhancement (PAPE) refers to a temporary improvement in voluntary muscular performance following a conditioning activity and has been associated with enhanced neuromuscular excitability, motor-unit readiness, and coordination (9-12). Most PAPE studies have used heavy resistance or plyometric exercises (10, 13, 14), which may be impractical before training or competition. Bodyweight exercises such as squats provide simple and accessible alternatives (15). However, limited evidence exists regarding their effects on knee kinematics during single-leg landing. Therefore, this study aimed to investigate the acute effect of a bodyweight-based PAPE warm-up on maximal knee flexion, knee valgus angle, and eccentric knee angular velocity during single-leg landing in male basketball players.

Method

Twenty semi-professional male basketball players from Kerman participated in this semi-experimental within-subject crossover study. Participants were 20–24 years old, had at least two years of organized basketball experience, trained at least three times weekly, participated in club or university competitions, and had no lower-limb injury during the previous year. Each participant completed both experimental conditions in separate sessions, with protocol order randomly counterbalanced between two subgroups to minimize order, fatigue, and learning effects.

The general warm-up consisted of four minutes of low-to-moderate treadmill running followed by dynamic stretching of the quadriceps, hamstrings, and gluteal muscles. After a two-minute rest, participants performed the landing task. The PAPE condition included the same warm-up followed by three sets of 10

bodyweight squats with 30 seconds of rest between sets, followed by a two-minute recovery period (1, 2). Participants then performed three successful single-leg landings from a 30-cm box using the dominant leg, determined by preferred kicking leg and a practical test. Unsuccessful trials were repeated.

Three-dimensional kinematic data were collected using a six-camera motion-analysis system and Cortex 2.5 software, with six reflective markers placed on anatomical landmarks of the dominant lower limb. Data were processed using MATLAB R2020a, with a mean reconstruction error of 0.8 mm. The outcomes were maximal knee flexion, knee valgus angle, and knee angular velocity during the eccentric phase, defined from initial foot contact to maximal knee flexion.

Normality was assessed using the Shapiro-Wilk test, and within-session reliability was evaluated using intraclass correlation coefficients. Repeated-measures ANOVA assessed systematic changes across trials, while paired-samples t-tests compared the two conditions. Statistical significance was set at $p < 0.05$, with Cohen's d and 95% confidence intervals also calculated.

Results

The three landing trials demonstrated good-to-excellent reliability under both conditions. ICC values ranged from 0.81 to 0.91, and no significant systematic effect of trial repetition was observed for any variable (minimum $p = 0.42$). Therefore, the mean of the three successful trials was used for subsequent analyses.

No significant difference was observed in maximal knee flexion between the general warm-up and PAPE conditions. In contrast, eccentric knee angular velocity significantly decreased following the PAPE protocol. Knee valgus angle was also significantly lower following PAPE. These findings are summarized in the table.

The absence of a significant change in maximal knee flexion indicates that the PAPE protocol did not substantially alter the final sagittal-plane range of motion. However, reductions in eccentric angular velocity and knee valgus suggest changes in dynamic knee control during landing.

Discussion

The main finding was that a bodyweight-based PAPE warm-up reduced eccentric knee angular velocity and knee valgus angle during single-leg landing, while maximal knee flexion remained unchanged. This may indicate that final knee range of motion is relatively resistant to acute modification and may be influenced by learned movement patterns, structural characteristics,

and individual force-absorption strategies. Previous studies have similarly reported that acute PAPE effects are more evident in force production and neuromuscular performance than in short-term changes in range of motion (10, 12, 14).

The reduction in eccentric knee angular velocity may reflect slower and more controlled knee motion during force absorption, potentially allowing greater time for neuromuscular regulation. PAPE-related conditioning activities may enhance neural excitability and motor-unit readiness (11, 16). The reduced knee valgus angle is also important, as excessive dynamic knee valgus is commonly associated with potentially high-risk landing mechanics (7, 17, 18). Thus, bodyweight squats may acutely improve frontal-plane knee alignment, consistent with previous findings on neuromuscular and landing-control exercises (4, 19).

Notably, the present study used a simple, equipment-free bodyweight protocol rather than heavy resistance or plyometric exercises. These findings suggest that such a practical conditioning activity may influence selected landing kinematics. The study was limited by its small sample size, inclusion of only male basketball players, analysis of only the dominant leg, and the absence of ground-reaction force and EMG measurements. In addition, only acute responses were assessed. Future studies should include female athletes, different competitive levels and age groups, and kinetic and EMG measurements to clarify better the mechanisms underlying these kinematic changes.

Compliance with ethical guidelines

The study was conducted in accordance with the ethical guidelines of the Ethics Committee of Kerman University of Medical Sciences.

Funding

This study received no financial support from any governmental, private, or other organization or institution.

Author's Contribution

The study was designed and conducted under the scientific supervision of Mohammadtaghi Amiri-Khorasani and MohammadReza AmirSeyfadini. Both supervisors contributed to the study design and methodology, provided scientific feedback throughout the research process, and reviewed all stages of manuscript preparation. The study implementation, data collection and analysis, and preparation of the initial manuscript were carried out by Fatemeh Jahangiri Geisi under their supervision.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding this study.

Acknowledgments

This article was derived from the Master's thesis in Sport Biomechanics of Fatemeh Jahangiri Geisi, conducted under the supervision of Mohammadtaghi Amiri-Khorasani and with the consultation of MohammadReza AmirSeyfadini. The authors sincerely thank all basketball players who participated in the study and whose cooperation and regular attendance made the research possible. The authors also acknowledge the staff and experts of the Sport Biomechanics Laboratory, Faculty of Sport Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, for their assistance with data collection and testing procedures.

Table 1. Comparison of Knee Kinematic Variables Between the General Warm-Up and PAPE Conditions

Variable	General warm-up, Mean $\pm$ SD	PAPE, Mean $\pm$ SD	p-value	Cohen's d	95% CI of mean difference
Maximal knee flexion ($^{\circ}$)	148.59 $\pm$ 17.75	148.10 $\pm$ 16.28	0.96	0.02	-3.1 to 4.1
Eccentric knee angular velocity ($^{\circ}/s$)	28.05 $\pm$ 13.05	17.13 $\pm$ 14.13	0.03	0.52	2.1 to 20.7
Knee valgus angle ($^{\circ}$)	1.70 $\pm$ 1.15	0.95 $\pm$ 0.68	<0.001	0.94	0.41 to 1.09



تأثیر گرم کردن به عنوان توانمندسازی پس فعالی افزایش عملکرد (PAPE) با جرم بدن بر روی کینماتیک زانو در فرود تک پا در بازیکنان بسکتبال مرد کرمان

فاطمه جهانگیری کیسی^{۱،*}، محمد تقی امیری خراسانی^{۲،*}، محمدرضا امیرسیف الدینی^{۱،۲}

۱- کارشناس ارشد^۱، دانشیار^۲، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲- دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۳- دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی

دریافت: آذر ۱۴۰۴؛ پذیرش: بهمن ۱۴۰۴

چکیده

واژگان کلیدی

توانمندسازی پس فعالی،

افزایش عملکرد،

گرم کردن،

کینماتیک زانو،

فرود تک پا،

بسکتبال.

زمینه و هدف: پژوهش حاضر به دنبال بررسی تأثیر گرم کردن مبتنی بر توانمندسازی پس فعالی افزایش عملکرد (PAPE) با استفاده از جرم بدن بر کینماتیک مفصل زانو هنگام فرود تک پا در بازیکنان بسکتبال مرد بود.

روش بررسی: این پژوهش نیمه تجربی با طرح متقاطع درون گروهی روی ۲۰ بازیکن نیمه حرفه‌ای بسکتبال مرد شهر کرمان انجام شد. نیمه حرفه‌ای بودن به شرکت منظم در تمرینات بسکتبال حداقل سه جلسه در هفته، داشتن دست کم دو سال سابقه تمرین سازمان یافته و حضور در مسابقات باشگاهی یا دانشگاهی تعریف شد. هر آزمودنی در دو جلسه جداگانه، دو پروتکل گرم کردن عمومی و گرم کردن مبتنی بر PAPE با جرم بدن را اجرا کرد. پروتکل PAPE شامل گرم کردن عمومی و سپس سه ست ۱۰ تکراری اسکات با جرم بدن با ۳۰ ثانیه استراحت بین ست‌ها بود. پس از دو دقیقه استراحت، آزمودنی‌ها سه فرود تک پا از ارتفاع ۳۰ سانتی متر را با پای غالب انجام دادند. داده‌های کینماتیکی با سیستم تحلیل حرکت سه بعدی شش دوربینه موشن آنالایزر و نرم افزار کورتکس ۲/۵ ثبت و با نرم افزار متلب تحلیل شد. متغیرهای وابسته شامل حداکثر زاویه فلکشن زانو، سرعت زاویه‌ای زانو در فاز اکسنتریک و زاویه والگوس زانو بود. آزمون‌های آماری شامل شاپیرو-ویلک برای بررسی نرمال بودن داده‌ها و تی وابسته برای مقایسه متغیرها با سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج: حداکثر فلکشن زانو بین گرم کردن عمومی و PAPE تفاوت معنی داری نداشت ($P=0/96$; $d=0/02$). این حال، پس از پروتکل PAPE، سرعت زاویه‌ای زانو در فاز اکسنتریک به طور معنی داری کاهش یافت ($d=0/52$; $P=0/03$) و زاویه والگوس زانو نیز کاهش معنی داری نشان داد ($d=0/94$; $P=0/01$).

نتیجه گیری: گرم کردن مبتنی بر PAPE با جرم بدن، بدون تغییر معنی دار در حداکثر فلکشن زانو، موجب کاهش سرعت زاویه‌ای اکسنتریک و زاویه والگوس زانو هنگام فرود تک پا شد. بنابراین، این روش می تواند به عنوان راهبردی ساده و بدون نیاز به تجهیزات برای بهبود کنترل حرکتی زانو در بازیکنان بسکتبال مرد مورد استفاده قرار گیرد.

مقدمه

گرم کردن بخش جدایی ناپذیر برنامه های تمرینی و مسابقه ای است و با هدف آماده سازی سیستم عصبی-عضلانی، افزایش دمای عضله، بهبود جریان خون، افزایش آمادگی حرکتی و کاهش احتمال آسیب انجام می شود (۱). با وجود آن که ضرورت گرم کردن در ورزش پذیرفته شده است، هنوز درباره مناسب ترین نوع گرم کردن برای هم زمانی بهبود عملکرد و کاهش عوامل خطر آسیب، اجماع کامل وجود ندارد (۳).

بسکتبال ورزشی پر شدت، چندجهتی و وابسته به پرش، فرود، شتاب گیری، کاهش سرعت و تغییر جهت های مکرر است (۴). در این رشته، فرود پس از پرش یکی از موقعیت های پرتکرار و در عین حال پرخطر برای مفصل زانو محسوب می شود، زیرا کنترل ناکافی تنه و اندام تحتانی هنگام فرود می تواند موجب افزایش بارهای والگوسی و برشی بر زانو شود (۴-۶).

بخش قابل توجهی از آسیب های لیگامانی زانو، به ویژه آسیب رباط صلیبی قدامی، در شرایط غیرتماسی و هنگام فرود یا تغییر جهت رخ می دهد (۵، ۷). مطالعات بیومکانیکی نشان داده اند که افزایش زاویه والگوس زانو، کنترل ناکافی فاز اکسنتریک و سرعت بالای حرکت مفصل زانو هنگام فرود می توانند با افزایش بار مکانیکی بر ساختارهای زانو همراه باشند (۸-۱۰). از این رو، بررسی راهبردهایی که پیش از تمرین یا مسابقه بتوانند کنترل حرکتی زانو را بهبود دهند، اهمیت کاربردی زیادی دارد.

یکی از رویکردهای مورد توجه در سال های اخیر، توانمندسازی پس فعالی افزایش عملکرد یا PAPE است. PAPE به بهبود موقت عملکرد عضلانی پس از یک فعالیت شرطی ساز گفته می شود و با سازوکارهایی مانند افزایش تحریک پذیری عصبی-عضلانی، افزایش آمادگی واحدهای حرکتی و بهبود هماهنگی عضلانی توضیح داده می شود (۱۱-۱۳). برخلاف مفهوم قدیمی تر PAP که بیشتر بر سازوکارهای درون عضلانی مانند فسفریلاسیون زنجیره های سبک میوزین تأکید داشت، PAPE بیشتر به بهبود عملکرد قابل مشاهده پس از فعالیت شرطی ساز اشاره می کند (۱۳، ۱۴).

بیشتر پژوهش های مربوط به PAPE از بارهای خارجی، تمرینات مقاومتی سنگین یا حرکات پلايومتریک استفاده

کرده اند (۱۲، ۱۵، ۱۶). با این حال، کاربرد چنین روش هایی در گرم کردن پیش از مسابقه همیشه ساده نیست، زیرا ممکن است به تجهیزات، زمان یا نظارت تخصصی نیاز داشته باشد (۱۲، ۱۳، ۱۷). در مقابل، تمرینات مبتنی بر جرم بدن، مانند اسکوات با وزن بدن، ساده، کم هزینه و قابل اجرا در محیط های تمرینی و مسابقه ای هستند (۱۸). با وجود این مزیت عملی، شواهد محدودی درباره اثر PAPE مبتنی بر جرم بدن بر کینماتیک زانو هنگام فرود تک پا وجود دارد.

فرود تک پا نسبت به فرود جفت پا چالش بیشتری برای کنترل عصبی-عضلانی ایجاد می کند، زیرا سطح اتکا کمتر است و کنترل هم راستایی مفصل زانو به هماهنگی دقیق بین عضلات ران، لگن و ساق وابسته می شود (۹، ۱۰، ۱۹). بنابراین، بررسی اثر گرم کردن مبتنی بر PAPE با جرم بدن بر متغیرهایی مانند فلکشن زانو، والگوس زانو و سرعت زاویه ای در فاز اکسنتریک می تواند به فهم بهتر کاربرد این روش در پیشگیری از آسیب های بسکتبال کمک کند.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر گرم کردن مبتنی بر PAPE با جرم بدن بر کینماتیک مفصل زانو هنگام فرود تک پا در بازیکنان بسکتبال مرد بود. فرض شد که این پروتکل، در مقایسه با گرم کردن عمومی، موجب کاهش سرعت زاویه ای زانو در فاز اکسنتریک و کاهش زاویه والگوس زانو شود، اما ممکن است حداکثر فلکشن زانو را تغییر ندهد.

روش تحقیق

این پژوهش از نوع نیمه تجربی با طرح متقاطع درون گروهی بود و با هدف بررسی اثر حاد دو پروتکل گرم کردن بر کینماتیک مفصل زانو هنگام فرود تک پا در بازیکنان بسکتبال مرد انجام شد. هر آزمودنی هر دو شرایط گرم کردن عمومی و گرم کردن مبتنی بر PAPE را در دو جلسه جداگانه اجرا کرد. ترتیب اجرای پروتکل ها به صورت تصادفی و متعادل بین دو زیرگروه ۱۰ نفره تعیین شد تا اثر ترتیب، خستگی و یادگیری کنترل شود.

جامعه آماری و نمونه پژوهش

جامعه آماری شامل ۱۵۴ بازیکن بسکتبال مرد شهر کرمان بود که از میان آنان، ۲۰ بازیکن نیمه حرفه ای (سن ۲۱/۷۱ ± ۲۱/۹۰ سال، قد ۱۸۲/۳۵ ± ۷۸ سانتی متر؛ جرم بدن ۷۶/۲۹ ± ۱۴/۳۶ کیلوگرم) انتخاب شدند. بازیکن

داده شد و سپس آزمون فرود تک پا انجام گرفت (۱۲، ۱۸). برای اجرای آزمون، آزمودنی روی جعبه‌ای با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر قرار گرفت و با پای غالب به سمت صفحه فرود حرکت کرد. از آزمودنی خواسته شد پس از تماس با زمین، تعادل خود را حفظ کند و از پرش مجدد یا جابه‌جایی اضافی پا خودداری نماید. هر آزمودنی در هر شرایط سه فرود موفق انجام داد. فرودهایی که با از دست دادن تعادل، تماس پای مقابل با زمین یا حرکت اضافی همراه بودند، حذف و تکرار شدند و در نهایت، سه فرود موفق برای تحلیل استفاده شد. برای گزارش پایایی درون جلسه‌ای تکرارها، ICC سه تکرار هر متغیر محاسبه شد که نتایج ICC نشان داد که سه تکرار فرود در هر دو پروتکل از پایایی خوب تا عالی برخوردارند.

ثبت و پردازش داده‌های کینماتیکی

داده‌های حرکتی با استفاده از سیستم سه‌بعدی موشن آنالایز با ۶ دوربین و نرم‌افزار کورتکس ۲/۵ ثبت شد. دوربین‌ها به گونه‌ای تنظیم شدند که هر مارکر در طول آزمون حداقل توسط دو دوربین قابل مشاهده باشد. شش مارکر انعکاسی پسیو با قطر ۹ میلی‌متر روی نقاط آناتومیکی پای غالب نصب شد. این نقاط شامل تروکانتر بزرگ، سطح قدامی و میانی ساق، بخش دیستال درشتنی، برجستگی درشتنی، اپی‌کندیل خارجی ران و قوزک خارجی مچ پا بودند. داده‌های خام پس از انتقال به نرم افزار کورتکس، با کدنویسی متلب پردازش شدند. قابل توجه است که دقت سیستم تحلیل حرکت پیش از هر تست با استفاده از پروسه کالیبراسیون استاندارد ارزیابی شد و میانگین خطای بازسازی (RMSE) نشانگرها در طول ثبت داده‌ها ۰/۸ میلی‌متر بود که نشان‌دهنده دقت بالای ردیابی است.

متغیرهای پژوهش

متغیرهای وابسته شامل حداکثر زاویه فلکشن زانو، زاویه والگوس زانو و سرعت زاویه‌ای زانو در فاز اکسنتریک فرود بود. فاز اکسنتریک از لحظه تماس پا با زمین تا رسیدن زانو به بیشترین مقدار فلکشن تعریف شد. زاویه والگوس زانو به عنوان انحراف زانو به سمت داخل نسبت به راستای اندام تحتانی در صفحه فرونتال محاسبه شد.

تحلیل آماری

تحلیل‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. پس از تأیید نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک، جهت

نیمه حرفه‌ای در این پژوهش فردی تعریف شد که حداقل دو سال سابقه تمرین منظم بسکتبال، شرکت در دست کم سه جلسه تمرین در هفته و سابقه حضور در مسابقات باشگاهی یا دانشگاهی داشته باشد. برآورد حجم نمونه تحقیق نیز، براساس معیارهای ورود به تحقیق و همچنین با توجه به تحقیقات گذشته به روش هدفمند انجام شد (۲۱، ۲۰). معیارهای ورود شامل مرد بودن، سن ۲۰ تا ۲۴ سال، سابقه حداقل دو سال تمرین بسکتبال، تمرین منظم حداقل سه جلسه در هفته، آشنایی با اجرای فرود تک پا و نداشتن آسیب اندام تحتانی طی یک سال گذشته بود. معیارهای خروج شامل درد هنگام آزمون، ناتوانی در اجرای صحیح فرود، عدم تکمیل هر دو جلسه آزمون یا بروز هرگونه مشکل جسمانی در طول اجرای پروتکل بود.

روند اجرای ارزیابی و مداخله

شرکت‌کنندگان ۲۴ ساعت پیش از آزمون از مصرف کافئین و فعالیت شدید بدنی خودداری کردند و دو ساعت پیش از آزمون وعده غذایی سنگین مصرف نکردند. پیش از شروع آزمون، تمامی شرکت‌کنندگان با محیط آزمایشگاه، نحوه اجرای فرود و مراحل جمع‌آوری داده‌ها آشنا شدند و فرم رضایت‌نامه آگاهانه را تکمیل کردند. از آنجا که هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر پروتکل گرم کردن بر الگوی فرود بود و تفاوت‌های بین پای غالب و غیر غالب می‌توانست به عنوان یک متغیر مخدوش‌کننده عمل کند، برای افزایش همگنی داده‌ها و کنترل بهتر شرایط آزمایش، صرفاً فرود با پای غالب در تحلیل‌ها وارد شد. لذا، پای غالب هر آزمودنی با پرسش از پای ترجیحی برای شوت زدن توپ و انجام یک آزمون عملی ساده تعیین شد. در صورتی که پای مورد استفاده برای شوت و پای انتخاب شده در آزمون عملی یکسان بود، همان پا به عنوان پای غالب در نظر گرفته شد. پروتکل گرم کردن عمومی شامل ۴ دقیقه دویدن با شدت کم تا متوسط روی تردمیل و حرکات کششی پویا برای عضلات چهارسر ران، همسترینگ و سرینی بود. پس از پایان گرم کردن عمومی، آزمودنی‌ها دو دقیقه استراحت کردند و سپس آزمون فرود تک پا را اجرا نمودند.

پروتکل گرم کردن مبتنی بر PAPE شامل همان گرم کردن عمومی بود و سپس آزمودنی‌ها سه ست ۱۰ تکراری اسکوات با جرم بدن را با ۳۰ ثانیه استراحت بین ست‌ها اجرا کردند. پس از پایان پروتکل، دو دقیقه استراحت

۰/۸۹ بود. برای زاویه والگوس، ICC در گرم کردن عمومی ۰/۸۴ و در PAPE معادل ۰/۸۱، و برای سرعت زاویه‌ای زانو نیز ICC در گرم کردن عمومی ۰/۸۷ و در PAPE ۰/۸۵ به دست آمد. تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر، هیچ اثر معنی‌داری برای عامل تکرار در هیچ‌یک از متغیرها در دو پروتکل نشان نداد (حداقل $P=0/42$) بنابراین میانگین سه تکرار به عنوان نماینده معتبر عملکرد هر آزمودنی به کار رفت.

مقایسه پروتکل‌های گرم کردن

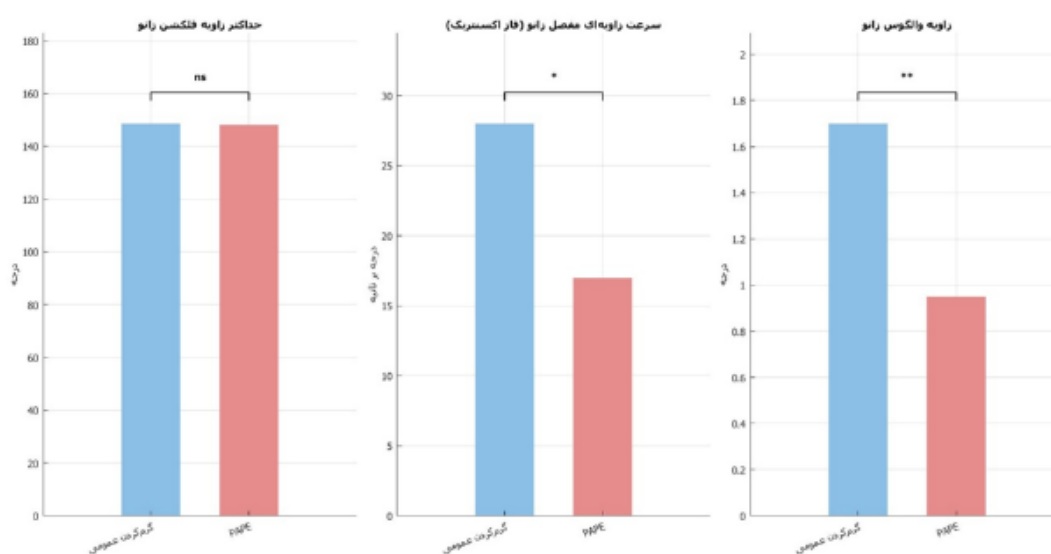
همانگونه در شکل شماره ۱ نشان داده شده است، بین میانگین حداکثر فلکشن زانو در گرم کردن عمومی (۱۷/۷۵ $\pm$ ۱۴۸/۵۹ درجه) و در PAPE (۱۶/۲۸ $\pm$ ۱۴۸/۱۰ درجه) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P=0/96$; $d=0/02$) و فاصله اطمینان ۹۵٪ برای اختلاف میانگین‌ها از ۳/۱- تا ۴/۱+ درجه عبور کرد که حاکی از عدم تأثیر PAPE بر دامنه نهایی فلکشن است.

بررسی عدم وجود روند سیستماتیک در طول تکرارها از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر یک‌طرفه برای تحلیل درون‌گروهی و در نهایت از آزمون تی وابسته برای مقایسه دو پروتکل گرم کردن عمومی و PAPE استفاده گردید. سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. اندازه اثر استاندارد شده با Cohen's d (کوچک: ۰/۲، متوسط: ۰/۵، بزرگ: ۰/۸) و فاصله اطمینان ۹۵٪ برای تفاوت میانگین‌ها محاسبه و گزارش شد. همچنین، برای ارزیابی ثبات سه تکرار فرود، پایایی درون‌آزمودنی هر متغیر در هر پروتکل با ضریب همبستگی درون‌کلاسی محاسبه گردید (ICC: two-way mixed, absolute agreement).

نتایج مطالعه

پایایی تکرارها و بررسی روند درون پروتکلی

نتایج ICC نشان داد که سه تکرار فرود در هر دو پروتکل از پایایی خوب تا عالی برخوردارند. برای حداکثر فلکشن زانو، ICC در گرم کردن عمومی ۰/۹۱ و در شرایط PAPE برابر



شکل ۱- مقایسه میانگین متغیرهای کینماتیکی مفصل زانو شامل حداکثر فلکشن، سرعت زاویه‌ای در فاز اکستنژیک و زاویه والگوس در دو شرایط گرم کردن عمومی و گرم کردن مبتنی بر PAPE

کاهش نشان‌دهنده کنترل آهسته‌تر و پایدارتر زانو در فاز جذب نیرو پس از PAPE است.

همچنین، میانگین والگوس زانو در گرم کردن عمومی (۱/۱۵ $\pm$ ۱/۷۰ درجه) و در PAPE (۰/۹۵ $\pm$ ۰/۶۸ درجه) تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P=0/001$; $d=0/94$) و فاصله اطمینان ۹۵٪ اختلاف میانگین‌ها ۰/۴۱ تا ۱/۰۹ درجه

در مقابل، تفاوت معنی‌داری بین سرعت زاویه‌ای مفصل زانو در فاز اکستنژیک بعد از PAPE (۱۷ $\pm$ ۱۴/۱۳ درجه بر ثانیه) در مقایسه با گرم کردن عمومی (۲۸ $\pm$ ۱۳/۰۵ درجه بر ثانیه) به طور معناداری کاهش یافت ($P=0/03$; $d=0/52$) و فاصله اطمینان ۹۵٪ برای اختلاف میانگین‌ها از ۱/۲ تا ۲۰/۷ درجه بر ثانیه (تفاوت ۱۰/۹۲ واحد) به دست آمد. این

(تفاوت ۰/۷۵ درجه) محاسبه شد. این تغییر با اندازه اثر بزرگ و فاصله اطمینانی که صفر را شامل نمی‌شود، گویای بهبود همراستایی زانو و کاهش بار والگوس هنگام فرود تک‌پا متعاقب *PAPE* است.

بحث

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر گرم کردن مبتنی بر *PAPE* با جرم بدن بر کینماتیک مفصل زانو هنگام فرود تک‌پا در بازیکنان بسکتبال مرد بود. مهم‌ترین یافته پژوهش این بود که اجرای پروتکل *PAPE* با جرم بدن، بدون تغییر معنی‌دار در حداکثر فلکشن زانو، موجب کاهش معنی‌دار سرعت زاویه‌ای زانو در فاز اکسنتریک و کاهش زاویه والگوس زانو شد. این نتایج نشان می‌دهد که اثر این پروتکل بیشتر بر کنترل حرکتی و همراستایی مفصل زانو ظاهر شده است تا بر دامنه نهایی فلکشن زانو.

عدم تغییر معنی‌دار در حداکثر فلکشن زانو می‌تواند به این دلیل باشد که دامنه نهایی فلکشن هنگام فرود تا حد زیادی تحت تأثیر الگوی حرکتی آموخته‌شده، ویژگی‌های ساختاری مفصل و راهبرد فردی جذب نیرو قرار دارد. *PAPE* با جرم بدن احتمالاً محرک کافی برای تغییر فوری دامنه حرکتی نهایی زانو ایجاد نمی‌کند، اما می‌تواند زمان‌بندی و کنترل عصبی-عضلانی حرکت را تحت تأثیر قرار دهد. این تفسیر با گزارش‌های پیشین همسو است که نشان داده‌اند اثرات *PAPE* بیشتر در شاخص‌هایی مانند توان، نرخ تولید نیرو و کیفیت فعال‌سازی عصبی-عضلانی نمایان می‌شود تا در تغییرات کوتاه‌مدت دامنه حرکتی (۱۲، ۱۴).

کاهش معنی‌دار سرعت زاویه‌ای زانو در فاز اکسنتریک از نظر بیومکانیکی اهمیت دارد. فاز اکسنتریک فرود مرحله‌ای است که عضلات اندام تحتانی باید نیروهای برخورد با زمین را جذب و کنترل کنند. کاهش سرعت زاویه‌ای می‌تواند به معنای کنترل آهسته‌تر حرکت زانو، افزایش فرصت برای جذب نیرو و کاهش حرکت ناگهانی مفصل باشد. چنین الگویی ممکن است از طریق افزایش هماهنگی بین عضلات چهارسر، همسترینگ و عضلات کنترل‌کننده لگن ایجاد شود. مطالعات مربوط به *PAPE* نیز نشان داده‌اند که فعالیت شرطی‌ساز می‌تواند تحریک‌پذیری عصبی و آمادگی واحدهای حرکتی را بهبود دهد (۱۳، ۲۰).

کاهش زاویه والگوس زانو پس از *PAPE* نیز یافته‌ای

کاربردی و مهم است. والگوس زانو هنگام فرود یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی الگوهای پرخطر فرود و آسیب‌های غیرتماسی *ACL* محسوب می‌شود (۸، ۹، ۱۹). کاهش والگوس در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که اسکوات با جرم بدن به‌عنوان فعالیت شرطی‌ساز ممکن است کنترل فروتنال زانو را بهبود داده و همراستایی اندام تحتانی را هنگام فرود تک‌پا مطلوب‌تر کند. این یافته با مطالعاتی همسو است که نقش تمرینات عصبی-عضلانی و کنترل فرود را در کاهش والگوس زانو و بهبود کیفیت حرکت گزارش کرده‌اند (۶، ۲۱). تفاوت میان کاهش والگوس و سرعت زاویه‌ای از یک سو و عدم تغییر فلکشن زانو از سوی دیگر، از دیدگاه مکانیکی قابل توضیح است. فلکشن زانو یک متغیر دامنه‌ای در صفحه ساجیتال است، در حالی که والگوس زانو و سرعت زاویه‌ای بیشتر به کنترل دینامیک و ثبات لحظه‌ای مفصل مربوط هستند. بنابراین، ممکن است *PAPE* با جرم بدن بدون تغییر در دامنه حرکتی نهایی، کنترل عضلانی و سرعت حرکت مفصل را بهبود دهد که با یافته‌های بامپوراس و اسفورمس (۱۸) مبنی بر اثر تسهیل عصبی-عضلانی اسکوات با جرم بدن همسو است. این موضوع نشان می‌دهد که در ارزیابی اثر گرم‌کردن‌های عملکردی، صرفاً توجه به دامنه حرکتی کافی نیست و شاخص‌هایی مانند سرعت زاویه‌ای و همراستایی مفصل نیز باید بررسی شوند همان‌طور که پریسکه و همکاران (۱۴) نیز بر ضرورت تمایز بین ابعاد مختلف عملکرد در ارزیابی اثرات *PAPE* تأکید کرده‌اند.

در مقایسه با مطالعات پیشین، پژوهش حاضر از این نظر متفاوت است که به جای تمرکز بر پرش عمودی یا شاخص‌های خروجی عملکرد، بر کینماتیک زانو هنگام فرود تک‌پا تمرکز کرده است. بیشتر مطالعات *PAPE* از بارهای خارجی یا پروتکل‌های پلايومتریک استفاده کرده‌اند (۱۲، ۱۶)، در حالی که مطالعه حاضر نشان داد حتی یک پروتکل ساده مبتنی بر جرم بدن نیز می‌تواند برخی متغیرهای مرتبط با کنترل فرود را بهبود دهد. این ویژگی، کاربرد میدانی یافته‌ها را افزایش می‌دهد، زیرا اجرای اسکوات با جرم بدن نیازمند تجهیزات خاص نیست و می‌تواند در گرم‌کردن پیش از تمرین یا مسابقه بسکتبال استفاده شود.

از نقاط قوت پژوهش حاضر می‌توان به استفاده از طرح درون‌گروهی، تمرکز بر حرکت کاربردی فرود تک‌پا، استفاده از سیستم تحلیل حرکت سه‌بعدی و بررسی هم‌زمان سه

بروز آسیب اندازه‌گیری نشد، نمی‌توان بر اساس یافته‌های این مطالعه درباره تأثیر مستقیم این پروتکل بر کاهش خطر آسیب *ACL* یا پیشگیری از آسیب نتیجه‌گیری قطعی کرد.

ملاحظات اخلاقی

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی کرمان در نظر گرفته شده است.

حمایت مالی

این پژوهش بدون دریافت حمایت مالی از هیچ‌گونه سازمان، مؤسسه یا نهاد دولتی و خصوصی انجام شده است.

نقش نویسندگان

این پژوهش تحت نظارت علمی دکتر محمدتقی امیری خراسانی و دکتر محمدرضا امیر سیف‌الدینی طراحی و اجرا شد. هر دو استاد راهنما در طول فرآیند مطالعه بازخوردهای علمی ارزنده‌ای ارائه دادند، در طراحی و روش‌شناسی تحقیق مشارکت داشتند و تمامی مراحل نگارش مقاله را مورد بازبینی قرار دادند. اجرای مطالعه، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و نگارش اولیه مقاله توسط دانشجو و تحت هدایت ایشان انجام شد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بر اساس پایان نامه کارشناسی ارشد بیومکانیک ورزشی خانم فاطمه جهانگیری گیسی، به راهنمایی آقای دکتر محمدتقی امیری خراسانی و مشاوره دکتر محمدرضا امیرسیف‌الدینی می‌باشد. از تمامی بازیکنان بسکتبال شرکت‌کننده در این پژوهش که با همکاری و حضور منظم خود امکان اجرای مراحل تحقیق را فراهم کردند، صمیمانه قدردانی می‌شود. همچنین، نویسندگان از مسئولان و کارشناسان آزمایشگاه بیومکانیک ورزشی دانشکده علوم ورزشی دانشگاه شهید باهنر کرمان که در فرایند جمع‌آوری داده‌ها و اجرای آزمون‌ها همکاری داشتند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

تضاد منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع نداد.

متغیر کینماتیکی اشاره کرد. با این حال، مطالعه محدودیت‌هایی نیز دارد همچون محدود بودن حجم نمونه، فقط مرد بودن آزمودنی‌ها، تحلیل صرفاً روی پای غالب، عدم ثبت داده‌های نیروهای عکس‌العمل زمین و فعالیت الکترومایوگرافی عضلات و اثرات مطالعه به پاسخ حاد.

پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده اثر *PAPE* مبتنی بر جرم بدن را در بازیکنان زن، ورزشکاران نخبه و گروه‌های سنی مختلف بررسی کنند. همچنین ترکیب داده‌های کینماتیکی با نیروهای عکس‌العمل زمین و الکترومایوگرافی می‌تواند درک دقیق‌تری از مکانیسم‌های عصبی-عضلانی مؤثر بر کاهش والگوس و سرعت زاویه‌ای زانو فراهم کند.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد گرم‌کردن مبتنی بر *PAPE* با جرم بدن در بازیکنان بسکتبال مرد، حداکثر فلکشن زانو را هنگام فرود تک‌پا تغییر نمی‌دهد، اما موجب کاهش سرعت زاویه‌ای زانو در فاز اکسنتریک و کاهش زاویه والگوس زانو می‌شود. این تغییرات می‌تواند نشان‌دهنده بهبود کنترل حرکتی و هم‌راستایی مفصل زانو هنگام فرود باشد. بنابراین، اسکوات با جرم بدن به‌عنوان بخشی از گرم‌کردن، می‌تواند راهبردی ساده و قابل اجرا برای بهبود کیفیت فرود در بازیکنان بسکتبال مرد باشد.

کاربرد بالینی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که گرم‌کردن مبتنی بر توانمندسازی پس‌فعالی افزایش عملکرد با استفاده از جرم بدن می‌تواند برخی شاخص‌های کینماتیکی زانو، شامل زاویه والگوس و سرعت زاویه‌ای زانو در فاز اکسنتریک، را هنگام فرود تک‌پا بهبود دهد. از دیدگاه کاربردی، کاهش این متغیرها ممکن است نشان‌دهنده کنترل حرکتی و هم‌راستایی مطلوب‌تر مفصل زانو هنگام فرود باشد. از آنجا که پروتکل مورد استفاده شامل اسکوات با جرم بدن و بدون نیاز به تجهیزات خاص بود، می‌توان از آن به‌عنوان یک راهبرد ساده در برنامه گرم‌کردن بازیکنان بسکتبال استفاده کرد. با این حال، با توجه به اینکه در پژوهش حاضر نیروهای عکس‌العمل زمین، فعالیت الکترومایوگرافی عضلات و میزان

References

- Vora M, Arora M. An analysis of the evidence base relating to the role of warm-up and stretching in reduction of injury risk in athletes. *Orthop Sports Med Open Access J*. 2019;2:144-9.
- Fett C, Figueiredo K, Ferraz A, Lebbeck F, Fernanda C. Warm-up or Proprioceptive Neuromuscular Facilitation are Unnecessary before Anaerobic or Aerobic Power Exercise. *Int J Sports Exerc Med*. 2020;6:177.
- Esteban-García P, Abián-Vicen J, Sánchez-Infante J, Ramírez-delaCruz M, Rubio-Arias JÁ. 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*. 2024;14(9):3872.
- Moreno-Pérez V, Ruiz J, Vazquez-Guerrero J, Rodas G, Del Coso J. Training and competition injury epidemiology in professional basketball players: a prospective observational study. *The Physician and Sportsmedicine*. 2023;51(2):121-8.
- Kelley EA, Hogg JA, Gao L, Waxman JP, Shultz SJ. Demographic factors and instantaneous lower extremity injury occurrence in a National Collegiate Athletic Association Division I population. *Journal of Athletic Training*. 2023;58(5):393-400.
- Leppänen M, Pasanen K, Kulmala J-P, Kujala UM, Krosshaug T, Kannus P, et al. Knee control and jump-landing technique in young basketball and floorball players. *International journal of sports medicine*. 2016;37(04):334-8.
- Zebis M, Aagaard P, Andersen L, Hölmich P, Clausen M, Brandt M, et al. First-time anterior cruciate ligament injury in adolescent female elite athletes: a prospective cohort study to identify modifiable risk factors. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. 2022;30(4):1341-51.
- Aoki A, Koresawa K, No Y, Sadakiyo M, Kubota S, Gamada K. Biomechanical Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury in Young Female Basketball Players: A pilot Study. *medRxiv*. 2022:2022.07.11.22277460.
- Collings TJ, Gorman AD, Stuelcken MC, Mellifont DB, Sayers MG. Exploring the Justifications for Selecting a Drop Landing Task to Assess Injury Biomechanics: A Narrative Review and Analysis of Landings Performed by Female Netball Players: TJ Collings et al. *Sports Medicine*. 2019;49(3):385-95.
- Chinnasee C, Weir G, Sasimontonkul S, Alderson J, Donnelly C. A biomechanical comparison of single-leg landing and unplanned sidestepping. *International journal of sports medicine*. 2018;39(08):636-45.
- Ciocca G, Tschann H, Tessitore A. Effects of post-activation performance enhancement (PAPE) induced by a plyometric protocol on deceleration performance. *Journal of Human Kinetics*. 2021;80:5.
- Seitz LB, Haff GG. Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports medicine*. 2016;46(2):231-40.
- Blazevich AJ, Babault N. Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Frontiers in Physiology*. 2019;10:479198.
- Prieske O, Behrens M, Chaabene H, Granacher U, Maffiuletti NA. Time to differentiate postactivation “potentiation” from “performance enhancement” in the strength and conditioning community. *Sports medicine*. 2020;50(9):1559-65.
- Eken Ö. The acute effect of different specific warm-up intensity on one repeat maximum squat performance on basketball players. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*. 2021;25(5):313-8.
- Dobbs WC, Toluoso DV, Fedewa MV, Esco MR. Effect of postactivation potentiation on explosive vertical jump: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2019;33(7):2009-18.
- Günay AR, Genç S, Salman K, Günay E. The effect of post-activation performance enhancement of coincidence anticipation timing in basketball players. *Journal of Cognitive Enhancement*. 2023;7(3):186-92.
- Bampouras TM, Esformes JJ. Bodyweight squats can induce post-activation performance enhancement on jumping performance: a brief report. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*. 2020;9(4):31-6.
- Munro A, Herrington L, Comfort P. Comparison of landing knee valgus angle between female basketball and football athletes: Possible implications for anterior cruciate ligament and patellofemoral joint injury rates. *Physical Therapy in Sport*. 2012;13(4):259-64.
- Boullousa D, Del Rosso S, Behm DG, Foster C. Post-activation potentiation (PAP) in

- endurance sports: A review. *European journal of sport science*. 2018;18(5):595-610.
21. Ghobadi Nezha S, Hoseini SH, Norasteh AA. Effect of six weeks of progressive jump-landing training on jump shooting accuracy and knee valgus angle in male basketball players with dynamic knee valgus. *Journal of Sport Biomechanics*. 2021;7(2):148-63.