

## Research Paper



### A Comparison of the Knee Frontal Plane Projection Angle in Different Landing Tasks on Healthy Female Athletes

Hosein Kouhzad Mohammadi<sup>1</sup>, Neda Orakifar<sup>2</sup>, Salah Saleh Hosein Al-Safar<sup>2</sup>

1. Rehabilitation research center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

2. Department of Physiotherapy, School of Rehabilitation, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Use your device to scan  
and read the article online



**Citation** Kouhzad Mohammadi H, Orakifar N, Saleh Hosein Al-Safar S. [A Comparison of the Knee Frontal Plane Projection Angle in Different Landing Tasks on Healthy Female Athletes (Persian)]. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2025; 24(1):40-53. 10.32592/jsmj.24.1.40

<https://doi.org/10.32592/jsmj.24.1.40>

#### ABSTRACT

**Background and Objectives** Landing after a jump is a high-risk mechanism that can lead to numerous lower limb injuries, particularly in the knee. Most lower limb injuries occur when an individual is unprepared to cope with landing forces. This study was designed to compare the knee frontal plane projection angle (KFPPA) in various landing tasks on healthy female athletes.

**Subjects and Methods** In this cross-sectional study, 22 recreational female athletes with a mean age of  $26.05 \pm 2.05$  years were selected through non-random sampling. KFPPA was measured during different landing tasks. The study involved four common landing tasks: double leg jump (DLJ), double leg drop (DLD), single leg jump (SLJ), and single leg drop (SLD).

**Results** KFPPA values for DLD and DLJ were similar ( $P = 0.18$ ). Additionally, KFPPA during the SLD task was significantly higher than during SLJ, DLJ, and DLD tasks ( $P < 0.001$  for all comparisons).

**Conclusion** The findings highlight the importance of rehabilitation programs focusing on enhancing knee stability, especially for athletes engaged in single-leg landing tasks like SLD, to reduce the risk of common landing-related injuries.

**Keywords** Knee joint, Athletes, Female.

Received: 19 January 2025

Accepted: 02 March 2025

Available Online: 20 May 2025

■ ..... ■  
**\* Corresponding Author:**

**Hosein Kouhzad Mohammadi**

**Address:** Rehabilitation research center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran. 2 Department of Physiotherapy, School of Rehabilitation, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

**Tel:** 06133743101

**E-Mail:** [kouhzad@yahoo.com](mailto:kouhzad@yahoo.com)

### Extended Abstract

#### Introduction

Landing is a high demand activity that can be seen in a lot of different forms of sports activities (1). During the landing tasks, the excessive forces and torques are produced by the muscle tendon unit and reaction forces that exerted to the lower limb musculoskeletal structures. Thus, the probability of injury in the lower extremities structures is high (2, 3). For preventing the injury while landing, the body must have the ability to respond to stress and can maintain its balance. Controlling the produced torques and maintaining the balance while landing should be made by all of the lower extremities joints and for this reason an important challenge can be created in neuromuscular system before and during landing (4).

A successful function in a landing task will require an appropriate and effective interaction between body's person and landing surface to obtain the desired goal during the activity. In addition, the forces induced to the musculoskeletal system during landing depend on how an individual was done an interaction with the landing surface (4). Landing can import the forces equal to 2 up to 12 times the body weight to the lower extremities (5, 6). The evidence shows that a person can voluntarily adjust the external loads up to 8 times the body weight during the ground contact by employing multi joint strategy produced by central nervous system (CNS) (4). Landing strategy chosen by an individual represents a person's preference for distributing internal forces between the bones, joints and *muscles*. The ability of athletes to produce the optimal strategies depends on their physiological and morphological features and motor control capability. These characteristics are determined based on the particular condition, the velocity and surface activity (4).

During landing, suddenly a large force is imported into the musculoskeletal system; therefore, for absorbing and distributing forces and controlling reaction forces, prior to contact with the ground, based on existing patterns in the brain and by the feed forward mechanism an appropriate strategy must be applied that it can be referred to as preparation (7). In other words, dynamic and ongoing preparation is needed in the related joints and muscles (8). A person's ability to select an appropriate strategy in the preparation can be determined with help of vision, preparation time and kinematic of segments before foot contact with the ground. How to prepare a person for contact with the ground affects the distribution of the reaction forces during landing (4).

A longer flight time in landing leads to a stronger and a better preparation occurring and gives more opportunities to the CNS to select the best condition of joints and

muscles in distributing and absorbing the landing forces (4). It is said that one of the reasons that women with the less flexion angles of lower limb joints during the landing is that their flight time is less than men, and this can cause the more injury risk in their lower extremity (4). It seems that the vision will have an important role in the preparation so that when the flight time decreases, the opportunity to look at the level decreases as well and as a result preparation gets disrupted (4).

Knee damage during landing can be caused by biomechanical factors and bad technique of the athlete. According to some researchers, the most important factor among biomechanical risk factors, is the knee valgus angle that as a result as increasing this angle the risk of injury in knee increases (9-13). Bad technical people land with erect position i.e., while landing they use less flexion in the hip and knee and this makes the increased knee valgus angle during landing and the risk of knee injury (14-16). Since the landing is a dynamic activity, in some cases an abnormal dynamic knee valgus is created for a person which causes a reduction in the knee flexion, an increase in the knee valgus loads, and an increase in the hip adduction & internal rotation (17, 18). For this reason, the risk of knee injury during landing despite abnormal dynamic knee valgus increases. That is why knee injury risk is greater in the women, too (10, 12, 17). It is said that since women do landing with a less flexion of the joints of the lower extremities a more dynamic knee valgus is created for them compared to the men and this makes the risk of injury in the lower extremities in the woman more (9, 13).

Munro and Herington indicated that feedback given to the person leads to a reduction in the vertical ground reaction force (VGRF) and in the amount of knee frontal plane projection angle (KFPPA) at a drop Jump Landing task that may help to reduce the risk of knee injury (19). Also, Clare et al. showed that, in a *jump-landing task*, verbal commands caused a reduction in VGRF and KFPPA and an increase in flexion of the knees while landing that may help a reduction in the risk of knee injury (14). Hagin et al. showed that the landing in inclined floor conditions increases biomechanical variables of the knee, including knee valgus angle and VGRF, which causes the damage (20). In another study Cortes et al. investigated the effects of two landing techniques (forefoot and rearfoot) in the lower limb biomechanics during two unanticipated tasks (pivoting & side step cutting) in professional footballers and concluded that different techniques for landing during the unanticipated activities, which normally happens in sports, can change the biomechanical variables of lower extremity (knee valgus angle, hip adduction, knee flexion, and GRF) (21).

Given the high risk of lower extremity injuries during landing tasks, and a lack of study in this field, the aim of this study was to investigate the effects of the different landing methods: double leg jump (DLJ), double leg drop (DLD), single leg jump (SLJ) and single leg drop (SLD) on the knee frontal plane projection angle (KFPPA) in the healthy female subjects.

## Methods

### Participants:

This cross-sectional study included 22 recreational female athletes selected through simple non-random sampling. Inclusion criteria were: age between 20 to 30 years, body mass index (BMI) between 22 to 25 kg/m<sup>2</sup>, participation in recreational sports (at least 30 minutes of moderate to intense physical activity three times a week). Exclusion criteria included a history of orthopedic or neurological disorders in the past six months, use of substances affecting postural control (such as alcohol, drugs, or stimulants) within 48 hours before the test, and pregnancy.

This study was approved by the Medical Ethics Committee of Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences under the code IR.AJUMS.REC.1402.611. All participants were informed about the objectives and procedures of the study, and written informed consent was obtained from all participants.

### Procedure

#### Pilot Study:

To assess intra-tester reliability, 10 participants were selected, and all test procedures were performed in two sessions one week apart. Each session included three repetitions of each test, and the average of these repetitions was used in the reliability assessment. After statistical confirmation of reliability, the main study commenced. All tests were conducted by a single examiner.

#### Main Study:

Participants were instructed to wear pre-prepared laboratory shorts and shoes. To ensure proper marker placement, the skin was cleaned with alcohol before attaching the markers using double-sided tape. Markers were bilaterally placed on the lower limbs at the following anatomical landmarks: midpoint of the femoral condyles, midpoint between the medial and lateral malleoli, upper thigh at the midpoint of the line connecting the anterior superior iliac spine (ASIS) to the knee marker, and directly on the ASIS (20, 22).

KFPPA was assessed using a 3-dimensional motion analyzer (Qualisys, Sweden) with a resolution of 1.3 megapixels and a frame rate of 500 frames per second. Three cameras were used to capture KFPPA.

At the beginning of each test, participants were trained in the jump-landing task and asked to practice it several times to familiarize themselves with the procedure. Participants

then stood in a stable position to reach equilibrium, during which a static recording was performed to verify marker placement and normalize data. Finally, participants performed the required tasks. Four common jump-landing tasks were executed: DLD, SLD (23), DLJ, and SLJ (14).

### Landing Task Execution:

- **DLJ:** The participant stood on the ground with their feet shoulder-width apart, performed a vertical jump forward while reaching their hand as high as possible and landed with both feet.
- **DLD:** The participant stood on a 28 cm step (considering 2 cm shoe height), feet shoulder-width apart, leaned forward, and jumped vertically, landing with both feet on a marked spot 30 cm in front of the step.
- **SLJ:** The participant stood on the ground with their feet shoulder-width apart, performed a vertical jump forward while reaching their hand as high as possible and landed on the dominant leg. The dominant leg was determined by kicking a ball and observing the responding limb.
- **SLD:** The participant stood on a 28 cm step (including a 2 cm shoe height), feet shoulder-width apart, leaned forward, and jumped vertically, landing on the dominant leg at a marked spot 30 cm in front of the step.

Each task was repeated three times with a one-minute rest interval between trials, and the average was recorded. Extracted data were entered into an Excel program for analysis. After graphing the results, KFPPA was measured and recorded in both static and landing tasks.

### Statistical Methods

Descriptive statistics, including measures of dispersion and central tendency, were used to describe the variables. The one-sample Kolmogorov-Smirnov test was applied to check data normality. A repeated measures test was used to compare KFPPA among different jump-landing tasks, followed by pairwise comparisons using the Bonferroni test. Reliability was assessed through the intraclass correlation coefficient (ICC), standard error of measurement (SEM), and minimal detectable change (MDC). The significance level for type I error was set at 0.05.

### Results

This study evaluated 22 recreational female athletes with a mean age of  $26.05 \pm 2.05$  years, height of  $163.61 \pm 4.42$  cm, weight of  $62.41 \pm 3.81$  kg, and BMI of  $23.30 \pm 0.87$  kg/m<sup>2</sup>. The reliability analysis demonstrated moderate to good for the variables (Table 1). The repeated measures test indicated statistically significant differences among the studied

variables ( $P < 0.001$ ). Pairwise comparison results using the Bonferroni test are presented in Table 2 and

Figure 1.

**Table 1.** Reliability Coefficients with 95% Confidence Interval for KFPPA\* of double leg jump, double leg drop, single leg jump and single leg drop landing tasks.

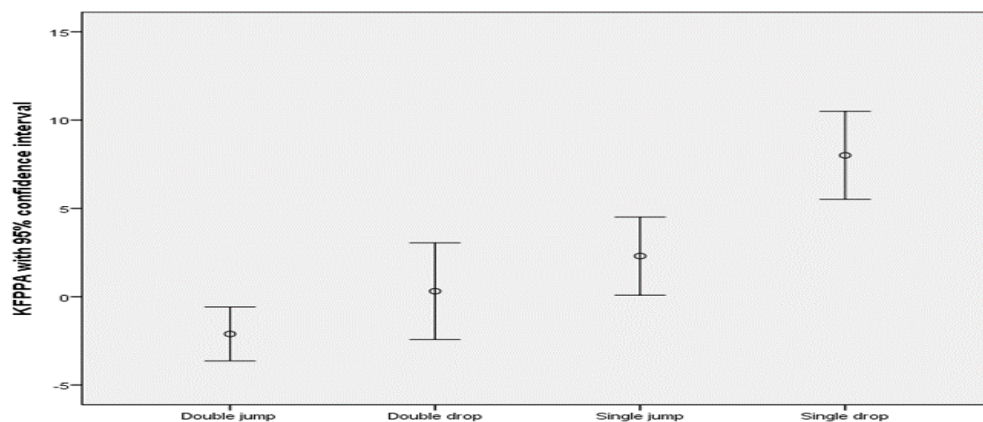
	ICC	SEM	MDC
Double leg jump	0.80	0.50	1.40
Double leg drop	0.68	1.99	5.52
Single leg jump	0.77	1.24	3.44
Single leg drop	0.60	1.63	4.53

\* KFPPA: knee frontal plane projection angle.

**Table 2.** Comparison of KFPPA of double leg jump, double leg drop, single leg jump and single leg drop landing tasks.

Landing tasks	Mean difference (SE)	P-value	
Double leg jump	Double leg drop	2.42 (1.04)	$P = 0.18$
	Single leg jump	4.41 (0.82)	$P < 0.001$
	Single leg drop	10.11 (0.97)	$P < 0.001$
Double leg drop	Single leg jump	1.99 (1.25)	$P = 0.76$
	Single leg drop	7.69 (1.15)	$P < 0.001$
Single leg jump	Single leg drop	5.70 (0.98)	$P < 0.001$

\* Abbreviation: KFPPA: knee frontal plane projection angle; SE: standard error.



**Figure 1:** Comparison of KFPPA of double leg jump, double leg drop, single leg jump and single leg drop landing tasks.

## Conclusion

This study demonstrated that double-leg landing tasks impose similar mechanical demands on the knee joint, whereas single-leg landing tasks place significantly greater stress on the knee and require more advanced neuromuscular control. These findings highlight the importance of targeted training and rehabilitation programs to enhance knee stability, particularly for athletes who frequently perform single-leg landings. Such programs can help reduce the risk of common injuries, such as ACL tears.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Medical Ethics Committee of Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences under the code IR.AJUMS.REC.1402.611.

### Funding

None.

### Authors contributions

Hosein Kouhzad Mohammadi and Neda Orakifar drafted and revised the manuscript. They also conducted the statistical analysis and prepared the tables and figure. Salah Saleh Hosein Al-Safar performed the experiments. All authors have read and approved the manuscript.

### Conflicts of interest

There is no conflict of interest.

### Acknowledgements

This study is part of the master's thesis of Mr. Salah Saleh Hosein Al-Safar, registered under project number PHT-0235.

## مقاله پژوهشی

## مقایسه زاویه تصویر صفحه فرونتال زانو در تکالیف مختلف فرود در زنان ورزش کار سالم

حسین کوهزاد محمدی<sup>1\*</sup>، ندا اورکی فر<sup>2</sup>، صالح صلاح حسین الصفار<sup>2</sup>

1. مرکز تحقیقات توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
2. دپارتمان فیزیوتراپی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

Use your device to scan  
and read the article online

**Citation** Kouhzad Mohammadi H, Orakifar N, Saleh Hosein Al-Safar S. [A Comparison of the Knee Frontal Plane Projection Angle in Different Landing Tasks on Healthy Female Athletes (Persian)]. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2025; 24(1):40-53. 10.32592/jsmj.24.1.40

**doi** <https://doi.org/10.32592/jsmj.24.1.40>

## چکیده

زمینه و هدف: فرود پس از پرش یکی از مکانیسم‌های پرخطر است که می‌تواند به آسیب‌های زیادی در اندام تحتانی، به‌ویژه زانو، منجر شود. اغلب آسیب‌های اندام تحتانی در شرایطی رخ می‌دهد که فرد آمادگی مقابله با آن را ندارد. این مطالعه به‌منظور مقایسه زاویه تصویر صفحه فرونتال زانو (KFPPA) در تکالیف مختلف فرود در زنان ورزش کار سالم طراحی شده است.

روش بررسی: در این مطالعه مقطعی، با استفاده از نمونه‌گیری غیر تصادفی، 22 زن ورزش کار تقریبی با میانگین سنی  $26/05 \pm 2/05$  انتخاب شدند و KFPPA در تکالیف مختلف فرود اندازه‌گیری شد. در این مطالعه، بررسی‌ها شامل چهار تکلیف رایج فرود شامل double leg jump (DLJ), double leg drop (DLD), single leg jump (SLJ), single le drop (SLD) بود.

یافته‌ها: مقادیر KFPPA برای DLD و DLJ مشابه بود ( $P = 0/18$ ). علاوه‌براین، KFPPA در SLD به‌طور معناداری بالاتر از SLJ، DLJ و DLD بود ( $P < 0/001$ ) برای همه مقایسه‌ها.

نتیجه‌گیری: یافته‌ها اهمیت برنامه‌های توان‌بخشی متمرکز بر تقویت ثبات زانو، به‌ویژه برای زنان ورزش‌کاری که در فرودهای تک پا مانند SLD شرکت دارند را برای کاهش خطر آسیب‌های شایع حین فرود نشان می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: مفصل زانو، افراد مؤنث، ورزش کاران

تاریخ دریافت: 30 دی 1403

تاریخ پذیرش: 12 اسفند 1403

تاریخ انتشار: 31 اردیبهشت 1404

نویسنده مسئول:

حسین کوهزاد محمدی

نشانی: مرکز تحقیقات توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

تلفن: +98 - 6133743101

رایانامه: kouhzad@yahoo.com

# جندی شاپور

آماده سازی فرد برای تماس با زمین بر توزیع نیروهای واکنش در هنگام فرود تأثیر می گذارد [4].

طولانی تر بودن زمان در هوا بودن (flight time) در هنگام فرود موجب آمادگی قوی تر و بهتر می شود و فرصت بیشتری به سیستم عصبی مرکزی می دهد تا بهترین و ضعیف ترین مفاصل و عضلات را برای توزیع و جذب نیروهای وارد شده به هنگام فرود انتخاب کند [4]. گفته می شود یکی از دلایلی که زنان در هنگام فرود زاویه فلکشن (flexion) کمتری در مفاصل اندام های تحتانی دارند، این است که زمان در هوا بودن آنها حین تکلیف پرش- فرود (jump-landing task) کمتر از مردان است و این موضوع می تواند خطر آسیب دیدگی در اندام تحتانی آنها را افزایش دهد [4]. به نظر می رسد بینایی نقش مهمی در آمادگی ایفا می کند، به طوری که با کاهش زمان در هوا بودن، فرصت نگاه کردن به سطح کاهش می یابد و در نتیجه آمادگی مختل می شود [4].

آسیب زانو در هنگام فرود می تواند ناشی از عوامل بیومکانیکی و تکنیک نامناسب ورزش کار باشد. به گفته برخی محققان، مهم ترین عامل در میان عوامل خطر ساز بیومکانیکی، زاویه والگوس زانوست که با افزایش این زاویه، خطر آسیب دیدگی زانو نیز افزایش می یابد [9-13]. افرادی که تکنیک نامناسبی دارند، در حالت عمودی فرود می آیند؛ یعنی هنگام فرود، از فلکشن کمتری در مفصل ران و زانو استفاده می کنند که این باعث افزایش زاویه والگوس زانو و خطر آسیب دیدگی آن می شود [14-16]. از آنجا که فرود یک فعالیت پویاست، در برخی موارد حین فرود یک والگوس دینامیک غیرطبیعی در زانو ایجاد می شود که باعث کاهش فلکشن زانو، افزایش بارهای والگوس زانو و افزایش آداکشن و چرخش داخلی مفصل ران می شود [17، 18]. به همین دلیل، خطر آسیب دیدگی زانو در هنگام فرود با وجود والگوس دینامیک غیرطبیعی زانو افزایش می یابد. این مسئله همچنین دلیل افزایش خطر آسیب دیدگی زانو در زنان است [10، 12، 17]. گفته می شود از آنجا که زنان با فلکشن کمتری در مفاصل اندام های تحتانی فرود می آیند، والگوس دینامیک بیشتری برای آنها ایجاد می شود و این باعث افزایش خطر آسیب در اندام های تحتانی زنان نسبت به مردان می گردد [9، 13].

مونرو (Munro) و هرینگتون (Herrington) نشان دادند که ارائه بازخورد به فرد به کاهش نیروی عمودی عکس العمل زمین

## مقدمه

فرود آمدن (landing) یکی از تکالیف (tasks) پُر تقاضایی است که در بسیاری از ورزش ها مشاهده می شود [1]. در طول تکالیف فرود، نیروها و گشتاورهای بیش از حد توسط واحد تاندون عضله و نیروهای واکنش زمین تولید می گردند که به ساختارهای اسکلتی عضلانی اندام تحتانی وارد می شوند. بنابراین، احتمال آسیب در ساختارهای اندام تحتانی زیاد است [2، 3]. برای پیشگیری از آسیب در هنگام فرود، بدن باید توانایی پاسخ به تنش و حفظ تعادل را داشته باشد. کنترل گشتاورهای تولید شده و حفظ تعادل در هنگام فرود باید توسط تمام مفاصل اندام تحتانی انجام شود و به همین دلیل، یک چالش مهم در سیستم عصبی عضلانی قبل و در حین فرود ایجاد می شود [4].

برای انجام موفقیت آمیز یک تکلیف فرود، تعامل مناسب و مؤثر بین بدن فرد و سطح فرود، لازم است تا هدف مورد نظر در حین فعالیت به دست آید. علاوه بر این، نیروهایی که به سیستم اسکلتی عضلانی وارد می شوند، به نحوه تعامل فرد با سطح فرود بستگی دارند [4]. فرود می تواند نیرویی معادل 2 تا 12 برابر وزن بدن را به اندام تحتانی وارد کند [5، 6]. شواهد نشان می دهد که فرد می تواند بارهای خارجی تا 8 برابر وزن بدن در هنگام تماس با زمین را با استفاده از استراتژی چندمفصلی تولید شده توسط سیستم عصبی مرکزی تنظیم کند [4]. استراتژی فرودی که توسط فرد انتخاب می شود، ترجیح او را برای توزیع نیروهای داخلی بین استخوان ها، مفاصل و عضلات نشان می دهد. توانایی ورزش کاران برای تولید استراتژی های بهینه به ویژگی های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و توانایی کنترل حرکتی آنها بستگی دارد و این ویژگی ها بر اساس شرایط خاص، سرعت و سطح فعالیت (surface activity) تعیین می شوند [4].

در طی فرود، نیروی زیادی به طور ناگهانی به سیستم عضلانی اسکلتی وارد می شود. برای جذب و توزیع نیروها و کنترل نیروهای عکس العمل، قبل از تماس با زمین و بر اساس الگوهای موجود در مغز، باید استراتژی مناسبی انتخاب و اعمال شود که به آن آماده سازی (preparation) گفته می شود [7]. آماده سازی دینامیک و مداوم در مفاصل و عضلات مربوطه یک امر ضروری و مهم است [8]. توانایی فرد در انتخاب استراتژی مناسب برای آماده سازی با استفاده از بینایی، زمان آماده سازی و کینماتیک نواحی مختلف بدن قبل از تماس پا با زمین تعیین می شود. نحوه

موادی که بر کنترل وضعیتی تأثیر می‌گذارند (مانند الکل، مواد مخدر، مواد نیروزا) طی 48 ساعت قبل از آزمون و بارداری بودند.

این مطالعه توسط کمیته اخلاق پزشکی دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز با کد IR.AJUMS.REC. 1402.611 مورد تأیید قرار گرفته است. همچنین، به همه افراد شرکت‌کننده در این مطالعه آگاهی لازم در خصوص اهداف و روش انجام آزمایش‌ها داده و رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از همه آن‌ها اخذ شد.

### روش کار

#### مطالعه مقدماتی

برای ارزیابی تکرارپذیری درونی (intra-tester reliability)، ده نفر از افراد شرکت‌کننده در این مطالعه انتخاب شدند و طی دو جلسه با یک هفته فاصله از یکدیگر تمام مراحل آزمایش انجام شد. هر جلسه شامل سه تکرار در هر آزمون بود و میانگین این سه تکرار در آزمون تکرارپذیری مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با تأیید آماری تکرارپذیری، مطالعه اصلی آغاز شد. قابل ذکر است که تمام مراحل آزمایش‌ها توسط یک آزمونگر انجام شد.

#### مطالعه اصلی

از شرکت‌کنندگان خواسته شد که شلوارک و کفش‌های آزمایشگاهی از قبل تهیه شده را بپوشند. سپس جهت نصب بهتر نشانگرها (markers)، محل نصب آن‌ها با الکل تمیز شد و با چسب دوطرفه در محل خود قرار گرفتند. نشانگرها بر روی اندام تحتانی هر شرکت‌کننده به صورت دوطرفه به شرح زیر قرار داده شدند: نقطه میانی کندیل‌های فمور، نقطه میانی بین مائل‌های میچ‌پا، قسمت فوقانی ران در نقطه میانی خطی که از خار خاصره‌ای فوقانی قدامی anterior superior iliac spine (ASIS) به نشانگر زانو متصل می‌شد و همچنین بر روی ASIS [20، 22].

KFPPA با استفاده از یک تحلیلگر حرکتی سه‌بعدی (3-dimensional motion analyzer) ساخت شرکت Qualisys کشور سوئد با رزولوشن 1/3 مگاپیکسل و سرعت پردازش 500 فریم در ثانیه ارزیابی شد. در این مطالعه، از 3 دوربین جهت ثبت KFPPA استفاده گردید.

vertical ground reaction force (VGRF) و زاویه تصویر صفحه فرونتال زانو knee frontal plane projection angle (KFPPA) در تکلیف پرش- فرود منجر می‌شود که ممکن است به کاهش خطر آسیب زانو کمک کند [19]. همچنین، میلنر (Milner) و همکاران نشان دادند که در تکلیف پرش- فرود، دستورات کلامی باعث کاهش VGRF و KFPPA و افزایش فلکشن زانوها هنگام فرود می‌شود که می‌تواند به کاهش خطر آسیب زانو منجر شود [14]. هاگین (Hagins) و همکاران نشان دادند که فرود در سطح شیب‌دار باعث افزایش متغیرهای بیومکانیکی زانو، از جمله زاویه والگوس زانو و VGRF می‌شود که می‌تواند باعث آسیب شود [20]. در مطالعه دیگری، کورتز (Cortes) و همکاران اثرات دو تکنیک فرود (فرود با پنجه پا و پا شنه پا) بر بیومکانیک اندام تحتانی در دو تکلیف غیرمنتظره (چرخش و تغییر جهت جانبی) (pivoting & side step cutting) را در فوتبالیست‌های حرفه‌ای بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تکنیک‌های مختلف فرود در این فعالیت‌ها که معمولاً در ورزش اتفاق می‌افتد، می‌تواند متغیرهای بیومکانیکی اندام تحتانی (زاویه والگوس زانو، اداکشن ران، فلکشن زانو و GRF) را تغییر دهد [21].

با توجه به خطر بالای آسیب‌دیدگی اندام تحتانی در هنگام تکالیف پرش- فرود و کمبود مطالعات مقایسه‌ای در این زمینه، هدف این مطالعه مقایسه KFPPA در تکالیف مختلف فرود: double leg jump (DLJ), double leg drop (DLD), single leg jump (SLJ), single leg drop (SLD) در زنان ورزش کار سالم بود.

### روش بررسی

#### انتخاب نمونه‌ها

در این مطالعه مقطعی، با استفاده از نمونه‌گیری غیر تصادفی ساده، 22 زن ورزش کار تفریحی انتخاب شدند. در این مطالعه، معیارهای ورود شامل سن بین 20 تا 30 سال، شاخص توده بدنی body mass index (BMI) بین 22 تا 25 کیلوگرم بر مترمربع، ورزش کار تفریحی (حداقل 30 دقیقه فعالیت ورزشی متوسط تا شدید سه بار در هفته) و علاوه بر این معیارهای خروج شامل سابقه اختلالات ارتوپدی یا نورولوژیکی طی شش ماه گذشته و استفاده از

است، به‌طور عمودی با پای غالب فرود می‌آید.

هر تکلیف سه‌بار با یک دقیقه فاصله از همدیگر انجام شد و میانگین آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعدی، اطلاعات استخراج شده برای آنالیز وارد برنامه اکسل شدند. پس از رسم نمودار، اندازه‌گیری KFPPA در دو وضعیت استاتیک و در تکلیف‌های فرود اندازه‌گیری و ثبت شدند.

### روش‌های آماری

روش‌های آماری توصیفی، از جمله پراکندگی و گرایش مرکزی برای توصیف متغیرها اتخاذ شدند. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف تک‌نمونه‌ای (One-sample Kolmogorov-Smirnov) برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها، آزمون اندازه‌گیری‌های مکرر (repeated measures) برای مقایسه KFPPA بین تکالیف مختلف پرش-فرود و سپس مقایسه‌های زوجی (pairwise comparisons) متغیرها با استفاده از آزمون بونفرونو (bonferroni) انجام شد. تکرارپذیری نتایج از طریق ضریب هم‌بستگی درون‌رده‌ای (intraclass correlation coefficient: ICC)، خطای استاندارد اندازه‌گیری (SEM: error of measurement) و حداقل تغییر قابل تشخیص (minimal detectable change: MDC) ارزیابی گردید. خطای نوع اول در سطح 0/05 در نظر گرفته شد.

### یافته‌ها

در این مطالعه 22 ورزشکار تفریحی مؤنث با میانگین سن  $2/05 \pm$  BMI  $26/05$ ، قد  $163/61 \pm 4/42$ ، وزن  $62/41 \pm 3/81$  و  $23/30 \pm 0/87$  ارزیابی شدند. نتایج آزمون‌های تکرارپذیری، بیانگر تکرارپذیری متوسط تا خوب متغیرها بودند (جدول 1). نتایج آزمون اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد که بین متغیرهای تحت بررسی اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت ( $P < 0/001$ ). همچنین نتایج آزمون مقایسه‌های زوجی با استفاده از آزمون بونفرونو در جدول 2 و شکل 1 آورده شده است.

در ابتدای هر آزمایش، نحوه انجام تکلیف پرش-فرود به فرد آموزش داده و از او خواسته می‌شد که جهت آشنایی با مراحل کار، چندبار تکلیف را تکرار کند. سپس، فرد در حالت ایستاده یک وضعیت ثابت را اتخاذ می‌کرد تا بدن به حالت پایداری برسد. در این حالت، یک ثبت استاتیک از فرد انجام می‌شد تا هم از صحیح بودن جای نشانگرها مطمئن شود و هم برای نرمالایزه کردن دیتا از آن استفاده گردد. در نهایت، از فرد خواسته می‌شد که تکلیف موردنظر را انجام دهد. در این مطالعه چهار تکلیف پرش-فرود رایج شامل DLD، DLJ [23]، و SLJ [14] توسط شرکت‌کنندگان انجام شد.

### روش انجام تکالیف فرود

- **DLJ**: فرد روی زمین می‌ایستد و پاها را به عرض شانه‌ها باز می‌کند. سپس با دو پا یک پرش عمودی به سمت بالا و جلو انجام می‌دهد، درحالی‌که می‌بایست دست خود را تا بالاترین نقطه‌ای که می‌تواند، برساند و سپس با دو پا فرود می‌آید.
- **DLD**: فرد روی پله‌ای به ارتفاع 28 سانتی‌متری می‌ایستد (ارتفاع کفش دو سانتی‌متر در نظر گرفته شد) و پاها را به عرض شانه‌ها باز می‌کند. فرد به جلو متمایل می‌شود و با حداکثر پرش در 30 سانتی‌متری پله که علامت‌گذاری شده است، به‌طور عمودی با دو پا فرود می‌آید.
- **SLJ**: فرد روی زمین می‌ایستد و پاها را به عرض شانه‌ها باز می‌کند. سپس با دو پا، یک پرش عمودی به سمت بالا و جلو انجام می‌دهد، درحالی‌که می‌بایست دست خود را تا بالاترین نقطه‌ای که می‌تواند، برساند و سپس با پای غالب فرود می‌آید. قابل‌ذکر است که از طریق شوت کردن توپ و مشاهده اندام پاسخ‌دهنده، پای غالب در هر فرد شرکت‌کننده تعیین شد.
- **SLD**: فرد روی پله‌ای به ارتفاع 28 سانتی‌متری می‌ایستد (ارتفاع کفش دو سانتی‌متر در نظر گرفته شد) و پاها را به عرض شانه‌ها باز می‌کند. فرد به جلو متمایل می‌شود و با حداکثر پرش در 30 سانتی‌متری پله که علامت‌گذاری شده

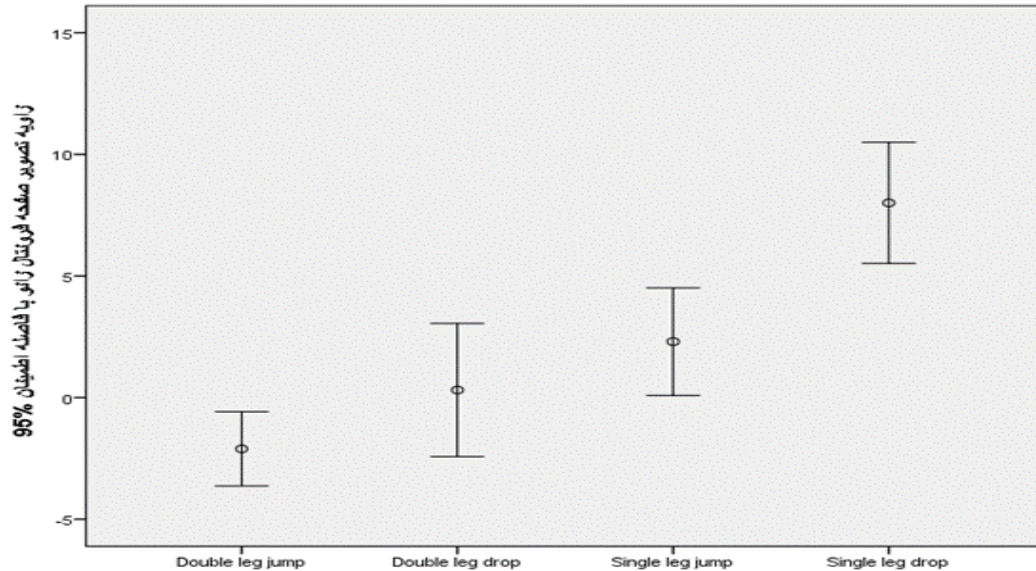
جدول 1- ضریب تکرارپذیری با فاصله اطمینان 95% برای KFPPA\* تکالیف فرود double leg jump, double leg drop, single leg jump, single leg drop

	ICC	SEM	MDC
Double leg jump	0/80	0/50	1/40
Double leg drop	0/68	1/99	5/52
Single leg jump	0/77	1/24	3/44
Single leg drop	0/60	1/63	4/53

\*KFPPA: knee frontal plane projection angle

جدول 2- مقایسه KFPPA\* در تکالیف فرود double leg jump, double leg drop, single leg jump, single leg drop

متغیر	میانگین تغییرات (خطای استاندارد)	مقدار P
Double leg jump	Double leg drop 2/42 (1/04)	P = 0/18
	Single leg jump 4/41 (0/82)	P < 0/001
	10/11 (0/97)	P < 0/001
Double leg drop	Single leg jump 1/99 (1/25)	P = 0/76
	Single leg drop 7/69 (1/15)	P < 0/001
Single leg jump	Single leg drop 5/70 (0/98)	P < 0/001



شکل 1- مقایسه KFPPA در تکالیف فرود double leg jump, double leg drop, single leg jump, single leg drop

این موضوع نشان می‌دهد که به‌طور کلی فرودهای تک‌پایی نیاز بیشتری به کنترل حرکتی مفصل زانو در مقایسه با حرکات متقارن داشته باشند. این یافته‌ها با مطالعه برخی محققان هم‌راستا است که تأکید کرد تکالیف تک‌پایی به دلیل تقاضای بیشتر در کنترل وضعیت و بارگذاری مفاصل، به استراتژی‌های کنترل عصبی-عضلانی پیچیده‌تری نیاز دارند [28، 29]. این یافته‌ها بر ضرورت تقویت هدفمند عضلات تثبیت‌کننده زانو، به‌ویژه در ورزش‌هایی که شامل حرکات تک‌پایی یا پویا هستند، تأکید می‌کند که در آن‌ها خطر آسیب‌دیدگی افزایش می‌یابد [28، 29].

علاوه بر این، بار مکانیکی افزایش‌یافته بر روی زانو در فرودهای تک‌پایی نشان‌دهنده پتانسیل بالاتر برای آسیب در حرکات دینامیک است. مطالعات برخی محققان اشاره کرده‌اند که افزایش KFPPA در حین انجام تکالیف تک‌پایی می‌تواند به اعمال بار بیشتر بر روی لیگامان‌های زانو، به‌ویژه ACL، منجر می‌شود و در صورت عدم مدیریت مناسب نیروها، خطر آسیب این لیگامان افزایش می‌یابد [28]. بنابراین، توصیه می‌شود که برنامه‌های تمرینی هدفمند شامل تمریناتی باشند که به بهبود ثبات زانو، حس عمقی و هماهنگی عصبی-عضلانی کمک کنند، به‌ویژه برای ورزش‌کارانی که به‌طور منظم تکالیف تک‌پایی را انجام می‌دهند [30].

درنهایت، این یافته‌ها بر نقش حیاتی برنامه‌های تمرینی و توان‌بخشی فردی تأکید می‌کنند که بر نیازهای مکانیکی خاص انواع مختلف فرود

## بحث

یکی از یافته‌های کلیدی این مطالعه، عدم وجود تفاوت معنادار در KFPPA بین تکالیف فرود دوپایی DLJ و DLD بود. این نتیجه نشان می‌دهد که هر دو تکلیف احتمالاً نیازهای مکانیکی مشابهی بر اندام تحتانی، به‌ویژه مفصل زانو، اعمال می‌کنند. نشان داده شده است که تکالیف پرش- فرود با الگوهای جابه‌جایی عمودی مشابه همانند DLJ و DLD، ویژگی‌های نیرویی و زاویه مفصلی یکسانی دارند [24، 25]. این شباهت بر اهمیت در نظر گرفتن تقارن مکانیکی در طراحی برنامه‌های تمرینی ورزشی تأکید دارد؛ زیرا این نوع حرکات ممکن است به استراتژی‌های مشابهی برای کنترل عصبی-عضلانی نیاز داشته باشند [25، 26].

نشان داده شده است که تکالیف پرش- فرود با الگوهای جابه‌جایی عمودی مشابه همانند DLJ و DLD، ویژگی‌های نیرویی و زاویه مفصلی یکسانی دارند. این شباهت بر اهمیت در نظر گرفتن تقارن مکانیکی در طراحی برنامه‌های تمرینی ورزشی تأکید دارد؛ زیرا این نوع حرکات ممکن است به استراتژی‌های مشابهی برای کنترل عصبی عضلانی نیاز داشته باشند [25، 27]. در مقابل، تفاوت معناداری در KFPPA بین فرود تک‌پایی SLD با فرودهای دو پا DLD و DLJ مشاهده شد، به‌طوری‌که در تکالیف SLD مقادیر بالاتری به دست آمد.

همچنین، این مطالعه تفاوت‌های احتمالی در جنسیت یا سن را در نظر نگرفت، عواملی که می‌توانند بر بیومکانیک زانو تأثیر بگذارند. علاوه بر این، عوامل خارجی مانند خستگی یا نوع سطح فرود نیز در نظر گرفته نشده‌اند که هر دو ممکن است تأثیر قابل توجهی بر مکانیک فرود داشته باشند.

### نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که تکالیف فرود دوپایی نیازهای مکانیکی مشابهی بر مفصل زانو اعمال می‌کنند، درحالی‌که تکالیف تک‌پایی به‌طور قابل توجهی فشار بیشتری بر زانو وارد می‌کنند و به کنترل عصبی-عضلانی پیشرفته‌تری نیاز دارند. این یافته‌ها بر اهمیت برنامه‌های تمرینی و توان‌بخشی هدفمند برای تقویت ثبات زانو تأکید دارند، به‌ویژه برای ورزش‌کارانی که بیشتر فرود تک‌پایی دارند. چنین برنامه‌هایی می‌توانند خطر آسیب‌های شایع مانند پارگی ACL را کاهش دهند.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه توسط کمیته اخلاق پزشکی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز با کد IR.AJUMS.REC.1402.611 مورد تأیید قرار گرفته است.

### حامی مالی

هیچ‌گونه حمایت مالی در این مطالعه وجود ندارد.

### مشارکت نویسندگان

حسین کوه زاد محمدی و ندا اورکی فر: نسخه خطی را نگارش و اصلاح کردند. همچنین تجزیه و تحلیل آماری را انجام داده و جداول و نمودار را تهیه کردند. صالح صلاح حسین الصفار آزمایشها را انجام دادند. همه نویسندگان مقاله را خوانده و تایید کرده‌اند.

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

### تشکر و قدردانی

این مطالعه بخشی از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد صالح صلاح حسین الصفار به شماره طرح PHT-0235 است.

تمرکز دارند. تمریناتی که هدفشان بهبود کنترل تک‌پایی، به‌ویژه در سناریوهای فرود باشد، می‌توانند به کاهش خطر آسیب و بهبود عملکرد کلی ورزشی کمک کنند. به‌عبارت‌دیگر، توجه به عدم تقارن‌ها در قدرت و کنترل عصبی-عضلانی اندام تحتانی برای حفظ سلامت مفاصل و جلوگیری از بارگذاری بیش‌ازحد بر روی زانو در حین تکالیف دینامیک حیاتی است [31].

در تکالیف DLD و SLD سرعت اجرا به‌طور نسبی پایین‌تر است. در طول این حرکت، مرکز جرم (COM) اندام‌های تحتانی به جلوتر از مرکز جرم کل بدن جابه‌جا می‌شود؛ زیرا فرد از یک موقعیت بلند پایین می‌آید. استراتژی کنترل حرکتی که در این تکلیف به کار گرفته می‌شود، عمدتاً محیطی است. در نتیجه، فرودهای سقوط به‌عنوان «فرودهای سخت» توصیف می‌شوند که به تولید ناگهانی نیروهای واکنش زمین قابل توجهی منجر می‌گردند. اگرچه فرد می‌تواند سطح فرود را به‌طور بصری مشاهده کند و پیش‌بینی لازم را دارد، نیروهای واکنش زمین بالا بر روی مفاصل اندام تحتانی، به‌ویژه زانو، فشار قابل توجهی وارد می‌کنند. این بار اضافی توانایی زانو را در تنظیم مناسب KFPPA مختل می‌کند. در نتیجه، اختلالات قابل توجهی در سیستم عصبی-عضلانی در طول این کار ایجاد می‌شود [4].

در مقابل، تکالیف DLJ و SLJ با سرعت‌های بالاتری انجام می‌شوند، به‌طوری‌که مرکز جرم بدن با اندام‌های تحتانی هم‌راستاست. همان‌طور که فرد در حال انجام حرکت است، مرکز جرم به‌طور هم‌زمان جابه‌جا می‌شود و فرود در همان سطح عمودی را تسهیل می‌کند. استراتژی کنترل حرکتی در این سناریو بیشتر به‌طور مرکزی تنظیم می‌شود که اثر «فرود نرم» را ترویج می‌دهد و با کاهش نیروهای واکنش زمین مشخص می‌شود. این کاهش نیروها امکان کنترل بهتر حرکت را فراهم می‌کند و اختلالات سیستم را به حداقل می‌رساند. در نتیجه، ثبات و وضعیتی پس از فرود از پرش سریع‌تر بازگردانده می‌شود؛ زیرا نیروهای واکنش زمین کمتر باعث کاهش بار مکانیکی بر روی مفصل زانو در مرحله فرود می‌شوند [4].

یکی از نقاط قوت این مطالعه تحلیل KFPPA در چهار تکلیف فرود پُر کاربرد و علاوه بر این مقایسه فرودهای دوپا و تک‌پا با همدیگر بود. همچنین، در این مطالعه بررسی تکرارپذیری نسبی و مطلق متغیرهای تحت‌بررسی به‌طور مقدماتی انجام شد. از نقاط ضعف این مطالعه می‌توان به انجام تحقیق بر روی یک جامعه نسبتاً کوچک و همگن اشاره کرد که ممکن است قابلیت تعمیم یافته‌های آن به جمعیت‌های ورزشی گسترده‌تر را محدود کند.

References

- [1] Devita P, Skelly W. Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(1):108-15. [PMID]
- [2] Dufek JS, Bates BT. Biomechanical factors associated with injury during landing in jump sports. *Sports Med.* 1991;12(5):326-37. [10.2165/00007256-199112050-00005] [PMID]
- [3] Hargrave MD, Carcia CR, Gansneder BM, Shultz SJ. Subtalar pronation does not influence impact forces or rate of loading during a single-leg landing. *J Athl Train.* 2003;38(1):18-23. [PMID]
- [4] Zatsiorsky V. *Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention*: John Wiley & Sons; 2008.
- [5] McNitt-Gray JL. Kinematics and Impulse Characteristics of Drop Landing From Three Heights. *Int J Sport Biomech.* 1991;7(2):201-24.
- [6] McNair PJ, Prapavessis H. Normative data of vertical ground reaction forces during landing from a jump. *J Sci Med Sport.* 1999;2(1):86-8. [10.1016/s1440-2440(99)80187-x] [PMID]
- [7] Gribble P, Robinson R. Differences in spatiotemporal landing variables during a dynamic stability task in subjects with CAI. *Scandinavian journal of medicine & science in sports.* 2010 Feb;20(1):e63-71. [10.1111/j.1600-0838.2009.00899.x] [PMID]
- [8] Ozyener F. *Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise: The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide*. *Journal of Sports Science and Medicine.* 2008 Mar 1;7(1):194-5.
- [9] Pollard CD, Sigward SM, Powers CM. Limited hip and knee flexion during landing is associated with increased frontal plane knee motion and moments. *Clin Biomech.* 2010;25(2):142-6. [10.1016/j.clinbiomech.2009.10.005] [PMID]
- [10] Ford KR, Myer GD, Smith RL, Vianello RM, Seiwert SL, Hewett TE. A comparison of dynamic coronal plane excursion between matched male and female athletes when performing single leg landings. *Clin Biomech.* 2006;21(1):33-40. [10.1016/j.clinbiomech.2005.08.010] [PMID]
- [11] Herrington L. Knee valgus angle during landing tasks in female volleyball and basketball players. *J Strength Cond Res.* 2011;25(1):262-6. [10.1519/JSC.0b013e3181b62c77] [PMID]
- [12] Howard JS, Fazio MA, Mattacola CG, Uhl TL, Jacobs CA. Structure, sex, and strength and knee and hip kinematics during landing. *J Athl Train.* 2011;46(4):376-85. [10.4085/1062-6050-46.4.376] [PMID]
- [13] Nejishima M, Urabe Y, Yokoyama S. Relationship between the knee valgus angle and EMG activity of the lower extremity in single- and double-leg landing. *J Biomech.* 2007;40(2):S743.
- [14] Milner CE, Fairbrother JT, Srivatsan A, Zhang S. Simple verbal instruction improves knee biomechanics during landing in female athletes. *Knee.* 2012;19(4):399-403. [10.1016/j.knee.2011.05.005] [PMID]
- [15] Schmitz RJ, Kulas AS, Perrin DH, Riemann BL, Shultz SJ. Sex differences in lower extremity biomechanics during single leg landings. *Clin Biomech.* 2007;22(6):681-8. [10.1016/j.clinbiomech.2007.03.001] [PMID]
- [16] Salci Y, Kentel BB, Heycan C, Akin S, Korkusuz F. Comparison of landing maneuvers between male and female college volleyball players. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2004;19(6):622-8. [10.1016/j.clinbiomech.2004.03.006] [PMID]
- [17] Pappas E, Carpes FP. Lower extremity kinematic asymmetry in male and female athletes performing jump-landing tasks. *J Sci Med Sport.* 2012;15(1):87-92. [10.1016/j.jsams.2011.07.008] [PMID]
- [18] 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. *Phys Ther Sport.* 2012;13(4):259-64. [10.1016/j.ptsp.2012.01.005] [PMID]
- [19] Munro A, Herrington L. The effect of videotape augmented feedback on drop jump landing strategy: Implications for anterior cruciate ligament and patellofemoral joint injury prevention. *Knee.* 2014;21(5):891-5. [10.1016/j.knee.2014.05.011] [PMID]
- [20] Hagins M, Pappas E, Kremenic I, Orishimo KF, Rundle A. The effect of an inclined landing surface on biomechanical variables during a jumping task. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2007;22(9):1030-6. [10.1016/j.clinbiomech.2007.07.012] [PMID]
- [21] Cortes N, Morrison S, Van Lunen BL, Onate JA. Landing technique affects knee loading and position during athletic tasks. *J Sci Med Sport.* 2012;15(2):175-81. [10.1016/j.jsams.2011.09.005] [PMID]
- [22] Willson JD, Davis IS. Utility of the frontal plane projection angle in females with patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008;38(10):606-15. [10.2519/jospt.2008.2706] [PMID]
- [23] Pflum MA, Shelburne KB, Torry MR, Decker MJ, Pandy MG. Model prediction of anterior cruciate ligament force during drop-landings. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(11):1949-58. [10.1249/01.mss.0000145467.79916.46] [PMID]
- [24] Schot PK, Bates BT, Dufek JS. Bilateral performance symmetry during drop landing: a kinetic analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(9):1153-9. [PMID]
- [25] Taylor JB, Ford KR, Nguyen AD, Shultz SJ. Biomechanical Comparison of Single- and Double-Leg Jump Landings in the Sagittal and Frontal Plane. *Orthop J Sports Med.* 2016;4(6):2325967116655158. [10.1177/2325967116655158] [PMID]
- [26] Wang LI. The lower extremity biomechanics of single- and double-leg stop-jump tasks. *J Sports Sci Med.* 2011;10(1):151-6. [PMID]
- [27] Márquez G, Alegre L, Jaén D, Martín-Casado L, Aguado X. Sex differences in kinetic and neuromuscular control during jumping and landing. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2017;17(1):409-16. [PMID]
- [28] Al-Harbi SA, Muaidi QI, Ahsan M. Single-leg landing: determining the risk of knee joint injuries in relation to frontal plane projection angles and lower leg muscle strength among recreational athletes. *J Phys Educ Sport.* 2021;21:2105-11.

- [29] Rodrigues R, Gonçalves V, Casagrande R, Cemin F, Nodari C, Borges I, et al. Are proximal and distal neuromuscular parameters able to predict hip and knee frontal plane kinematics during single-leg landing? *Phys Ther Sport*. 2023;59:30-6. [[10.1016/j.ptsp.2022.11.007](https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.11.007)] [PMID]
- [30] Teng PSP, Kong PW, Leong KF. Effects of foot rotation positions on knee valgus during single-leg drop landing: Implications for ACL injury risk reduction. *Knee*. 2017;24(3):547-54. [[10.1016/j.knee.2017.01.014](https://doi.org/10.1016/j.knee.2017.01.014)] [PMID]
- [31] Boey D, Joseph R, Lee M. Is the Frequency of a Targeted Neuromuscular Training Program a Factor in Modifying Knee Joint Loading During Typical Netball Landing Tasks? *Sports Health*. 2024:19417381241283819. [[10.1177/19417381241283819](https://doi.org/10.1177/19417381241283819)] [PMID]



©2025 by the authors. Licensee AJUMS, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).