

Research Paper



## Effect of Six Weeks of Plyometric Training with Feedback on Maximum Knee Flexion and Maximum Vertical GRF on Drop Landing Technique of Male Basketball Players With Chronic Ankle Instability

Moein Saghari<sup>1\*</sup>, Seyyed Sadradin Shojaedin<sup>1</sup>, Mojtaba Ashrotaghi<sup>2</sup>

1. Department of Corrective Exercises and Sports Injuries, Faculty of Physical Education and Sports Science, Kharazmi University, Tehran, Iran.  
2. Department of Biomechanics Sports, Sports Science Institute, Tehran, Iran.



**Citation** Saghari M, Shojaedin SS, Ashrotaghi M. [Effect of 6 Weeks Plyometric Training With Feedback on Maximum Knee Flexion and Maximum Vertical GRF on Drop Landing Technique of Male Basketball Players With Chronic Ankle Instability (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2021; 10(5):1012-1023. <https://doi.org/10.32598/SJRM.10.5.17>

**doi** <https://doi.org/10.32598/SJRM.10.5.17>



Received: 01 Apr 2020

Accepted: 09 Aug 2020

Available Online: 22 Nov 2021

**Keywords:**

Plyometric, Feedback, Maximum Knee Flexion, Maximum Vertical Ground Reaction Force, Chronic Ankle Instability

### ABSTRACT

**Background and Aims** With respect to the prevalence of chronic ankle instability and adverse consequences, such as neuromuscular dysfunction of the proximal joints, the implementation of preventive proceeding in the proximal limb of the ankle is very necessary. Therefore, the present study was done to investigate the effect of six weeks of plyometric training with feedback on maximum knee flexion and maximum vertical GRF on the drop landing technique of male basketball players with chronic ankle instability.

**Methods** The present study has a quasi-experimental research design. Twenty-four male basketball players with chronic ankle instability participated in this study. After identifying individuals using the Cumberland Ankle Instability Tool, athletes were divided into two experimental groups (n=12) and a control (n=12) group. Evaluation of maximum knee flexion and maximum vertical ground reaction force was conducted using ten cameras and two distinct forces, respectively. The participants in the experimental groups performed plyometric training with feedback for six weeks. After examining the normality of data by the Shapiro-Wilk test, a paired t-test was used to compare differences within groups and an independent t-test was used to compare differences between groups.

**Results** The results showed that six weeks of plyometric training with feedback on maximum knee flexion and maximum vertical GRF on drop landing technique of male basketball players with chronic ankle instability significantly increased maximum knee flexion and reduced the maximum vertical GRF ( $P \leq 0.05$ ).

**Conclusion** Adding plyometric training with feedback to the chronic ankle instability basketball program to prevent subsequent damage later in the proximal limb is recommended.

### Extended Abstract

#### 1. Introduction

**E**

ternal ankle sprain is one of the most common lower limb injuries in basketball. In more than 40% of cases, external ankle sprains develop a condition called chronic ankle instability (CAI). In people with

chronic ankle instability compared to healthy people, there are changes in strength, neuromuscular function, balance and posture control, ground reaction force, and gait. Over the past few years, neuroscientists have studied the lower limb movement strategy of people with chronic ankle instability, which changes during landing, kinematics (in the joints of the ankles, knees, and thighs), and their kinetics. Biomechanical research shows that joint kinematics affect the ability to change and absorb impact due

\* Corresponding Author:

Moein Saghari

Address: Department of Corrective Exercises and Sports Injuries, Faculty of Physical Education and Sports Science, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (23) 32343194

E-Mail: moein.saghari@yahoo.com

to landing. Thus, kinematic adaptations may be inefficient for distributing overloaded forces too quickly and may increase susceptibility to injuries, such as chronic ankle instability. Studies have shown that exercise programs that emphasize jumping increase posture performance and control in people with chronic ankle instability.

Plyometric exercises are essential in developing muscle control and strength to reduce injury. These exercises increase muscle strength, vertical jumping, acceleration, and running speed, and can improve the biomechanics of the lower limbs. However, if done improperly, plyometric exercises cannot be expected to have a beneficial effect on reducing injury, as they may be harmful. Therefore, the emphasis of sports assessment programs is on the correct training of jumping and landing techniques. Therefore, due to the high prevalence of chronic ankle instability and its side effects, such as defects in neuromuscular function in the proximal joints, it is very important to take preventive measures against these injuries in the proximal joints. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of six weeks of plyometric exercises with feedback on the maximum knee flexion angle and the maximum vertical force of the ground reaction in the landing technique of basketball players with chronic ankle instability.

## 2. Methods

The present study is quasi-experimental. Twenty-four male basketball players with chronic ankle instability participated in the study. After identifying individuals using the Cumberland Ankle Instability Tool, athletes were divided into two experimental groups ( $n=12$ ) and a control group ( $n=12$ ). Of 24 patients, in 18 patients, the right leg

was dominant and in six patients, the left leg was dominant. Exclusion criteria were having a history of back pain, having any injuries and abnormalities (such as a sprained knee, crossed knee, and flat foot) affecting the research process in the lower extremities, and participation in ankle rehabilitation programs during the past six months.

The Vicon model motion analysis system with a sampling rate of 250 Hz was used to measure the knee flexion angle. Also, two Kistler force plates with a sampling rate of 1000 Hz were used to measure the ground reaction force. Marking was done bilaterally on the limbs using the plug-in-gait method. Maximum knee flexion was assessed with ten cameras and the maximum vertical reaction force of the ground was evaluated by two separate force plates in the landing technique. The athletes in the experimental groups then performed plyometric exercises with feedback for six weeks. After collecting data, data analysis was performed using Matlab software. Then, the normality of the data was checked by Shapiro–Wilk. A paired t-test was used for in-group comparison and an independent t-test was used for comparison between research groups.

## 3. Results

There was no significant difference between the groups in terms of general characteristics. In the pre-test, there was no significant difference between the two training and control groups in the amount of maximum knee flexion and maximum vertical reaction force of the ground ( $P<0.05$ ), but in the post-test, there was a significant difference between the two groups in the amount of maximum knee flexion and maximum vertical force of the ground reaction ( $P<0.05$ ) so that the maximum knee

**Table 1.** Results of paired t-test to compare the maximum knee flexion and the maximum vertical force of the ground reaction by group ( $n=24$ )

Variables	Groups	Mean Difference	T	p
Maximum knee flexion, healthy foot	Control (pre-test-post-test)	0.419	-0.490	0.634
	Experimental (pre-test-post-test)	0.692	30.55	0.001*
Maximum knee flexion, injured foot	Control (pre-test-post-test)	0.469	0.282	0.783
	Experimental (pre-test-post-test)	0.715	28.62	0.001*
Maximum vertical ground reaction force of healthy foot	Control (pre-test-post-test)	37.92	0.737	0.477
	Experimental (pre-test-post-test)	48.33	-3.38	0.006*
Maximum vertical ground reaction force of the injured foot	Control (pre-test-post-test)	37.23	1.32	0.211
	Experimental (pre-test-post-test)	38.83	-4.64	0.001*

flexion increased and the maximum vertical force of the ground reaction decreased. There was no significant difference in the amount of maximum knee flexion and maximum vertical force of pre-test and post-test ground reaction in the control group ( $P < 0.05$ )

#### 4. Discussion

The aim of this study was to investigate the effect of six weeks of plyometric exercises with feedback on the maximum knee flexion angle and the maximum vertical force of the ground reaction in the landing technique of men basketball players with chronic ankle instability. Plyometric exercises help improve neuromuscular control and dynamic stability, reduce the incidence of serious knee injuries, and reduce the risk of injury by increasing joint functional stability in the lower extremities. Exercises, such as plyometric exercises that simulate landing enable the body to make safe movements and have a positive effect on functional learning strategies, and by reducing landing techniques, reduce reaction force and prevent injury. One way to correct an incomplete movement pattern is to use feedback. Giving instructions and using them in the training program helps to teach proper landing and also increases the ability to use the feedforward mechanism. Using external verbal feedback leads to safe movements. Repetition of plyometric exercises with feedback further improves the nervous system, increases muscle coordination, and facilitates function. External feedback compatibility can enhance automatic movement and performance control. On the other hand, increasing knee flexion during landing reduces the reaction force and causes a smooth descent with energy absorption. Therefore, adding these exercises could potentially reduce injury to the proximal ankle joints and improve plyometric movements through external feedback.

#### Ethical Considerations

##### Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this article. The participants were informed about the purpose of the research and its implementation stages; they were also assured about the confidentiality of their information; Moreover, They were allowed to leave the study whenever they wish, and if desired, the results of the research would be available to them.

##### Funding

This article is taken from Moin Saghari's dissertation with the guidance of Seyyed Sadr al-Din Shojaud-

din and the advice of Mojtaba Asharstaghi in the Department of Biomechanics and Sports Pathology of Kharazmi University of Tehran.

##### Authors' contributions

All authors contributed equally in preparing all parts of the research.

##### Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

تأثیر شش هفته تمرینات پلايومتریک همراه با بازخورد بر حداکثر زاویه فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس العمل زمین در فرود مردان بسکتبالیست دچار بی ثباتی مزمن مچ پا

\* معین ساغری<sup>۱</sup>، سید صدرالدین شجاع‌الدین<sup>۱</sup>، مجتبی عشرستاقی<sup>۲</sup>

۱. گروه حرکات اصلاحی و آسیب‌شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.  
 ۲. گروه بیومکانیک ورزشی، پژوهشگاه علوم ورزشی، تهران، ایران.

چکیده

**زمینه و هدف:** با توجه به شیوع بالای بی‌ثباتی مزمن مچ پا و پیامدهای جانبی آن مانند نقص در عملکرد عصبی-عضلانی در مفاصل پروگزیمال، اجرای اقدامات پیشگیرانه از بروز این آسیب‌ها در مفاصل پروگزیمال بسیار ضروری است؛ بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر شش هفته تمرینات پلايومتریک همراه با بازخورد بر حداکثر زاویه فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس العمل زمین در تکنیک فرود مردان بسکتبالیست دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا بود.

**مواد و روش‌ها:** پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی است. ۲۴ مرد بسکتبالیست دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا در این تحقیق شرکت کردند. پس از شناسایی افراد با استفاده از پرسش‌نامه کامبرلند، ورزشکاران به دو گروه آزمایش (n=۱۲) و گروه کنترل (n=۱۲) تقسیم شدند. حداکثر فلکشن زانو با ده دوربین و حداکثر نیروی عمودی عکس العمل زمین به وسیله دو صفحه نیروی مجزا در تکنیک فرود ارزیابی شد. سپس ورزشکاران گروه آزمایش، تمرینات پلايومتریک همراه با بازخورد را به مدت شش هفته انجام دادند. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون شاپیرو-ویلک، از آزمون تی زوجی جهت مقایسه درون‌گروهی و آزمون تی مستقل جهت مقایسه بین گروه‌های تحقیق استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج آزمون آماری نشان داد که تمرینات پلايومتریک همراه با بازخورد بر حداکثر زاویه فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس العمل زمین در تکنیک فرود مردان دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا اثر دارد و به‌طور معناداری باعث افزایش حداکثر فلکشن زانوی پای آسیب‌دیده ( $P < 0.001$ ) و کاهش حداکثر نیروی عمودی عکس العمل زمین ( $P = 0.001$ ) می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** افزودن تمرینات پلايومتریک همراه با بازخورد به برنامه بسکتبالیست‌های دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا سبب بهبود تکنیک فرود در فلکشن مفصل زانو و کاهش نیروی عکس العمل زمین شده که می‌تواند احتمال آسیب را در مفاصل زانو و مچ پا کاهش دهد.

تاریخ دریافت: ۱۳ فروردین ۱۳۹۹  
 تاریخ پذیرش: ۱۹ مرداد ۱۳۹۹  
 تاریخ انتشار: ۰۱ آذر ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

تمرینات پلايومتریک، بازخورد، فلکشن زانو، بی‌ثباتی مچ پا

مقدمه

در افراد دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا نسبت به افراد سالم، تغییراتی در قدرت، عملکرد عصبی-عضلانی، تعادل و کنترل پاسچر، نیروی عکس العمل زمین و راه رفتن ایجاد می‌شود [۳]. طی چند سال گذشته، عصب‌شناسان استراتژی حرکات اندام تحتانی بیماران دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا را در فعالیت‌هایی مانند فرود، پرش و برش بررسی کردند. مطالعات نشان داده است که هنگام فرود، کینماتیک (در مفاصل مچ پا، زانو و ران) و کینتیک افراد دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا تغییراتی می‌یابد [۴].

تغییرات در مفاصل پروگزیمال مچ پا می‌تواند سبب افزایش احتمال آسیب در مفصل زانو و ران شود. از طرفی، افراد دچار

اسپرین خارجی مچ پا، یکی از شایع‌ترین آسیب‌های اندام تحتانی در رشته بسکتبال است. در بیش از ۴۰ درصد موارد اسپرین خارجی مچ پا، وضعیتی به نام بی‌ثباتی مزمن مچ پا<sup>۱</sup> به وجود می‌آید. بی‌ثباتی مزمن مچ پا با تغییر در ثبات مفصل و ناتوانی در انجام فعالیت‌های ورزشی مرتبط است. این آسیب بر اساس اسپرین مجدد، خالی کردن مچ پا یا گزارش فرد از نقص عملکرد مچ پا بیش از یک سال پس از اولین اسپرین، تشخیص داده می‌شود [۱].

1. Chronic Ankle Instability

\* نویسنده مسئول:

معین ساغری

نشانی: تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، گروه حرکات اصلاحی و آسیب‌شناسی ورزشی.

تلفن: ۳۲۳۴۳۱۹۴ (۲۳) +۹۸

رایانامه: moein.saghari@yahoo.com

می‌شود [۵]. تمرینات پلائیومتریک در توسعه کنترل و قدرت عضلات برای کاهش آسیب ضروری به نظر می‌رسد. این تمرین‌ها توان عضلات، پرش عمودی، شتاب و سرعت دویدن را افزایش می‌دهد و می‌تواند سبب بهبود بیومکانیک اندام تحتانی شود. با این حال، اگر درست انجام نشود، از تمرینات پلائیومتریک نمی‌توان انتظار داشت که تأثیر مفیدی در کاهش آسیب داشته باشد، چه بسا که آسیب‌زا نیز باشد؛ بنابراین تأکید برنامه‌های سنجش ورزشی بر آموزش صحیح تکنیک پرش و فرود است [۱۲]. روش‌های متنوعی برای آموزش مناسب بیومکانیک فرود برای پیشگیری از آسیب‌های بعدی به کار برده می‌شود [۱۳].

بازخورد، یکی روش‌هایی است که برای اصلاح سریع بیومکانیک مضر افراد و کاهش نیروی عکس‌العمل بیش از اندازه استفاده می‌شود. بازخورد می‌تواند به عنوان اطلاعات حسی تعریف شود که طی انجام یا بعد از یک تلاش برای تغییر حرکات در اختیار شرکت‌کنندگان قرار می‌گیرد و می‌تواند شامل اطلاعات حسی مرتبط با حرکت (مثل، حس یا صدایی که شرکت‌کننده هنگام انجام عمل تجربه می‌کند) یا با توجه به هدف مرتبط با نتایج عمل باشد [۱۴].

با توجه به مطالب بیان‌شده و مشاهدات میدانی، به نظر می‌رسد ورزشکاران دچار بی‌ثباتی مزن مچ پا، بر اثر اختلال احتمالی در حس وضعیت مفاصل یا بر اثر ترس از آسیب مجدد، از حجم تمرینات پلائیومتریک در برنامه تمرینی خود کاسته و هنگام اجرای آن با تغییرات ناخواسته و آسیب‌زا مواجه می‌شوند؛ بنابراین نه‌تنها از مزایای عملکردی این تمرینات محروم می‌شوند، بلکه ممکن است سلامت خود را نیز به خطر اندازند.

در مطالعات گذشته، تمرینات پلائیومتریک و بازخوردی سبب بهبود بیومکانیک اندام تحتانی در عمل فرود در افراد سالم شده است. با وجود این شواهد، هنوز مشخص نیست که تمرینات پلائیومتریک همراه با بازخورد چگونه می‌تواند بر افراد دچار بی‌ثباتی مزن مچ پا تأثیر بگذارد. با این توضیح، هدف از اجرای این پژوهش، تأثیرسنجی یک دوره تمرین پلائیومتریک با بازخورد بر زاویه فلکشن زانو و نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در افراد دچار بی‌ثباتی مزن مچ پا بود.

### مواد و روش‌ها

جامعه آماری تحقیق تجربی حاضر، شامل مردان بسکتبالیست آماتور ۱۸ تا ۲۸ سال شهر تهران، که حداقل سه جلسه در هفته به تمرین بسکتبال می‌پرداختند و دچار بی‌ثباتی مزن مچ پا بودند.

از جامعه آماری فوق، با توجه به ملاحظات آماری و بر اساس پیشنهاد نرم‌افزار G-power، تعداد ۲۴ نفر به صورت هدفمند و با توجه به معیارهای ورود و خروج تحقیق انتخاب و به صورت

بی‌ثباتی مزن مچ پا هنگام فرود، اینورژن و پلانتر فلکشن بیشتری نشان می‌دهند. این تغییرات طی فعالیت‌های پویا سبب تغییرات کینماتیک در مفاصل پروگزیمال مچ پا می‌شود که شامل کاهش فلکشن زانو و افزایش زاویه والگوس است [۵].

کاهش فلکشن زانو در افراد دچار بی‌ثباتی مزن مچ پا می‌تواند نیروی برشی قدامی درشتنی را طی فرود افزایش دهد که با آسیب لیگامنت صلیبی قدامی مرتبط است. همچنین در این افراد، افزایش در اکستنشن زانو، ایداکشن ران، والگوس زانو هنگام فرود مشاهده شده است [۶]. تغییرات کینتیکی شامل نیروی عکس‌العمل بزرگ‌تر و میزان نیروی بارگیری در عمل فرود افراد دچار بی‌ثباتی مزن مچ پا از دیگر تغییرات مشاهده شده است. این تغییرات به‌طور بالقوه می‌تواند احتمال آسیب مجدد افراد در مفصل مچ پا و زانو را نیز افزایش دهد [۵].

دالاهانت و همکاران گزارش کردند که اوج نیروی عکس‌العمل زمین عمودی و خلفی طی فرود، در افراد دچار بی‌ثباتی مزن مچ پا استرس بیش از حدی بر ساختار اسکلتی-عضلانی اندام تحتانی وارد می‌کند؛ بنابراین احتمال آسیب بافت نرم را افزایش می‌دهد [۷]. فرود، عملی ضروری در ورزش است که در بسیاری از فعالیت‌های ورزشی مختلف، شامل بسکتبال، والیبال و ژیمناستیک استفاده می‌شود. عمل پرش و فرود طی این فعالیت‌های مختلف ورزشی با مقادیر بالایی از نیروی عکس‌العمل زمین همراه می‌شود. افزایش مقادیر نیروی عکس‌العمل زمین طی فاز فرود پس از پرش، زمانی که زانو بین صفر تا ۲۵ درجه فلکشن است، گزارش شده است و نیروی عکس‌العمل زمین بیش از حد می‌تواند به آسیب اندام تحتانی منجر شود [۸]؛ بنابراین کاهش توانایی ورزشکار برای از بین بردن این نیروهای تأثیرگذار، هنگامی که از یک پرش فرود می‌آید، می‌تواند احتمال آسیب‌های اندام تحتانی را افزایش دهد [۹، ۱۰].

تحقیقات بیومکانیکی نشان می‌دهد که کینماتیک مفصل در توانایی تغییر و جذب ضربه ناشی از فرود، تأثیرگذار است؛ بنابراین سازگاری‌های کینماتیک ممکن است برای توزیع نیروهای بارگذاری شده بیش از حد و سریع، ناکارآمد باشد و احتمالاً حساسیت برای آسیب‌هایی مانند بی‌ثباتی مزن مچ پا را افزایش دهد [۱۱].

روشن کردن الگوهای کینماتیک متنوع برای هر عمل می‌تواند بینشی برای افزایش احساس بی‌ثباتی در بیماران دچار بی‌ثباتی مزن مچ پا فراهم کند و همچنین راهی برای پیشگیری از اسپرین مجدد مچ پا و بهبود روش‌های توان‌بخشی برای بازگشت به بازی باشد [۶]؛ بنابراین شناسایی آزمایشی که بتواند کینماتیک و نیروی عکس‌العمل زمین را دستکاری کند، مهم است [۸].

برنامه‌های تمرینی که تأکید بر پرش دارد، سبب افزایش عملکرد و کنترل پاسپر در افراد دچار بی‌ثباتی مزن مچ پا



تصویر ۱. روش مارکرگذاری به صورت دوجانبه روی اندام **طب توانبخشی**



تصویر ۲. فرود روی صفحه نیروهای مجزا **طب توانبخشی**

مدل Vicon با نرخ نمونه برداری ۲۵۰ هرتز استفاده شد [۱۶]. مارکرگذاری با استفاده از روش پلاگین گیت<sup>۲</sup> به صورت دو طرفه روی اندامها صورت گرفت. بدین صورت که دو عدد مارکر روی خار خاصه قدامی فوقانی، دو عدد مارکر روی خار خاصه خلفی تحتانی، دو عدد مارکر روی قسمت میانی ران، دو عدد روی اپی کندیل خارجی زانو، دو عدد روی قسمت میانی ساق پا، دو عدد روی قوزک خارجی پا، دو عدد روی قسمت خلفی پاشنه و دو عدد روی متاتارس دوم هر پا قرار داده شد (تصویر شماره ۱).

برای اندازه گیری نیروی عکس العمل زمین از دو صفحه نیروی کیستلر با نرخ نمونه برداری برابر هزار هرتز استفاده شد [۱۷]. تکلیفی که آزمودنیها باید انجام می دادند، شامل فرود دو طرفه روی دو صفحه نیروی مجزا بود. به منظور شبیه سازی فرود، افراد از روی سکویی به ارتفاع سی سانتی متر [۱۸] عمل فرود را روی صفحه نیروهای مجزا با پای برهنه انجام می دادند. قبل از اجرای آزمون از آزمودنیها خواسته شد که پنج دقیقه عمل گرم کردن را انجام دهند.

برای از بین بردن اثر بازخورد داخلی به شرکت کنندگان تکنیکهای صحیح و غلط فرود گفته نشد. به آزمودنیها آموزش داده شد که روی مرکز صفحه نیروها فرود آیند و تعادل خود را هنگام فرود حفظ کنند. تلاشی به عنوان تلاش موفق در نظر گرفته شد که هر پای آزمودنی به صورت مجزا روی صفحه نیروها قرار گرفته و هنگام انجام عمل فرود، پاسچر فرد پایدار باشد (تصویر شماره ۲).

پس از اندازه گیریهای اولیه، گروه آزمایش، علاوه بر تمرینات

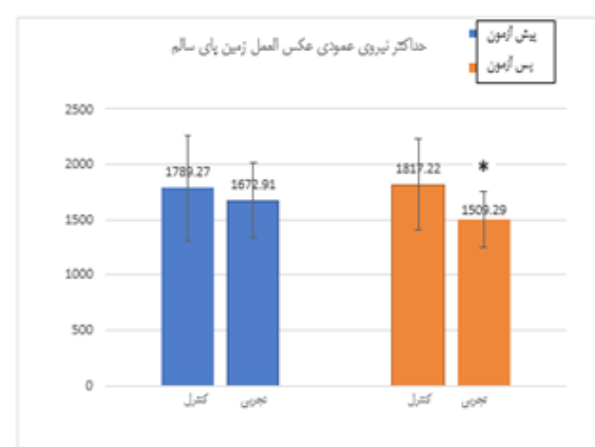
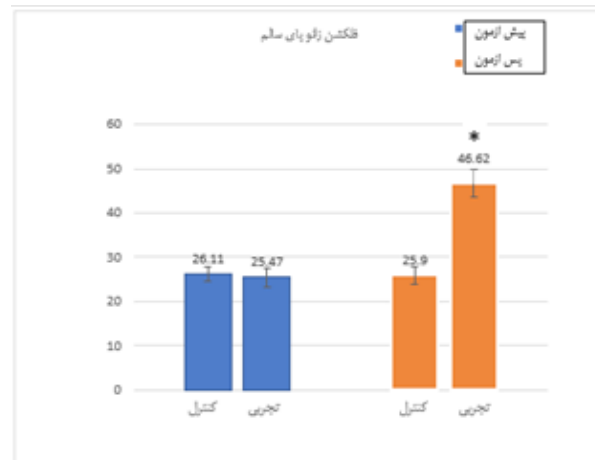
2. Plug-in-gait

تصادفی به دو گروه آزمایش و کنترل تقسیم شدند. معیارهای بی ثباتی مزمن میچ پا مطابق با کنسرسیوم بین المللی میچ پا پیشنهاد شد که شامل تشخیص بی ثباتی مزمن میچ پا با استفاده از پرسش نامه کامبرلند بود، افرادی که نمره پایین تر از ۲۴ دریافت کردند به عنوان افراد دچار بی ثباتی مزمن میچ پا شناخته شدند. همچنین همه آزمودنیها حداقل طی شش ماه اخیر احساس خالی کردن میچ پا را تجربه کرده بودند و حداقل یک اینورژن حاد میچ پا که منجر به تورم، درد و بدعملکردی، طی حداقل دوازده ماه قبل از تحقیق رخ داده بود [۵].

برای شناسایی پای آسیب دیده، افرادی وارد تحقیق حاضر شدند که بی ثباتی مزمن میچ پا را در پای غالب خود داشتند. از بین ۲۴ نفر، در هجده نفر پای راست، پای غالب بود و در شش نفر پای چپ، پای غالب بود. معیارهای خروج افراد از مطالعه، داشتن سابقه کمردرد، داشتن هرگونه آسیب و ناهنجاری (مانند زانوی پرانتزی، زانوی ضربدری و کف پای صاف) اثرگذار در روند تحقیق در اندام تحتانی، شرکت در برنامه توان بخشی میچ پا در طی شش ماه گذشته [۱۵] بود.

قبل از اندازه گیری متغیرها، خلاصه ای از طرح تحقیق در اختیار شرکت کنندگان قرار داده شد. سپس غربالگری آزمودنیها بر اساس معیار ورود و خروج انجام شده و افرادی که مایل به همکاری بودند، فرم رضایت نامه دریافت کردند. سپس با توجه به نمرات کسب شده از پرسش نامه کامبرلند افراد واجد شرایط انتخاب و به دو گروه (کنترل و آزمایش) تقسیم شده و پیش آزمون از افراد گرفته شد.

برای اندازه گیری زاویه فلکشن زانو از سیستم آنالیز حرکت



### طب توانبخشی

تصویر ۴. نتایج آزمون تی مستقل در مقایسه متغیرهای حداکثر فلکشن زانو و نیروی عکس‌العمل زمین بین گروه‌های کنترل و آزمایش در پیش‌آزمون و پس‌آزمون (\* تفاوت معنادار)

برای بررسی اثر تمرینات، مراحل اندازه‌گیری مطابق پیش‌آزمون در هر دو گروه (کنترل و آزمایش) دوباره اجرا شد.

پس از جمع‌آوری اطلاعات تحقیق، تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار مطلب صورت گرفت. همچنین داده‌های مربوط به ویژگی‌های آزمودنی‌ها، از قبیل سن، قد و وزن به علاوه متغیرهای تحقیق در دو بخش آمار توصیفی و استنباطی در نسخه ۲۱ نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد. آزمون تی زوجی جهت مقایسه درون‌گروهی و آزمون تی مستقل جهت مقایسه نتایج به‌دست‌آمده بین گروه‌های تحقیق استفاده شده است. سطح معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

### یافته‌ها

بین گروه‌ها تفاوت معناداری از نظر مشخصات عمومی وجود نداشت. میانگین متغیر سن در گروه آزمایش ( $22/33 \pm 2/83$ ) و در گروه کنترل ( $23/58 \pm 2/71$ )، میانگین متغیر قد در گروه آزمایش ( $181/41 \pm 6/28$ ) و در گروه کنترل ( $182/0 \pm 7/27$ )، میانگین وزن در گروه آزمایش ( $71/83 \pm 7/42$ ) و در گروه

عادی روزانه، به مدت شش هفته تمرینات نويز و وستين [۱۹]، هر هفته سه روز و هر روز به مدت ۴۵ دقیقه تمرینات پلايومتریک همراه با بازخورد خارجي را تحت نظر مربی انجام می‌دادند [۱۹]. طی انجام تمرینات توسط گروه آزمایش، از گروه کنترل خواسته شد که تمرینات عادی بسکتبال خود را انجام داده و از شرکت در تمرینات بدنسازی و تمریناتی که تداخل در روند تحقیق ایجاد می‌کند، اجتناب کنند.

تمرینات پلايومتریک همراه با بازخورد خارجي انجام شد. این تمرینات، شامل پرش دیوار، پرش تاک، پرش اسکات، پرش به پهلو، پرش به جلو و عقب، پرش ۱۸۰ درجه، پرش طولی، پرش تک پا با تغییر پا است که با توجه به هفته تمرینی، زمان و تکرار انجام آن تغییر می‌یابد. به‌طور مثال، جهت بازخورد در پرش اسکات باز خورد خارجي، مانند ۱. فرود آمدن با زانوها و انگشتان مقابل مانع هم‌اندازه با لگن ۲. آوردن دست‌ها بالای سر مانع هنگام اسکات ۳. رساندن دست‌ها به سمت سقف در هر پرش ۴. وانمود کردن نشستن روی صندلی هنگام فرود ۵. تصور کردن توپی بین زانوها در کل حرکت داده شد. پس از اتمام تمرینات

جدول ۱. نتایج آزمون تی زوجی برای مقایسه میزان حداکثر فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین به تفکیک گروه (n=۲۴).

متغیر	گروه	اختلاف میانگین	T	P
حداکثر فلکشن زانو، پای سالم	کنترل (پیش‌آزمون-پس‌آزمون)	۰/۴۱۹	-۰/۴۹۰	۰/۶۳۴
	آزمایش (پیش‌آزمون-پس‌آزمون)	۰/۶۹۲	۳۰/۵۵	۰/۰۰۱
حداکثر فلکشن زانو، پای آسیب‌دیده	کنترل (پیش‌آزمون-پس‌آزمون)	۰/۴۶۹	۰/۲۸۲	۰/۷۸۳
	آزمایش (پیش‌آزمون-پس‌آزمون)	۰/۷۱۵	۲۸/۶۳	۰/۰۰۱
حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین پای سالم	کنترل (پیش‌آزمون-پس‌آزمون)	۳۷/۹۲	۰/۷۳۷	۰/۴۷۷
	آزمایش (پیش‌آزمون-پس‌آزمون)	۴۸/۳۳	-۳/۲۸	۰/۰۰۶
حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین پای آسیب‌دیده	کنترل (پیش‌آزمون-پس‌آزمون)	۳۷/۲۳	۱/۳۲	۰/۲۱۱
	آزمایش (پیش‌آزمون-پس‌آزمون)	۳۸/۸۳	-۴/۶۴	۰/۰۰۱

\* تفاوت معنادار

طب توانبخشی

داینامیک، کاهش وقوع آسیب‌های جدی زانو و کاهش احتمال آسیب از طریق افزایش ثبات عملکردی مفصل در اندام تحتانی کمک می‌کند. تمرین پلايومتریک، از طریق افزایش حداکثر فلکشن زانو و ران در طی عمل پرش-فرو، مزیت مکانیکی ساختارهای بافت نرم را افزایش داده و بدن را قادر به جذب نیروهای وارد بر مفصل می‌سازد [۲۰].

در مطالعه‌ای، هوآنگ و همکاران، تأثیر تمرینات پلايومتریک و ترکیبی را بر بیومکانیک اندام تحتانی افراد دچار بی‌ثباتی مچ پا بررسی کردند و نشان دادند این تمرینات می‌تواند حداکثر زاویه ران و زانو را در صفحه ساجیتال افزایش داده و حداکثر زاویه در ران و مچ پا را در صفحه فرونتال و همچنین نوسان پاسچر را در فرود کاهش دهد [۲۱].

همچنین بنجامین و همکاران، طی تحقیقی تأثیر بازخورد را بر فرود زنان هندبالیست مشاهده کردند. نتایج نشان داد که فلکشن در لحظه برخورد و حداکثر فلکشن زانو نسبت به گروه کنترل پس از بازخورد ویدئویی افزایش پیدا کرد [۲۲]. با وجود متفاوت بودن پروتکل تمرینی مورد استفاده، می‌توان یافته‌های پژوهش حاضر را همسو با نتایج این تحقیقات دانست.

تکنیک فرود مناسب به‌صورت خودکار رخ می‌دهد. تمریناتی مانند تمرینات پلايومتریک که فرود را شبیه‌سازی می‌کنند، بدن را قادر به ساختن حرکات ایمن کرده و تأثیر مثبت بر استراتژی یادگیری عملکردی حرکت می‌گذارند و با بهبود تکنیک فرود، موجب کاهش نیروی عکس‌العمل و پیشگیری از آسیب می‌شوند [۲۳].

یک راه برای تصحیح الگوی حرکتی ناقص، استفاده از بازخورد است. دادن دستورالعمل و به کار بردن آن در برنامه تمرینی به آموزش فرود مناسب کمک می‌کند و همچنین توانایی استفاده از مکانیسم فیدفوروارد را بالا می‌برد [۲۴].

کنترل (۷۵/۶۲±۷/۰۴) بود. همچنین، میانگین شاخص توده بودنی در گروه آزمایش (۲۱/۸۳±۲/۱۰) و در گروه کنترل (۲۲/۸۴±۱/۹۱) بود.

در پیش‌آزمون، در میزان حداکثر فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین، بین دو گروه آزمایش و کنترل تفاوت معناداری وجود نداشت ( $P < 0.05$ )، ولی در پس‌آزمون در میزان حداکثر فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین بین دو گروه تفاوت معناداری مشاهده شد ( $P > 0.05$ )، به‌گونه‌ای که حداکثر فلکشن زانو افزایش یافته و حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین کاهش یافت (تصویر شماره ۳). در میزان حداکثر فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه کنترل اختلاف معناداری وجود نداشت ( $P < 0.05$ ). همچنین در میزان حداکثر فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه آزمایش اختلاف معناداری مشاهده شد ( $P > 0.05$ ) (جدول شماره ۱).

بحث

هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر شش هفته تمرینات پلايومتریک همراه با بازخورد، بر حداکثر زاویه فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین در تکنیک فرود مردان بسکتبالیست دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا بود. نتایج نشان داد که در میزان حداکثر زاویه فلکشن زانو و حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین پس از اعمال تمرینات بین دو گروه کنترل و آزمایش تفاوت معناداری وجود داشت ( $P > 0.05$ )، به‌طوری که میزان حداکثر زاویه فلکشن زانو افزایش یافت و حداکثر نیروی عمودی عکس‌العمل زمین پس از تمرینات پلايومتریک همراه با بازخورد کاهش پیدا کرد.

تمرینات پلايومتریک به بهبود کنترل نوروماسکولار و ثبات



آسیب رباط صلیبی قدامی<sup>۳</sup> ناشی از فرود با زانوی کاملاً باز شده را کاهش دهد. تحقیقات نشان می‌دهند که کاهش در زاویه فلکشن زانو (فلکشن زانو بین صفر تا سی درجه) نشان‌دهنده انقباض نسبتاً بزرگ عضله چهارسر است که می‌تواند باعث افزایش در نیروهای برشی قدامی تبیبا شود که سبب پارگی رباط صلیبی قدامی می‌شود [۳۰].

از سوی دیگر، افزایش فلکشن زانو طی فرود نیروی عکس‌العمل را کاهش داده و موجب فرودی آرام همراه با جذب انرژی می‌شود [۳۱]. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با نتایج تحقیق گوکلر و همکاران [۲۴]، قاسمی پایین دهی و همکاران [۳۲]، ترادا و همکاران [۳۳] و هوآنگ و لین [۳۴] همسو بود.

در این مطالعات، میزان فلکشن زانو پس از انجام تمرینات افزایش پیدا کرد و میزان نیروی عکس‌العمل عمودی زمین کاهش یافت. افزایش زاویه فلکشن زانو و ران در طی پرش-فرود بدن را قادر می‌کند که نیروهای بیشتری در مفصل جذب کرده و ویژگی‌های مکانیکی ساختارهای بافت نرم را که ثبات مفصل را فراهم می‌کند، افزایش دهد؛ بنابراین افزایش زاویه زانو طی فرود به‌عنوان استراتژی کاهش ضربه نیز در نظر گرفته می‌شود [۳۵].

با توجه به یافته‌ها و بحث‌های صورت‌گرفته، به نظر می‌رسد افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا نیز می‌توانند از مزایای تمرینات پلائیومتریک با بازخورد استفاده کنند. در این تحقیق سعی شد آزمودنی‌های دو گروه آزمایش و کنترل برای انجام پروتکل یا اجتناب از تمرینات مداخله‌گر توجیه شوند. با این حال، عدم کنترل کامل فعالیت‌های آن‌ها در خارج از زمان تمرین، از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر بود که می‌تواند بر نتایج مؤثر بوده باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تمرینات پلائیومتریک همراه با بازخورد بر افزایش فلکشن زانو و کاهش نیروی عکس‌العمل زمین طی فرود در بسکتبالیست‌های دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا تأثیر معناداری دارد؛ بنابراین افزودن تمرینات پلائیومتریک همراه با بازخورد خارجی توسط مربی می‌تواند در برنامه‌های تمرینی بسکتبالیست‌های دچار بی‌ثباتی مزمن مچ پا سبب کاهش آسیب شود.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش، ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه خوارزمی در نظر گرفته شده است.

۳. Anterior Cruciate Ligament (ACL)

بازخورد کلامی، شامل دستورالعمل تمرکز داخلی و تمرکز خارجی است. در یادگیری حرکتی تمرکز خارجی، زمانی که توجه بیمار به سمت خروجی عمل یا تأثیر آن حرکت است (مانند تصور کردن ضربه به یک توپ برای تسهیل‌سازی اکستنشن زانو در طی راه رفتن) استفاده می‌شود [۲۴].

به کار بردن دستورالعمل خارجی در کسب مهارت تأثیرگذار است و آن را بالقوه برای انتقال تمرین به فعالیت خاص و مورد نیاز ورزش و مهارت‌های حرکتی پیچیده مهیا می‌کند؛ بنابراین دستورالعمل خارجی می‌تواند کنترل خودکار حرکات را افزایش داده و سبب بهبود عملکرد شود [۲۵]. تکرار تمرینات پلائیومتریک همراه با بازخورد باعث بهبود بیشتر سیستم عصبی، افزایش هماهنگی عضلات و تسهیل‌سازی عملکرد می‌شود. سازگاری بازخورد خارجی می‌تواند کنترل خودکار حرکات و عملکرد را افزایش دهد [۲۶، ۲۷].

پروتکل‌های پیشگیری و توان‌بخشی می‌توانند با ترکیب فعالیت‌های سیستم کنترل نورماسکولار فیدفوروارد و فیدبک ترکیب، موجب افزایش ثبات پویای مفاصل شوند. کنترل حرکتی فیدفوروارد جهت فعالیت‌های مقدماتی عضلات به کار می‌رود، در حالی که کنترل حرکتی فیدبکی، فعالیت واکنشی عضله را تنظیم می‌کند. با استفاده از بازخورد خارجی کلامی می‌توان حرکات ایمن انجام داد. به کار بردن بازخورد خارجی به صورت مشاهده حرکات صحیح یا استفاده از الگویی جهت شناسایی استراتژی می‌تواند سبب افزایش عملکرد پرش و فرود شود [۲۳].

شواهد نشان می‌دهد که بازخورد خارجی، تأثیر مثبتی بر عملکرد و راهبردهای یادگیری عملکرد حرکتی متنوع مانند پرش عمودی و پرش طول دارد. تکنیک فرود بهتر بعد از پرش، به صورت خودکار در طی تمرین یا بازی رخ می‌دهد؛ بنابراین انتقال خودکار از محیط تمرینی به زمین بازی اهمیت فراوان دارد [۲۸].

مطالعات پیشین نشان دادند که مزایای استفاده از تمرکز خارجی بیشتر از تمرکز داخلی برای افزایش تکنیک فرود ایمن است. ماکروک و همکاران یافتند که نه هفته تمرین با تمرکز خارجی در پرش طول، به افزایش در اوج فلکشن زانو و افزایش زمان برخورد در مقایسه با تمرکز داخلی و گروه کنترل منجر شده است. فلکشن زانو در جذب انرژی طی فرود نقش مهمی ایفا می‌کند [۲۶].

کاهش فلکشن زانو می‌تواند باعث افزایش احتمال آسیب ناشی از بارگذاری نیروهای بیش از حد بر بدن شود. از طرفی، فرود با زانوی باز شده نیروی عکس‌العمل زمین را افزایش داده و افراد را در یک وضعیت با احتمال آسیب بالا قرار دهد که ناشی از تغییر سریع در انرژی جنبشی است [۲۹]؛ بنابراین افزایش در فلکشن زانو بعد از تمرینات طی فرود می‌تواند پتانسیل

این مطالعه دارای کد کمیته اخلاق دانشگاه خوارزمی تهران IR.KHU.REC.1398.029 و همچنین کد کارآزمایی بالینی IRCT20191222045850N1 است.

#### حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان نامه معین ساغری با راهنمایی سید صدرالدین شجاع الدین و مشاوره مجتبی عشرستاقی در گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی دانشگاه خوارزمی تهران است.

#### مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده سازی این مقاله مشارکت یکسان داشته اند.

#### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

## References

- [1] Miklovic TM, Donovan L, Protzuk OA, Kang MS, Feger MA. Acute lateral ankle sprain to chronic ankle instability: A pathway of dysfunction. *The Physician and Sportsmedicine*. 2018; 46(1):116-22. [PMID]
- [2] O'Driscoll J, Delahunt E. Neuromuscular training to enhance sensorimotor and functional deficits in subjects with chronic ankle instability: A systematic review and best evidence synthesis. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy and Technology*. 2011; 3:19. [DOI:10.1186/1758-2555-3-19] [PMID] [PMCID]
- [3] Feger MA, Donovan L, Hart JM, Hertel J. Lower extremity muscle activation during functional exercises in patients with and without chronic ankle instability. *PM & R*. 2014; 6(7):602-11. [DOI:10.1016/j.pmrj.2013.12.013] [PMID]
- [4] Caulfield B, Garrett M. Changes in ground reaction force during jump landing in subjects with functional instability of the ankle joint. *Clinical Biomechanics*. 2004; 19(6):617-21. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2004.03.001] [PMID]
- [5] Ardakani MK, Wikstrom EA, Minoonejad H, Rajabi R, Sharifn-ezhad A. Hop-stabilization training and landing biomechanics in athletes with chronic ankle instability: A randomized controlled trial. *Journal of Athletic Training*. 2019; 54(12):1296-303. [DOI:10.4085/1062-6050-550-17] [PMID] [PMCID]
- [6] Kunugi S, Masunari A, Koumura T, Fujimoto A, Yoshida N, Miyakawa S. Altered lower limb kinematics and muscle activities in soccer players with chronic ankle instability. *Physical Therapy in Sport*. 2018; 34:28-35. [DOI:10.1016/j.ptsp.2018.08.003] [PMID]
- [7] Kim H, Son SJ, Seeley MK, Hopkins JT. Altered movement biomechanics in chronic ankle instability, coper, and control groups: Energy absorption and distribution implications. *Journal of Athletic Training*. 2019; 54(6):708-17. [DOI:10.4085/1062-6050-483-17] [PMID] [PMCID]
- [8] Ericksen HM, Gribble PA, Pfile KR, Pietrosimone BG. Different modes of feedback and peak vertical ground reaction force during jump landing: A systematic review. *Journal of Athletic Training*. 2013; 48(5):685-95. [DOI:10.4085/1062-6050-48.3.02] [PMID] [PMCID]
- [9] Howe L, North J, Waldron M, Bampouras T. Reliability of independent kinetic variables and measures of inter-limb asymmetry associated with bilateral drop-landing performance. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*. 2018; 7(3):32-47. [DOI:10.26524/ijpefs1834]
- [10] DiStefano LJ, Padua DA, Brown CN, Guskiewicz KM. Lower extremity kinematics and ground reaction forces after prophylactic lace-up ankle bracing. *Journal of Athletic Training*. 2008; 43(3):234-41. [DOI:10.4085/1062-6050-43.3.234] [PMID] [PMCID]
- [11] De Ridder R, Willems T, Vanrenterghem J, Robinson MA, Roosen P. Lower limb landing biomechanics in subjects with chronic ankle instability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2015; 47(6):1225-31. [DOI:10.1249/MSS.0000000000000525] [PMID]
- [12] Noyes FR, Barber-Westin S. Sportsmetrics ACL intervention training program: Components and results. In: Bryant B, West R. *ACL Injuries in the female athlete*. Amsterdam: Elsevier Health Sciences; 2018. [https://www.google.com/books/edition/ACL\\_Injuries\\_in\\_Female\\_Athletes/dgZ-DwAAQBAJ?hl=en&gbpv=0](https://www.google.com/books/edition/ACL_Injuries_in_Female_Athletes/dgZ-DwAAQBAJ?hl=en&gbpv=0)
- [13] Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*. 1999; 27(6):699-706. [DOI:10.1177/03635465990270060301] [PMID]
- [14] Winstein CJ. Knowledge of results and motor learning - Implications for physical therapy. *Physical Therapy*. 1991; 71(2):140-9. [DOI:10.1093/ptj/71.2.140] [PMID]
- [15] Gribble PA, Taylor BL, Shinohara J. Bracing does not improve dynamic stability in chronic ankle instability subjects. *Physical Therapy in Sport*. 2010; 11(1):3-7. [DOI:10.1016/j.ptsp.2009.11.003] [PMID]
- [16] Kim H, Son SJ, Seeley MK, Hopkins JT. Altered movement strategies during jump landing/cutting in patients with chronic ankle instability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2019; 29(8):1130-40. [DOI:10.1111/sms.13445] [PMID]
- [17] Meyer CAG, Gette P, Mouton C, Seil R, Theisen D. Side-to-side asymmetries in landing mechanics from a drop vertical jump test are not related to asymmetries in knee joint laxity following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2018; 26(2):381-90. [DOI:10.1007/s00167-017-4651-2] [PMID] [PMCID]
- [18] Ford KR, Shapiro R, Myer GD, Van Den Bogert AJ, Hewett TE. Longitudinal sex differences during landing in knee abduction in young athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2010; 42(10):1923-31. [DOI:10.1249/MSS.0b013e3181dc99b1] [PMID] [PMCID]
- [19] Noyes FR, Barber-Westin SD. Neuromuscular retraining in female adolescent athletes: Effect on athletic performance indices and noncontact anterior cruciate ligament injury rates. *Sports*. 2015; 3(2):56-76. [DOI:10.3390/sports3020056]
- [20] Lephart SM, Abt JP, Ferris CM, Sell TC, Nagai T, Myers JB, et al. Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes: A plyometric versus basic resistance program. *British Journal of Sports Medicine*. 2005; 39(12):932-8. [DOI:10.1136/bjism.2005.019083] [PMID] [PMCID]
- [21] Huang PY, Chen WL, Lin CF, Lee HJ. Lower extremity biomechanics in athletes with ankle instability after a 6-week integrated training program. *Journal of Athletic Training*. 2014; 49(2):163-72. [DOI:10.4085/1062-6050-49.2.10] [PMID] [PMCID]
- [22] Benjaminse A, Postma W, Janssen I, Otten E. Video feedback and 2-Dimensional landing kinematics in elite female handball players. *Journal of Athletic Training*. 2017; 52(11):993-1001. [DOI:10.4085/1062-6050-52.10.11] [PMID] [PMCID]
- [23] Benjaminse A, Gokeler A, Fleisig GS, Sell TC, Otten B. What is the true evidence for gender-related differences during plant and cut maneuvers? A systematic review. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2011; 19(1):42-54. [DOI:10.1007/s00167-010-1233-y] [PMID] [PMCID]
- [24] Keating B, Pyfer J, Vialpando K. The effects of instruction on landing strategies in female college-aged dancers and non-

- dancers: A pilot study [PhD dissertation]. Nevada: University of Nevada; 2015. [DOI:10.34917/7536948]
- [25] Gokeler A, Benjaminse A, Welling W, Alferink M, Eppinga P, Otten B. The effects of attentional focus on jump performance and knee joint kinematics in patients after ACL reconstruction. *Physical Therapy in Sport*. 2015; 16(2):114-20. [DOI:10.1016/j.pts.2014.06.002] [PMID]
- [26] Rostami A, Letafatkar A, Gokeler A, Khaleghi Tazji M. The effects of instruction exercises on performance and kinetic factors associated with lower-extremity injury in landing after volleyball blocks. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2020; 29(1):51-64. [DOI:10.1123/jsr.2018-0163] [PMID]
- [27] Folman Y, Wosk J, Voloshin A, Liberty S. Cyclic impacts on heel strike: A possible biomechanical factor in the etiology of degenerative disease of the human locomotor system. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 1986; 104(6):363-5. [DOI:10.1007/BF00454431] [PMID]
- [28] Benjaminse A, Otten B, Gokeler A, Diercks RL, Lemmink KAPM. Motor learning strategies in basketball players and its implications for ACL injury prevention: A randomized controlled trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2017; 25(8):2365-76. [DOI:10.1007/s00167-015-3727-0] [PMID] [PMCID]
- [29] Cortes N, Onate J, Abrantes J, Gagen L, Dowling E, Van Lunen B. Effects of gender and foot-landing techniques on lower extremity kinematics during drop-jump landings. *Journal of Applied Biomechanics*. 2007; 23(4):289-99. [DOI:10.1123/jab.23.4.289] [PMID]
- [30] Pollard CD, Sigward SM, Powers CM. Limited hip and knee flexion during landing is associated with increased frontal plane knee motion and moments. *Clinical Biomechanics*. 2010; 25(2):142-6. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2009.10.005] [PMID] [PMCID]
- [31] Myer GD, Ford KR, McLean SG, Hewett TE. The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. *The American Journal of Sports Medicine*. 2006; 34(3):445-55. [DOI:10.1177/0363546505281241] [PMID]
- [32] Podraza JT, White SC. Effect of knee flexion angle on ground reaction forces, knee moments and muscle co-contraction during an impact-like deceleration landing: Implications for the non-contact mechanism of ACL injury. *Knee*. 2010; 17(4):291-5. [DOI:10.1016/j.knee.2010.02.013] [PMID]
- [33] Ghasemi Paeendehi V, Shojaeddin S, Ebrahimi Tekamejani E, Letafatkar A, Eslami M. [Effect of 8 weeks of FIFA 11+ training on ground reaction force variables during single leg drop landing in young male soccer players (Persian)]. *Studies in Sport Medicine*. 2017; 8(20):107-24. [DOI:10.22089/SMJ.2017.895]
- [34] Terada M, Pietrosimone BG, Gribble PA. Alterations in neuromuscular control at the knee in individuals with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*. 2014; 49(5):599-607. [DOI:10.4085/1062-6050-49.3.28] [PMID] [PMCID]
- [35] Huang PY, Lin CF. Effects of balance training combined with plyometric exercise in postural control: Application in individuals with functional ankle instability. In: Lim CT, Goh JCH, editors. Berlin: Springer; 2010. [DOI:10.1007/978-3-642-14515-5\_60]