Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

March and April 2023. Volume 12. Num 1

Research Paper

The Effect of 8 Weeks of Strength Training on the Ground Reaction Force in Single-leg Landing in Semi-professional Male Basketball Players

Sahar Farokhi[1], ***Mohammad Yousefi**[2], **Mohialdin Bahari**[3]

1. Department of Sport Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
2. Department of Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Farokhi S, Yousefi M, Bahari M. [The Effect of 8 Weeks of Strength Training on the Ground Reaction Force in Single-leg Landing in Semi-professional Male Basketball Players (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2023; 12(1):102-113. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.1.7

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.1.7

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

ABSTRACT

Background and Aims Single-leg landing is a difficult task for the lower limbs. This movement is very common in basketball and is one of the main causes of lower limb injuries, especially anterior cruciate ligament injuries. Single-leg landing causes a ground reaction force and torque to the lower limb. By increasing the internal torque and controlling the reaction force at the level of its application, the muscular strength of the lower limb can control the ground reaction force of the surface applied to the limb. This study aims to investigate the effects of 8 weeks of strength training on the ground reaction force in single-leg landing

Methods In this study, 20 semi-professional male basketball players were divided into two equal groups of test and control. The samples of both control and test groups were asked to perform three single-leg landings from a 40-cm platform on the force plate. Then, the test group underwent 8 weeks of lower limb strength training, and after the end of the training, the members of the test and control groups were asked to repeat the landing movement. An average of three movements per person was considered. For data analysis, the paired t test was used for intra-group comparison, and the 1-way ANCOVA method was used to compare inter-group effects. Statistical analysis of the study was performed using SPSS software version 20, at a significance level of 0.05 for all tests.

Results The results showed that the training program had no significant effects on the ground reaction force in the X direction in both internal and external directions, as well as, in the Y direction in the anterior and posterior directions, both within the group and between the groups. But, the training program had a significant and incremental effect on both within the group (P=0.005) and between the groups (P=0.002) in the Z direction.

Conclusion The strength training program lacks enough effect to reduce ground reaction force applied to semi-professional basketball players during a single-leg landing movement.

Keywords Strength training, Single-leg landing, Ground reaction force, Anterior cruciate ligament injury

Received: 13 Jul 2021
Accepted: 17 Sep 2021
Available Online: 21 Mar 2023

Corresponding Author:
Mohammad Yousefi
Address: Department of Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.
Tel: +98 (56) 31020000
E-Mail: m.yousefi@birjand.ac.ir

Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

Extended Abstract

Introduction

Anterior cruciate ligament injury is one of the most common sports injuries requiring long treatment and recovery. The non-contact type of this injury is so prevalent in the sport of basketball that this injury causes more than 70% of injuries in this sport. Single-leg landing is very common in basketball, and the effect of biomechanical factors of this type of landing is effective on the risk of injury. Various preventive programs have been proposed to reduce the incidence of non-contact anterior cruciate ligament injury with the approach to biomechanics of single-leg landing, including neuromuscular, core stability, strength, and combination training. The strength training program is one of the most popular programs studied in this field. Strength training plays an important role in balancing by strengthening ligaments and joint stability, as well as stimulating proprioception. The strength of the muscles of the lower limbs is a key element in performing safe movements of jumping, landing, and transferring body mass. Having enough power leads to keeping the ground reaction force within the applied level. One of the important functions of the lower limb muscles is to absorb reaction forces, and strong muscles are effective in absorbing shocks.

On the other hand, the greater the strength of the muscles, the more internal torque they can apply to the joint, thereby absorbing the forces exerted on the body. Muscle weakness and imbalance between torque function and muscle strength related to the knee joint, including hamstrings and quadriceps, is one of the most important factors in increasing force and torque on the lower limb and causing injury. Another possible cause of the excessive movement of the frontal plane of the knee is the weakness of the pelvic muscles, which is due to excessive pelvic adduction during movements such as jumping, which affects the amount of ground force applied. In this study, we investigated the effect of 8 weeks of strength training on the ground reaction force in single-leg landing in semi-professional male basketball players.

Materials and Methods

The present research method is quasi-experimental. It has a pretest-posttest design, a causal-comparative impact research model, and an applied study. The study's statistical population comprised all semi-professional basketball players of 16 to 26 years old playing in Alborz Province, Iran. Of whom, 20 players were chosen and randomly formed into two groups of test and control. The independent variable of this research is the type of exercise, and the dependent variable is the ground reaction forces. First, we reviewed their history of injuries, and examined the demographic characteristics of the samples. They signed the consent forms, and we obtained the research's approval and code of ethics. Then, the samples from both control and test groups were asked to make three single-leg landing moves from a 40-cm platform on a force plate. Next, the training group was asked to perform 8 weeks of strength training. After the end of the training, the test was repeated on the control and training groups. The research training program was organized in 3 training sessions per week for 8 weeks for the test group. The training program consisted of strength exercises, including squats with a step-up barbell, seated leg press, straight leg deadlift, lunges, and lying on the back of the leg with the device. This training program has been approved by the National Association of Resistance and Conditioning, authorized strength and conditioning training specialists, and the National Association of American Sports Coaches Certification Board. It has also been approved by 3 experts in internal corrective movements. A proportional overload plan has been considered in implementing the exercise program. Pretest and posttest results were prepared for statistical analysis. Descriptive statistics were used to examine the mean and standard deviation of both groups' age, heights, and weights. The paired t test was used for intragroup comparison, and the 1-way ANCOVA method was used for intergroup comparisons. Statistical analysis of the study was performed using SPSS software version 20, at a significance level of 0.05 for all tests.

Results

The paired t test analyses showed no significant change in ground reaction force in all components and directions in the control group. In the test group, the training program did not significantly affect the ground reaction force in the internal (P=0.099) and external direction of X (P=0.171). Also, the training program did not significantly affect the ground reaction force in the anterior (P=0.07) and posterior direction of Y (P=0.586). But in the vertical direction, the ground reaction force showed significant and increasing changes in direction (P=0.005). On the other hand, the results of the 1-way ANCOVA test to compare the two groups showed that this training program did not significantly affect the ground reaction force in the internal X direction between the test and control groups (P=0.277). Also, this program did not show a significant difference in the direction of X external direction (P=0.155) or for anterior (P=0.705) and posterior Y directions (P=0.072).

Only a significant but increasing effect was observed for ground reaction force in the Z direction (P=0.002).

Conclusion

According to the results, the strength training program may not benefit semi-professional basketball players in reducing the ground reaction force in single-leg landing movements. It is suggested that the training program of these athletes should not be limited to the strength training program. If using this training program, attention should be paid to the homogeneous increase of muscle strength in order not to create muscle dominance. In future studies, it is also recommended to study the effect of the combined training program, especially the combined strength training and core stability training to find the desired result in controlling the ground reaction force.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The study was conducted following the instructions of the Islamic Azad University Ethics Committee, Karaj Branch (Ethical Code: IR.IAU.K.REC. 1398.072).

Funding

This article was conducted based on the MS thesis of Sahar Farokhi in Biomechanics under the guidance of Mohammad Yousefi and consultation of Mohiyedin Bahari, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, Islamic Azad University, Karaj Branch. This research has not received any grant from public, private, commercial, not-for-profit, university, or research sectors.

Authors' contributions

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

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We appreciate all study participants who helped us in this research, especially Mohammad Ali Sleyman Fallah, for his unwavering support.

مقاله پژوهشی

تأثیر ۸ هفته تمرین قدرتی بر نیروی عکس‌العمل زمین حین اجرای فرود تک‌پا در مردان بسکتبالیست نیمه‌حرفه‌ای

سحر فرخی[۱]، *محمد یوسفی[۲]، محی‌الدین بهاری[۳]

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی،دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.

۲. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳. گروه رفتار حرکتی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی،دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Farokhi S, Yousefi M, Bahari M. [The Effect of 8 Weeks of Strength Training on the Ground Reaction Force in Single-leg Landing in Semi-professional Male Basketball Players (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2023; 12(1):102-113. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.1.7

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.1.7

CC BY

چکیده

مقدمه و اهداف فرود تک‌پا، وظیفه‌ای سخت برای اندام تحتانی است. این حرکت در ورزش بسکتبال بسیار مرسوم است و یکی از عوامل اصلی بروز آسیب‌های اندام تحتانی به‌ویژه آسیب لیگامان متقاطع قدامی در این ورزش است. فرود تک‌پا باعث اعمال حد بالایی از نیروی عکس‌العمل زمین و گشتاور به اندام تحتانی می‌شود. قدرت عضلانی اندام تحتانی با افزایش گشتاور درونی و کنترل نیرو عکس‌العمل در سطح اعمال آن، منجر به کنترل نیروی عکس‌العمل زمین وارده به این بخش می‌شود. ازاین‌رو این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ۸ هفته تمرینات قدرتی بر روی نیروی عکس‌العمل زمین در حرکت فرود تک‌پا انجام شد.

مواد و روش‌ها در این پژوهش ۲۰ ورزشکار نیمه‌حرفه‌ای رشته بسکتبال به ۲ گروه مساوی آزمایش و کنترل تقسیم‌بندی شدند. از نمونه‌های هر ۲ گروه کنترل و تمرین خواسته شد ۳ حرکت سقوط فرود تک‌پا از روی سکوی ۴۰ سانتی‌متری روی صفحه نیرو اجرا کنند. سپس گروه تمرین تحت ۸ هفته تمرین قدرتی اندام تحتانی قرار گرفت و پس از پایان تمرینات از افراد گروه تمرین و کنترل خواسته شد حرکت فرود را تکرار کنند. میانگین ۳ حرکت برای هر فرد در نظر گرفته شد. برای تحلیل داده‌ها از آزمون تحلیل تی زوجی برای مقایسه درون‌گروهی و از روش کواریانس یک‌طرفه برای بررسی مقایسه‌ای تأثیرات بین گروه‌ها استفاده شد. بررسی آماری پژوهش با استفاده از نسخه ۲۰ نرم‌افزار SPSS، با سطح معناداری ۰/۰۵ برای همه آزمون‌ها صورت گرفت.

یافته‌ها یافته‌ها نشان داد برنامه تمرینی بر روی نیروی عکس‌العمل زمین در راستای X در هر ۲ سویه داخلی و خارجی، همچنین در بررسی عکس‌العمل زمین در راستای Y نیز در جهات قدامی و خلفی چه در مقایسه درون‌گروهی و چه در مقایسه بین گروهی تأثیری معناداری ندارد. همچنین در بررسی نیروی عکس‌العمل زمین در راستای Z در مقایسه درون‌گروهی (P=۰/۰۰۵) و چه در مقایسه بین گروهی (P=۰/۰۰۲) برنامه تمرینی تأثیری معنادار اما افزایشی نشان داد.

نتیجه‌گیری به نظر می‌رسد برنامه تمرین قدرتی به تنهایی اثربخشی کافی بر روی کاهش نیروی عکس‌العمل زمین اعمالی به بسکتبالیست‌های نیمه‌حرفه‌ای در حین حرکت فرود تک‌پا را ندارد.

کلیدواژه‌ها تمرینات قدرتی، فرود تک‌پا، نیروی عکس‌العمل زمین، آسیب رباط متقاطع قدامی

تاریخ دریافت: ۲۲ تیر ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۲۶ شهریور ۱۴۰۰

تاریخ انتشار: ۰۱ فروردین ۱۴۰۲

* **نویسنده مسئول:**

محمد یوسفی

نشانی: بیرجند، دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم ورزشی،گروه بیومکانیک ورزشی.

تلفن: ۳۱۰۲۰۰۰۰ (۵۶) ۹۸+

رایانامه: m.yousefi@birjand.ac.ir

مقدمه

فرود تک‌پا، وظیفه‌ای سخت برای اندام تحتانی است، به‌نحوی‌که تأثیر نیروی اعمالی ناشی از این حرکت ۲/۵ تا ۵ برابر وزن بدن است [۱]. این حرکت در رشته بسکتبال بسیار مرسوم است [۲]. فرود تک‌پا در مکانیسم‌های ایجاد بسیاری از آسیب‌های اندام تحتانی مؤثر است که ازجمله می‌توان به آسیب لیگامان‌ها، التهاب تاندون آشیل و بروز درد در اندام‌های تحتانی اشاره کرد [۳-۶]. آسیب لیگامان متقاطع قدامی یکی از شایع‌ترین آسیب‌های ورزشی می‌باشد که شامل دوره درمان و نقاهت طولانی است [۷]. این آسیب با ۲ مکانیسم برخوردی و غیر برخوردی رخ می‌دهد که حدود ۸۰ درصد از آسیب‌های لیگامان متقاطع قدامی ناشی از مکانیسم غیربرخوردی است [۸]. نوع غیربرخوردی این آسیب در رشته ورزشی بسکتبال از شیوع بالایی برخوردار است، به‌طوری‌که در این رشته بیش از ۷۰ درصد از آسیب‌ها ناشی از این آسیب است [۹]. در فرود تک‌پا حداکثر نیروهای عکس‌العمل زمین در اثر برخورد به‌ترتیب بر متغیرهای بیومکانیکی پنجه و پاشنه در حین فرود ظاهر می‌شود و سپس این نیرو به اعمال گشتاور به سایر اندام‌های تحتانی ازجمله مفصل زانو منجر می‌شود [۱۰]. به نظر می‌رسد هرچه میزان نیروی عکس‌العمل زمین اعمالی بیشتر شود، میزان گشتاور اعمالی به زانو و ریسک ابتلا به آسیب لیگامان متقاطع قدامی غیرتماسی افزایش می‌یابد [۱۱، ۱۲].

به منظور کاهش موارد ابتلا به نوع غیرتماسی آسیب لیگامان متقاطع قدامی با رویکرد توجه به بیومکانیک فرود تک‌پا، برنامه پیشگیرانه مختلفی ازجمله تمرینات عصبی عضلانی، ثبات هسته مرکزی، قدرتی و ترکیبی در ادبیات پژوهشی مربوطه پیشنهاد شده است [۱۳-۳۲]. برنامه تمرین قدرتی یکی از پر تکرارترین برنامه‌های بررسی‌شده در این حیطه است [۳۳]. استفاده از تمرینات قدرتی سابقه هزاران ساله دارد. این تمرینات با تقویت لیگامان‌ها و پایداری مفاصل و همچنین تحریک حس عمقی در برقراری تعادل نقش بسزایی را ایفا می‌کنند [۳۴]. قدرت عضلات اندام تحتانی عنصری کلیدی در انجام ایمن حرکات پرش، فرود و همچنین انتقال توده بدن است [۳۵]. قدرت کافی منجر به نگهداشتن نیروی عکس‌العمل زمین در محدوده‌ی سطح اتکا می‌شود [۳۶]. از وظایف مهم عضلات اندام تحتانی می‌توان به جذب نیروهای عکس‌العمل اشاره کرد و عضلات قوی به‌طور مؤثری در جذب شوک‌ها نقش دارند [۳۷].

از طرفی به نظر می‌رسد هرچه میزان قدرت عضلات بیشتر باشد، می‌توانند گشتاور درونی بیشتری بر مفصل وارد کنند و از این طریق نیروهای واردشده بر بدن را جذب کنند و حین انجام اعمالی مانند فرود، باید بین نیروی وارد بر مفصل و قدرت عضلانی تعادل برقرار باشد تا مفصل بتواند ثبات خود را حفظ کند [۳۸]. ضعف عضلانی و عدم تعادل بین عملکرد گشتاوری و توان عضلات مرتبط با مفصل زانو ازجمله همسترینگ و چهارسرانی یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش نیرو و گشتاور وارد بر اندام تحتانی و بروز آسیب است [۳۹]. همچنین یکی دیگر از دلایل احتمالی حرکت بیش از حد صفحه فرونتال زانو، ضعف عضلات لگن می‌باشد که دلیل بروز آن اداکشن بیش از حد لگن در حین حرکاتی مانند پرش است که این موضوع بر میزان نیروی عکس‌العمل زمین اعمال‌شده مؤثر است [۴۰، ۴۱].

باتوجه‌به حمایت نظری از احتمال مؤثر بودن تمرینات قدرتی بر بیومکانیک فرود، در این پژوهش تلاش شده است تأثیر ۸ هفته تمرینات قدرتی بر نیروی عکس‌العمل زمین در اجرای فرود تک‌پا در مردان بسکتبالیست نیمه حرفه‌ای بررسی شود.

مواد و روش‌ها

روش پژوهش نیمه آزمایشی، طرح تحقیق پیش-آزمون پس‌آزمون مدل تحقیق، تأثیرسنجی علی‌مقایسه‌ای و نوع پژوهش، کاربردی است. جامعه آماری تحقیق، ۶۰ بسکتبالیست مرد نیمه‌حرفه‌ای استان البرز هستند که از این جامعه، به‌صورت دردسترس و داوطلب شرکت در تحقیق، ۲۰ نفر به‌صورت تصادفی در این پژوهش شرکت کردند. نمونه مورد سنجش به‌صورت مساوی در ۲ گروه تمرین (۱۰ نفر) و کنترل (۱۰ نفر) تقسیم‌بندی شدند. مراحل اولیه پژوهش ازجمله بررسی سوابق آسیب‌دیدگی شرکت‌کنندگان از طریق خود اظهاری، بررسی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی نمونه‌ها و همچنین پر کردن فرم‌های رضایت‌نامه و انجام مراحل دریافت مجوز و کد اخلاق برای پژوهش صورت گرفت.

اختلالات عضلانی‌اسکلتی، سابقه آسیب‌دیدگی منجر به درمان و جراحی در اندام تحتانی در ۲ سال منتهی به پژوهش و بد راستایی قابل مشاهده اندام تحتانی معیار خروج از پژوهش در نظر گرفته شد. از نمونه‌های هر ۲ گروه کنترل و تمرین خواسته شد ۳ حرکت سقوط فرود تک‌پا را از روی سکوی ۴۰ سانتی‌متری روی صفحه نیرو اجرا کنند. میانگین داده‌های مربوط به ۳ حرکت برای پیش‌آزمون شرکت‌کنندگان گروه تمرین و گروه کنترل در نظر گرفته شد. سپس گروه تمرین در معرض برنامه تمرینی پژوهش قرار گرفت. برنامه تمرینی پژوهش حاضر در ۸ هفته و هر هفته ۳ جلسه تنظیم و بر روی گروه تمرین اجرا شد. برنامه تمرینی از برنامه تمرینی مک گین اقتباس شد [۱۴].

این برنامه تمرینی مورد تأیید انجمن ملی مقاومت و بدنساز[1] و متخصصین مجاز تمرینات قدرتی و بدنسازی[2] قرار گرفت [۱۴] و توسط ۳ نفر از اساتید نخبه حرکات اصلاحی داخلی تأیید شد. هر جلسه تمرین شامل ۱۰ دقیقه گرم کردن استاندارد، ۳۰ تا ۴۵ دقیقه پروتکل تمرینی اصلی و ۵ دقیقه سرد کردن طرح‌ریزی شد. میزان بار براساس ۷۵ تا ۸۵ درصد ۱ تکرار بیشینه[3] طبق تکرار ست در نظر گرفته شد. تکرار حرکات در هر ست بین ۶ تا ۱۰ حرکت و استراحت بین ست‌ها بین ۶۰ تا ۹۰ ثانیه براساس پروتکل تمرین در نظر گرفته شد. تمرینات هر جلسه شامل اسکوآت باهالتر استپ آپ، پرس پا نشسته، ددلیفت پا صاف، لانجز، پشت پا خوابیده با دستگاه طرح‌ریزی و اجرا شد. همچنین از گروه کنترل خواسته شد در بازه پژوهش، برنامه تمرینی نداشته باشند. پس از پایان تمرینات، مجدداً آزمون برای گروه کنترل و تمرین تکرار شد. در این پژوهش از صفحه نیروی Kistler ساخت کشور سوئیس، با سنسور پیزوالکتریک با فرکانس ۲۴۰۰ هرتز و ابعاد ۶۰×۵۰ سانتی‌متر استفاده شده است. به منظور به حداقل رساندن تفاوت در اجرای فرود از محرک صوتی برای انجام حرکت استفاده شد. به این صورت که از آزمودنی‌ها خواسته شد که پس از شنیدن صدای صوت بدون هیچ‌گونه انقباض در عضلات پا، خود را از روی سکو به پایین رها کنند و روی پای غالب خود فرود آیند. پس از آمادگی از اعضای نمونه خواسته شد تا اجرای ۳ حرکت فرود تک‌پا با پای غالب از سکوی ۴۰ سانتی‌متری روی صفحه نیروسنج صورت گیرد. فیلتر پایین گذر باتروث، با فرکانس برشی ۲۰ هرتز برای هموار کردن داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون با نسخه ۲۰۱۵ نرم‌افزارمطلب[4] برای تحلیل آماری آماده‌سازی شد.

داده‌های راستاهای داخلی، خارجی جهت X و خلفی، قدامی جهت Y براساس مثبت یا منفی بودن نیروی ثبت‌شده جداسازی شدند. همچنین راستای عمودی این نیرو در تک راستای اعمال مدنظر قرار گرفت. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان ۲ گروه تمرین و کنترل شامل سن، سابقه ورزشی، فعالیت‌های هفتگی و شاخص توده بدنی[5] با آزمون تی مستقل[6] مقایسه شدند. داده‌های آزمایشگاهی آماده‌سازی‌شده با کمک نسخه ۲۰ نرم‌افزار SPSS ابتدا با کمک روش کولموگراف-اسمیرنف[7] ازنظر نرمال بودن مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس نتایج درون‌گروهی پیش‌آزمون و پس‌آزمون با تحلیل تی زوجی و نتایج بین گروهی پس از تأیید همگنی بین گروهی با آزمون لون[8]، خطی بودن توزیع داده‌ها، همسان بودن شیب رگرسیون و اعتبار ابزار اندازه‌گیری با کمک تحلیل کواریانس یک‌راهه مورد سنجش قرار گرفت. در تمام آزمون‌ها سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

1. National Strength and Conditioning Association (NSCA)
2. Certified Strength and Conditioning Specialists (CSCS)
3. One-repetition maximum
4. Matlab
5. Body Mass Index (BMI)
6. Independent t test
7. Kolmogorov-Smirnov
8. Levene's Test

یافته‌ها

نتایج آزمون تی مستقل ویژگی‌های عمومی شرکت‌کنندگان در پژوهش در جدول شماره ۱ ارائه شده است. نتایج دلالت بر عدم وجود تفاوت معنادار این ویژگی‌ها در گروه‌های تمرین و کنترل دارد.

نیروی عکس‌العمل زمین در ۲ راستای X در ۲ سویه داخلی و خارجی، Y در ۲ سویه قدامی و خلفی و همچنین راستای عمودی مورد مطالعه قرار گرفت. در ابتدا با کمک آزمون کولموگراف-اسمیرنف نرمال بودن داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون تأیید شدند. سپس به‌دلیل مقایسه اختلاف درون‌گروهی داده‌ها طبق آزمون آماری تی زوجی برای گروه‌های تمرین و کنترل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحلیل در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

نتایج این تحلیل نشان‌دهنده عدم تغییرات معنادار نیروی عکس‌العمل زمین در تمام سویه و جهت‌ها در گروه کنترل می‌باشد. همچنین در گروه تمرین در هر ۲ سویه ۲ راستای X و Y تغییرات کاهشی معنادار در نیروی عکس‌العمل زمین مشاهده نشد. در جهت عمودی نیز ۸ هفته برنامه تمرینی تجویزی تأثیری معنادار (P=۰/۰۰۵) اما در جهت افزایشی را نشان داد.

به منظور مقایسه نتایج حاصل از برنامه تمرینی در ۲ گروه تمرین و خطا از آزمون تحلیل کواریانس یک‌راهه استفاده شد. بدین منظور ابتدا همگنی داده‌ها با کمک آزمون لون ارزیابی شد و پس از اطمینان از همگنی داده‌ها، آزمون آماری اجرا شد. نتایج این تحلیل در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

برآورد تحلیل آماری نتایج پژوهش نشان داد، برنامه تمرینی پژوهش به تأثیری معنادار بر روی نیروی عکس‌العمل زمین در راستای X داخلی بین گروه‌های تمرین و کنترل منجر نشده است (P=۰/۲۷۷). همچنین این برنامه اختلاف معناداری را در راستای X سویه خارجی نیز نشان نداد (P=۰/۱۵۵). از سویی در راستای Y سویه قدامی (P=۰/۷۰۵) و Y خلفی (P=۰/۰۷۲) نیز نتایج معناداری حاصل نشد. تنها در بررسی نیروی عکس‌العمل زمین در راستای Z، تأثیر معناداری اما افزایشی در پژوهش مشاهده شد (P=۰/۰۰۲).

بحث

نتایج بررسی انجام‌شده در پژوهش حاضر از تأثیر معنادار ۸ هفته تمرینات قدرتی بر کاهش نیروی عکس‌العمل زمین اعمال‌شده به بسکتبالیست‌های جوان در حرکت فرود تک‌پا حمایت نکرد.

جدول ۱. مشخصات جمعیت‌شناختی افراد شرکت‌کننده در تحقیق همراه با نتایج آزمون تی مستقل (n=۱۰)

متغیر	میانگین±انحراف‌معیار		P
	تمرین	کنترل	
سن	۲۰/۱±۳/۰۹	۲۲/۵±۲/۲۵	۰/۱۳۴
سابقه ورزشی (سال)	۶/۰۲±۲/۲۰	۸/۱±۲/۱۳	۰/۰۶۶
فعالیت هفتگی (ساعت)	۱۰/۵±۲/۱۷	۹/۹±۲/۴۲	۰/۵۶۷
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)	۲۳/۴۵±۱/۶۲	۲۴/۲۶±۱/۵۵	۰/۲۶۹

طب‌توانبخشی

جدول ۲. نتایج مقایسه اختلاف درونگروهی آزمودنی‌ها در پیش و پس‌آزمون آزمون تی زوجی

متغیر		میانگین±انحراف‌معیار		P	میانگین±انحراف‌معیار		P
		کنترل			تمرین		
		پیش آزمون	پس آزمون		پیش آزمون	پس آزمون	
نیروی عکس‌العمل زمین	در راستای x داخلی (نیوتن)	۱۶/۲۲±۲/۰۷	۱۴/۱۴±۱/۴	۰/۳۲۹	۱۵/۵۱±۱/۸	۱۳/۳۳±۱/۹۵	۰/۰۹۹
	در راستای x خارجی (نیوتن)	۲۶/۶۱±۱/۹۹	۲۱/۷۷±۱/۶۴	۰/۰۶۹	۱۸/۹۴±۱/۱۷	۱۶/۹۳±۱/۰۲	۰/۱۷۱
	در راستای y قدامی (نیوتن)	۳۸/۴۹±۴/۲۳	۳۲/۱۰±۲/۹۱	۰/۱۸۵	۴۱/۳۲±۴/۰۲	۳۲/۴۴±۱/۰۲	۰/۰۷
	در راستای y خلفی (نیوتن)	۷/۵۶±۰/۸۱	۷/۱۷±۰/۸۹	۰/۷۹۱	۷/۷±۱/۳۵	۷/۰۱±۰/۴۴	۰/۵۸۶
	در راستای عمودی (نیوتن)	۸۳۲/۶۹±۵/۸۵	۸۲۲/۷۰±۱۰/۶۰	۰/۲۶۱	۷۷۳/۷۲±۴۱/۰۴	۷۹۲/۸۵±۴۴/۰۲	۰/۰۰۵*

* اختلاف معنادار است.

طب‌توانبخشی

باوجوداین که انتظار می‌رود تمرینات قدرتی با افزایش ظرفیت ایجاد گشتاور درونی در عضلات، پایداری و کنترل نیروهای اعمالی در سطح اعمال نیرو به کاهش نیروی عکس‌العمل زمین اعمالی به اندام تحتانی بیانجامد [۳۵-۴۱]، اما عدم همسانی تأثیر تمرینات در عضلات اندام تحتانی و عدم افزایش قدرت عضلات در اثر تمرینات به‌صورت همگون و تسلط عضلات، ممکن است منجر به تغییر ویژگی‌های کینتیکی اندام تحتانی و نیروی عکس‌العمل زمین اعمالی شود [۴۲]. پژوهش‌های پیشین صورت‌گرفته نیز نتایج متعارضی را گزارش

جدول ۳. نتایج مقایسه تغییرات بین گروهی نیروی عکس‌العمل زمین آزمودنی‌ها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون (آزمون تحلیل کواریانس یک‌راهه)

مؤلفه	سطح معناداری آزمون لون	جمع مجذورات	درجه آزادی	F	P
x داخلی	۰/۲۷۷	۷۷/۳۵	۱	۲/۷۷	۰/۱۱۴
x خارجی	۰/۱۵۵	۳۹/۴۴	۱	۲/۰۶	۰/۱۶۹
y قدامی	۰/۷۰۵	۳۷/۳۵۵	۱	۰/۲۱۱	۰/۶۵۲
y خلفی	۰/۰۷۲	۰/۱۳۳	۱	۰/۰۲۵	۰/۸۷۶
z	۰/۱۰۸	۵۰۷۱/۵۰	۱	۱۲/۹۳۷	۰/۰۰۲*

* اختلاف معنادار است.

طب‌توانبخشی

کردند. تروبریج[9] تأثیر ۶ هفته تمرینات قدرتی در مقایسه با تمرینات قدرتی را بر روی دانشجوی سالم بررسی کرد که نتایج هم‌راستا با پژوهش حاضر، نشان‌دهنده عدم تأثیر معنادار برنامه تمرینی قدرتی در فاکتور نیروی عکس‌العمل زمین بود [۱۳].

همچنین هم‌راستا با نتایج پژوهش مک‌گین نیز تأثیر ۶ هفته تمرین قدرتی علی‌رغم افزایش قدرت عضلات چهارسر ران و همسترینگ، تأثیری معنادار بر روی عکس‌العمل زمین اعمال‌شده گزارش نکردند [۱۴]. وسکووی و همکاران[10] نیز به بررسی ۶ هفته تمرینات قدرتی بر روی ۲۰ ورزشکار جوان پرداختند، نتایج کلی از تغییرات معنادار تأثیر تمرینات قدرتی بر روی نیروی عکس‌العمل حمایت نکرد [۱۵]. همچنین بلک بورن و نورکروس تأثیر ۶ هفته تمرینات قدرتی با تمرکز بر عضله همسترینگ را در ورزشکاران سالم در متغیر موردمطالعه پژوهش معنادار گزارش نکردند [۱۶].

برخلاف پژوهش حاضر، پژوهش‌های متعددی تأثیر تمرینات قدرتی را در کاهش نیروی عکس‌العمل زمین اعمالی، معنادار گزارش کردند. هرمان و همکاران، تأثیر ۹ هفته تمرینات قدرتی با استفاده از سیستم اصلاح حرکت و بدون استفاده از آن را بر روی ویژگی‌های بیومکانیکی اندام تحتانی مطالعه کردند. نتایج نشان‌دهنده تأثیر معنادار قوی برنامه تمرینی بر روی نیروی عکس‌العمل زمین است [۱۷]. ورم و همکاران، در پژوهشی تأثیر ۶ هفته تمرین قدرتی شامل حرکات اسکوآت پشت، ددلیفت، استپ آپ و لانج را بر روی نیروی عکس‌العمل زمین، معنادار گزارش کردند [۱۸].

مک کندو و سومیا به بررسی تأثیر برنامه تمرینی قدرتی ران بر روی نیروی عکس‌العمل زمین پرداختند. نتایج نشان داد پس از اجرای برنامه تمرینی، نمونه ضمن افزایش قدرت عضلانی، درصد حداکثر انقباض ارادی در عضله گلوتئوس مدیوس، منجر به کاهش معنادار نیروی واکنش زمین شد [۱۹]. ذالبیک و همکاران نیز تأثیر تمرینات قدرتی را مغایر با یافته‌های پژوهش گزارش کردند [۲۰]. به نظر می‌رسد به‌جز امکان بروز تسلط عضلات که از اثر ناهمگون تمرینات قدرتی حاصل می‌شود، برنامه تمرینی کوتاه‌مدت برای بهبود ویژگی‌های بیومکانیک فرود ازجمله نیروی عکس‌العمل زمین ناکافی باشد [۴۳]. همچنین نتایج پژوهش به متغیرهای مزاحمی ازقبیل تفاوت در ویژگی‌های بیومکانیکی شرکت‌کنندگان در پژوهش گرفته تا متغیرهای تکنیکال مانند آشنایی با تکنیک فرود و حتی جنس کفی کفش و خستگی وابسته است [۴۴-۴۹]. عدم مطالعه و خنثی‌سازی یکسان تمام این متغیرها خود می‌تواند دلیلی بر نتایج ناهمسو در پژوهش‌های صورت‌گرفته باشد.

9. Trowbridge
10. Vescov et al

تحقیق در گروه سنی مطالعه‌شده در پژوهش حاضر قابل تعمیم و برای جامعه مردان قابل تسری است. همچنین محدودیت در حجم نمونه، عدم کنترل کامل بر روی فعالیت‌های گروه کنترل، دسترسی محدود به امکانات آزمایشگاهی و عدم امکان تکرار چندین باره تمرینات، عدم امکان نظارت مستقیم پژوهشگر بر انجام صحیح حرکات به‌دلیل محدودیت‌های قانونی، بروز اتفاقات پیش‌بینی نشده ازجمله تعطیلات و بروز آسیب‌دیدگی جزئی در بازه زمانی اجرای برنامه تمرینی را می‌توان از محدودیت‌های پژوهش دانست.

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد برنامه آماده‌سازی منحصر به تمرینات قدرتی، ممکن است تأثیرگذاری سودمندی بر روی کاهش نیروی عکس‌العمل زمین حاصل از حرکت فرود تک‌پا در بسکتبالیست‌های نیمه حرفه‌ای نداشته باشد. پیشنهاد می‌شود برنامه آماده‌سازی این ورزشکاران محدود به برنامه تمرینات قدرتی نباشد و در صورت استفاده از این برنامه تمرینی، به افزایش همگون قدرت عضلانی به منظور عدم ایجاد تسلط عضلات توجه شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره IR.IAU.K.REC. 1398.072 دریافت شده است

حامی مالی

این مقاله براساس پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته بیومکانیک خانم سحر فرخی به راهنمایی دکتر محمد یوسفی و مشاوره دکتر محی‌الدین بهاری، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج می‌باشد. این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از تمام شرکت‌کنندگان در این پژوهش که در انجام این تحقیق ما را یاری کردند و همچنین از دکتر محمد علی سلیمان فلاح برای حمایت‌های بی‌دریغشان تشکر و قدردانی می‌شود.

References

[1] Lee J, Song Y, Shin CS. Effect of the sagittal ankle angle at initial contact on energy dissipation in the lower extremity joints during a single-leg landing. Gait & Posture. 2018; 62:99–104. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2018.03.019]

[2] Tai W, Peng H, Lin J, Lo S, Yu H, Huang J. Biomechanical characteristics of single leg jump in collegiate basketball players based on approach technique. Applied Sciences. 2020; 10(1):309. [DOI:10.3390/app10010309]

[3] Xu D, Zhou H, Baker J, Istavan B, Gu Y. An Investigation of differences in lower extremity biomechanics during single-leg landing from height using bionic shoes and normal shoes. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2021; 9:711-24. [DOI:10.3389/fbioe.2021.679123]

[4] Yousefi M, Sadeghi H, Ilbeigi S, Rahimi A. Khaleghi Tazegy M. [Detection of compensatory mechanism during gait in individuals with functional ankle instability using inversion perturbation (Persian)]. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2018; 6(4):240-48. [DOI:10.22037/jrm.2018.110751.1505]

[5] Yousefi M, Sadeghi H, Ilbiegi S, Ebrahimabadi Z, Kakavand M, Wikstrom EA. Center of pressure excursion and muscle activation during gait initiation in individuals with and without chronic ankle instability. Journal of Biomechanics. 2020; 108:109904. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2020.109904]

[6] Yousefi M, Mehrshad N, Ilbeigi S, Piry H, Rahimi M. Is reflective markers image processing a precise method to diagnose lumbar lordosis and thoracic kyphosis? World Journal of Sport Sciences. 2011; 4(4):416-22. [DOI:10.32598/SJRM.10.6.10]

[7] Mohammadi H, Ghaeeni S. Prevalence of neuromuscular deficiencies associated with non-contact anterior cruciate ligament injury in healthy collegiate student-athletes. Physical Treatment. 2019; 9(4):193-202 [DOI:10.32598/ptj.9.4.193]

[8] Gheidi N, Sadeghi H. [ACL injury prevention programs due to intrinsic and modifiable risk factors in female Athletes (Persian)]. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2014; 3(3): 89-108. [DOI:10.22037/jrm.2014.1100080]

[9] Mahaki M, Shojaadin M, Memar R, Khaleghi M. [The comparsion of the electromyography of leg muscles and peak vertical ground reaction forces during single leg drop landing between men with genu varum deformity and normal knee (Persian)]. Sport Sciences and Health Research, 2013; 4(2):87-106. [DOI:10.22059/JSMED.2013.30061]

[10] Bauer JJ, Fuchs RK, Smith GA, Snow CM. Quantifying force magnitude and loading rate from drop landings that induce osteogenesis. Journal of Applied Biomechanics. 2001; 17(2):142-52. [DOI:10.1123/jab.17.2.142]

[11] Sinsurin K, Vachalathiti R, Jalayondeja W, Limroongreungrat W. Different sagittal angles and moments of lower extremity joints during single-leg jump landing among various directions in basketball and volleyball athletes. Journal of Physical Therapy Science. 2013; 25(9):1109-13. [DOI:10.1589/jpts.25.1109]

[12] Podraza J, White S, 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. The Knee. 2010; 17(4):291–5. [DOI:10.1016/j.knee.2010.02.013]

[13] Trowbridge CA. The effects of strength and plyometric training on joint position, joint moments, and joint stiffness at the knee [PhD dissertation]. Utah: Brigham Young University; 2004. [Link]

[14] MacGinn PA. Effects of a 6-week strength training program on landing kinematics and kinetics of female collegiate basketball athletes [PhD dissertation]. Kentucky: University of Kentucky; 2004. [Link]

[15] Vescovi JD, Canavan PK, Hasson S. Effects of a plyometric program on vertical landing force and jumping performance in college women. Physical Therapy in Sport. 2008; 9(4):185-92. [DOI:10.1016/j.ptsp.2008.08.001

[16] Herman C, Oñate JA, Weinhold PS, Guskiewicz K, Garrett WE, Yu B, et al. The effects of feedback with and without strength training on lower extremity biomechanics. The American Journal of Sports Medicine. 2009; 37(7):1301-8. [DOI:10.1177/0363546509332253

[17] Wurm B, Garceau T, Zanden T, Fauth M, Ebben W. Ground reaction force and rate of force development during lower body resistance training exercises. Paper presented at: Proceedings of 28th International Conference on Biomechanics in Sports. 19–23 July 2010; Michigan, USA. [Link]

[18] Blackburn JT, Norcross MF. The effects of isometric and isotonic training on hamstring stiffness and anterior cruciate ligament loading mechanisms. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2014; 24(1):98–103. [DOI:10.1016/j.jelekin.2013.10.010]

[19] Kondo H, Someya F. Changes in ground reaction force during a rebound-jump task after hip strength training for single-sided ankle dorsiflexion restriction. Journal of Physical Therapy Science. 2016; 28(2):319-25. [DOI:10.1589/jpts.28.319]

[20] Zalbeik P, Letafatkar A, Rezvan Nobahar S. Comparison of combined strength and feedback trainings on kinetic and functional factors in athletes with plyometric pattern (Persian)]. Research in Sport Medicine and Technology. 2020; 18(19):81-95 [DOI:10.29252/jsmt.18.19.81]

[21] Jackson K. The effect of an isometric strength training protocol on valgus angle during a drop-jump landing in elite female volleyball players [PhD dissertation]. Windsor: University of Windsor; 2015. [Link]

[22] Myer GD, Ford KR, Palumbo JP, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. Journal of Strength and Conditioning Research. 2005; 19(1):51–60. [PMID]

[23] Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE. Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in "high-risk" versus "low-risk" athletes. BMC Musculoskeletal Disorders. 2007; 8(39):1-7. [DOI:10.1186/1471-2474-8-39]

[24] Brown TN, Palmeri-smith RM, Mclean SG. Comparative adaptations of lower limb biomechanics during unilateral and bilateral landings after different neuromuscular-based acl injury prevention protocols. Journal of Strength and Conditioning Research. 2014; 28(10):2859–71. [DOI:10.1519/JSC.0000000000000472]

[25] Taylar JB, Ford KR, Schmitz RJ, Ross SE, Ackeman TA, Shultz SJ. Sport-specific biomechanical responses to an ACL injury prevention program: A randomized controlled trial. Journal of Sports Sciences. 2018; 36(21):2492-501. [DOI:10.1080/02640414.2018.1465723]

[26] Sabet S, Letafatkar A, Eftekhari F, Khosrokiani Z ,Gokeler A. Trunk and hip control neuromuscular training to target inter limb asymmetry deficits associated with anterior cruciate ligament injury. Physical Therapy in Sport. 2019; 38:71-9. [DOI:10.1016/j.ptsp.2019.04.014]

[27] Herrington L, Munro A, Comfort P. A preliminary study into the effect of jumping-landing training and strength training on frontal plane projection angle. Manual Therapy. 2015; 20(5):680-5. [DOI:10.1016/j.math.2015.04.009]

[28] Araujo S, Cohen D, Hayes L. Six weeks of core stability training improves landing kinetics among female capoeira athletes: A pilot study. Journal of Human Kinetics. 2015; 45(1):27-37. [DOI: 10.1515/hukin-2015-0004]

[29] Camacho A. The effect of novel core stability training program on neuromuscular anterior cruciate ligament risk factor in female collegiate soccer players [PhD dissertation]. California: University of Long Beach; 2017. [Link]

[30] Dello Iacono A, Padulo J, Ayalon M. Core stability on lower limb balance strength. Journal of Sports Sciences. 2016; 34(7):671-8. [DOI:10.1080/02640414.2015.1068437]

[31] Kato S, Urabe Y, Kawamura K. Alignment control exercise changes lower extremity movement during stop movements in female basketball players. The Knee. 2008; 15(4):299–304. [DOI:10.1016/j.knee.2008.04.003]

[32] Simpson JD, Miller BL, O'Neal EK, Chander H, Knight AC. Ground reaction forces during a drop vertical jump: Impact of external load training. Human Movement Science. 2018; 59:12–19. [DOI.:10.1016/j.humov.2018.03.011]

[33] Farokhi S, SoleymanFallah MA, Yousefi M. [Evaluation of the rate of anterior cruciate ligament injury in basketball players and appropriate training patterns to prevent non-contact injury (Persian)]. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2022; 10(6):1110-23. [DOI:10.32598/SJRM.10.6.10]

[34] Mohammadi A, Letafatkar A, Iremlou F, Poorkiani M. Effect of eight weeks of strength, core stability and combination training on dynamic balance of elite basketball player girls. Journal of Research in Sports Life Sciences. 2014; 4(15):5-21. [Link]

[35] Demosey PC, Handcock PJ, Rehrer NJ. Body armour: The effect of load, exercise and distraction on landing forces. Journal of Sports Sciences. 2014; 32(4):301-6. [DOI:10.1080/02640414.2013.823226]

[36] Sato K, Mokha M. Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability, and 5000-m performance in runners? Journal of Strength and Conditioning Research. 2009; 23(1):133-40. [DOI:10.1519/JSC.0b013e31818eb0c5]

[37] Mikesky AE, Meyer A, Thompson KL. Relationship between quadriceps strength and rate of loading during gait in women. The Journal of Orthopaedic Research. 2000; 18(2):171-5. [DOI:10.1002/jor.1100180202]

[38] Fatahi F, Sharifnejad A, Karimi M. [The relationship between maximum lower extremities joint moment with maximum vertical ground reaction force during single leg drop landing (Persian)]. Sport Medicine Studies. 2018; 9(22):101-18. [DOI:10.22089/smj.2017.3761.1214]

[39] Rosene JM, Fogarty TD, Mahaffey BL. Isokinetic hamstrings: Quadriceps ratios in intercollegiate athletes. Journal of Athletic Training. 2001; 36(4):378-83. [PMID]

[40] Dix J, Marsh S, Dingenen B, Malliaras P. The relationship between hip muscle strength and dynamic knee valgus in asymptomatic females: A systematic review. Physical Therapy in Sport. 2019; 37:197-209. [DOI:10.1016/j.ptsp.2018.05.015]

[41] Rabin A, Einstein O, Kozol Z. The association of visually-assessed quality of movement during jump-landing with ankle dorsiflexion range-of-motion and hip abductor muscle strength among healthy female athletes. Physical Therapy in Sport. 2018; 31:35-41. [DOI:10.1016/j.ptsp.2018.01.004]

[42] Strandberg S, Lindstrom M, Wretling ML, Aspelin PA, Shalabi A. Muscle morphometric effect of anterior cruciate ligament injury measured by computed tomography: Aspects on using non-injured leg as control. BMC Musculoskeletal Disorders. 2013; 14(150):1-9. [DOI:10.1186/1471-2474-14-150]

[43] Leporace G, Praxedes J, Pereira GR, Pinto SM, Chagas D, Metsavaht L, et al. Influence of a preventive training program on lower limb kinematics and vertical jump height of male volleyball athletes. Physical Therapy in Sport. 2013; 14(1):35-43. [DOI: 10.1016/j.ptsp.2012.02.005]

[44] Pfile kR, Hart JM, Herman DC, Hertel J, Kerrigan DC, Ingersoll CD. Different exercise training interventions and drop-landing biomechanics in high school female athletes. Journal of Athletic Training. 2013; 48(4):450–62. [DOI: 10.4085/1062-6050-48.4.06]

[45] Zifchock R, Parker R, Wan W, Neary M, Song J, Hillstrom H. The relationship between foot arch flexibility and medial-lateral ground reaction force distribution. Gait & Posture. 2019; 69:46-49. [DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.01.012]

[46] Yom J, Owens T, Arnett S, Beebe J, Son V. The effects of an unanticipated side-cut on lower extremity kinematics and ground reaction forces during a drop landing. Sport Biomechanics. 2019; 18(4):414-25. [DOI:10.1080/14763141.2017.1409795]

[47] Alonzo R, Teo C, Pan JW, Teng PSP, Sterzing T, Kong PW. Effects of basketball shoe midsole hardness on lower extremity biomechanics and perception during drop jumping from different heights. Applied Sciences. 2020; 10(10):3594. [DOI:10.3390/app10103594]

[48] Knihs DA, Zimmermann HB, Pupo JD. Acute and delayed effects of fatigue on ground reaction force, lower limb stiffness and coordination asymmetries during a landing task. Journal of Human Kinetics. 2021; 76:191-99. [DOI:10.2478/hukin-2021-0054]

[49] Aizawa J, Hirohata K, Ohji S, Ohmi T, Yagishita K. Limb-dominance and gender differences in the ground reaction force during single-leg lateral jump-landings. Journal of Physical Therapy Science. 2018; 30(3):387-92. [DOI:10.1589/jpts.30.387]

This Page Intentionally Left Blank