



## تأثیر تقویت ایزوله عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ بر ولگوس پویای زانو طی فرود تک پا

مهدی صفری بک: دانشجوی دکتری آسیب شناسی ورزشی و حرکت اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

خلیل خیام باشی: استاد، گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
\*نویسنده مسئول (dr.khayam@yahoo.com)

حامد اسماعیلی: استادیار، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
شهرام لنجان نژادیان: استادیار، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

### چکیده

#### کلیدواژه‌ها

آسیب ACL، قدرت عضلات هیپ، پیشگیری از آسیب، فرود، ولگوس زانو

**زمینه و هدف:** ولگوس زانو حین فرود یکی از ریسک فاکتورهای بیومکانیکی آسیب غیربرخوردی لیگامان صلیبی قدامی (ACL) است. بین ضعف عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ و ولگوس زانو ارتباط معنی داری وجود دارد. لذا هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر تقویت ایزوله عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ بر ولگوس پویای زانو طی فرود تک پا بود.

**روش کار:** سی دو مرد دارای ولگوس زانو بیش از ۸ درجه بصورت تصادفی در دو گروه تمرینی (۱۶ نفر) و کنترل (۱۶ نفر) قرار گرفتند. سپس گروه تمرینی سه جلسه در هفته و به مدت هشت هفته تمرینات تقویتی عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ را بصورت دو طرفه انجام دادند. در مرحله پیش و پس آزمون، قدرت عضلات هیپ با استفاده از دینامومتر ایزوکنتریک (کین کام) و اطلاعات کینماتیک طی سه حرکت پرش و فرود ثبت و زاویه ولگوس زانو با استفاده از نرم افزارهای QTM و Visual 3D محاسبه شد.

**یافته‌ها:** در خصوص قدرت عضلات هیپ و ولگوس زانو، نتایج تحلیل بین گروهی تفاوت معنی داری را نشان داد. آزمودنی‌های گروه تمرینی پس از ۸ هفته افزایش معنی داری به ترتیب در گشتاور کانسنتریک و اکسنتریک آبداکشن ( $P < 0.001$ )، ( $P = 0.004$ ) و اکسترنال روتیشن هیپ ( $P = 0.007$ )، ( $P = 0.001$ ) و نیز کاهش معنی داری را در حداکثر میزان و دامنه حرکت ولگوس زانو ( $P = 0.002$ )، ( $P = 0.004$ ) نشان دادند. در گروه کنترل هیچکدام از متغیرها تغییر معنی داری نداشت ( $P > 0.05$ ).

**نتیجه گیری:** هشت هفته تمرینات تقویتی ایزوله عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ در بهبود قدرت و راستای اندام تحتانی موثر بوده است. این تمرینات با کاهش زاویه ولگوس زانو ممکن است خطر بروز آسیب غیربرخوردی ACL را کاهش دهد.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: دانشگاه اصفهان

شیوه استناد به این مقاله:

Safari Bak M, Khayam Bashi K, Esmaeili H, Lenzhan Nezhadian S. The Effects of Isolated Hip Abductor and External Rotator Muscle Strengthening on Dynamic Knee Valgus During Single-Leg Landing. Razi J Med Sci. 2023;30(3): 48-59.

\*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با 3.0 CC BY-NC-SA صورت گرفته است.



## Original Article

## The Effects of Isolated Hip Abductor and External Rotator Muscle Strengthening on Dynamic Knee Valgus During Single-Leg Landing

**Mahdi Safari Bak:** PhD Student, Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**Khailil Khayam Bashi:** Professor, Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran (\*Corresponding author) [dr.khayam@yahoo.com](mailto:dr.khayam@yahoo.com)

**Hamed Esmacili:** Assistant Professor, Department of Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**Shahram Lenzhan Nezhadian:** Assistant Professor, Department of Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

### Abstract

**Background & Aims:** Anterior cruciate ligament (ACL) injury is regarded as one of the most frequent knee joint injuries. ACL injury is typically non-contact and occurs during activities such as cutting, accelerating, and landing after a jump. According to the video analysis, the mechanism of non-contact ACL injuries consist of several common components such as hip adduction and internal rotation, knee valgus, tibia external rotation, and ankle eversion; Combination of these components called "dynamic knee valgus". In this situation, the role of hip abductor and external rotator muscles is to eccentrically control hip adduction and internal rotation. In closed-kinetic-chain, adequate stability in hip joint provides better knee control. Evidence for this is seen in a reported greater hip abduction correlated with less knee valgus during single leg squat. Specifically, lower eccentric hip abductor peak torque is associated with higher peak knee valgus during landing. Although the literature showed the positive effects of the preventive programs, most of them include exercises that involve combination of muscles groups, so the mechanisms by which muscles group reduce dynamic knee valgus are unclear. To the best of our knowledge, no study has addressed the effectiveness of an isolated hip abductor and external rotator strengthening on dynamic knee valgus during jump-landing task. Therefore, the purpose of the current study was to determine whether an isotonic strengthening which targeting the hip abductor and external rotator would improve the dynamic knee valgus during landing. We hypothesized that dynamic knee valgus would improve post isolated hip abductor and external rotator strengthening program.

**Methods:** Present study is a randomized controlled trial carried out by single-blinded parallel group. Thirty-two males with knee valgus angle more than 8 degree were randomized into a training (n=16) or control group (n=16). In pre-screen session, in order to determine dynamic knee valgus eligibility for participants, subjects were asked to perform single-leg jump-landing task. Subjects landed forward from the 31-cm height box with their dominant leg onto a marked place at a distance of 40% their height. The subjects landed on their dominant leg and immediately performed a countermovement jump to achieve maximal height. A digital video camera was set up on tripod at the height of the subject's knee, 2 meter in front of the subjects landing place, and lined up vertical to the frontal plane. The frame that knee has highest medial displacement was exported into Auto CAD 2016 software (version 20.1) for calculation of knee dynamic valgus angle. In pre-test sessions, each subject warmed up for 5 minutes (walking and jogging around the laboratory at a self-selected pace), and then was instrumented with 40 retro-reflective markers. The positions of the markers were recorded at 200 Hz using a motion capture system (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) with eight Ocus cameras and were synchronized with a force plate (Kistler AG, made in Switzerland) collected data at 2000 Hz. Each subject completed an initial static, standing calibration trial to align local coordination system with global coordinate system, and then performed 3 attempts to single-leg jump-landing task (as described in pre-screen) with dominant leg (30 seconds rest between

### Keywords

ACL Injury,  
Hip Strength,  
Injury Prevention,  
Landing,  
Knee Valgus

Received: 08/04/2023

Published: 10/06/2023

each attempt). Eccentric and concentric peak torques of dominant leg hip abductor (side-lying position) and external rotator (seated position with 90° flexion in the hip and knee) were quantified by a single examiner using KinCom 500H isokinetic dynamometer (Chattecx Corp. Inc. Hixson, TN). The training group carried out 8 weeks of bilateral hip abductor and external rotator strengthening 3 times per week. Each session included 3 phases: 1: warm-up, 5 minutes Walking and jogging, 2: strengthening exercises, 35 minutes hip abductor and external rotator muscles exercises, 3: cool down, 5 minutes walking. In the post-test session, participants followed the same procedure used for the pre-test session. Each participant wore the same shoes in pre and post-test sessions to prevent injury and control footwear differences effect, and all tests were completed at the same time in pre and post-test sessions.

**Results:** During the course of the study, two subjects withdraw from the study due to personal problems (one subject in CG and one subject in TG) and one subject sustained injury due to an accident (in TG). So, data from 29 subjects were used for statistical analysis.

The ANCOVA evaluating changes in hip strength from baseline to the end of the 8-week hip strengthening program revealed a significant difference between TG and CG for concentric ( $P<0.001$ ) and eccentric hip abduction ( $P=0.002$ ) and concentric ( $P=0.007$ ) and eccentric hip external rotation ( $P=0.001$ ) peak torques. Paired-sample t tests were performed to determine the training effect on the hip muscle strength. At the post-test, the TG demonstrated greater concentric ( $1.6\pm 0.55$  vs  $2.01\pm 0.42$  Nm/Kg;  $P<0.001$ ) and eccentric hip abductor ( $1.41\pm 0.51$  vs  $1.77\pm 0.43$  Nm/Kg;  $P=0.004$ ) and concentric ( $0.94\pm 0.21$  vs  $1.07\pm 0.19$  Nm/Kg;  $P=0.01$ ) and eccentric hip external rotator ( $0.92\pm 0.18$  vs  $1.11\pm 0.21$  Nm/Kg;  $P<0.001$ ) peak torques compared with pre-test. No significant differences in muscle strength were observed for the control group between pre-test and post-test.

The ANCOVA evaluating changes in knee kinematic from baseline to the end of the 8-week hip strengthening program revealed a significant difference between TG and CG for peak knee valgus ( $P=0.02$ ) and knee valgus range of motion (ROM) ( $P=0.04$ ). After the 8-week intervention, the TG demonstrated lower peak ( $-5.62 \pm 7.36$  vs  $-2.74 \pm 5.94$ ;  $P=0.02$ ) and range of motion (ROM) on dynamic knee valgus angle ( $-9.66 \pm 5.56$  vs  $-7.31 \pm 3.87$ ;  $P=0.04$ ) compared with pre-test, whereas significant changes were not noted in the control group ( $P>0.05$ ).

**Conclusion:** Hip abductor and external rotator weakness is a well-documented impairment in subjects with increased dynamic knee valgus during landing and has been postulated to contribute to non-contact ACL injury. This study was conducted to investigate the effects of isolated hip abductor and external rotator exercises on lower extremity kinematic, as well as concentric and eccentric abductor and external rotator torques in male subjects who present with excessive dynamic knee valgus during landing. The most important finding of the current study was a reduction in peak and knee valgus range of motion during landing in training group. These changes might be due to an increase in concentric and eccentric hip abductor and external rotator peak torques in training group as a result of the 8-weeks resistance training. Our findings support the isolated hip abductor and external rotator strengthening as a viable preventive and rehabilitative exercises program option for subjects who shows excessive dynamic knee valgus impairment in the hope of preventing non-contact ACL injury.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** Isfahan University

#### Cite this article as:

Safari Bak M, Khayam Bashi K, Esmaeili H, Lenzhan Nezhadian S. The Effects of Isolated Hip Abductor and External Rotator Muscle Strengthening on Dynamic Knee Valgus During Single-Leg Landing. *Razi J Med Sci.* 2023;30(3): 48-59.

**\*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence.**

## مقدمه

مفصل زانو پس از مچ پا شایع‌ترین محل بروز آسیب‌های ورزشی بوده که شایع‌ترین آسیب آن نیز پارگی لیگامان متقاطع قدامی (Anterior Cruciate Ligament) (ACL) است (۱، ۲). آسیب ACL اغلب بصورت غیربرخوردی (۷۰٪) و طی حرکات ورزشی نظیر کاهش شتاب، چرخش، تغییر جهت و پرش-فرود رخ می‌دهد که نیروی خارجی زیادی را روی مفصل زانو اعمال می‌کند (۳-۵). ریسک فاکتورهای این آسیب به دو دسته اصلاح پذیر و اصلاح ناپذیر تقسیم می‌شوند. عوامل هورمونی و آناتومی جزء ریسک فاکتورهای اصلاح ناپذیر و عوامل عصبی-عضلانی و بیومکانیکی که بیشترین پتانسیل برای بروز آسیب را دارند، جزء ریسک فاکتورهای اصلاح پذیر طبقه‌بندی می‌شوند (۶، ۷). والگوس زانو (Knee valgus) حین فرود یکی از ریسک فاکتورهای بیومکانیکی اصلی آسیب غیربرخوردی ACL است (۸). تحقیقات نشان داده است که در هنگام فرود غیربرخوردی، انحراف زیاد والگوس زانو (۹ درجه یا بیشتر) رابطه بسیار قوی با آسیب ACL دارد و گشتاور والگوس زانو می‌تواند با حساسیت (Sensitivity) ۷۸٪ و اختصاصی بودن (Specificity) ۷۳٪ پیشگوی مناسبی برای آسیب ACL باشد (۸). بر همین مبنا تاکنون برنامه‌های پیشگیری از آسیب مختلفی با هدف اصلاح بیومکانیک اندام تحتانی طی فرود پس از پرش طراحی شده است که در این راستا Myer و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی که بر روی زنان جوان ورزشکار انجام دادند به این نتیجه رسیدند که ۶ هفته (۳ جلسه در هفته و به مدت ۹۰ دقیقه) تمرینات عصبی-عضلانی (شامل چهار بخش تمرینات پلیومتریک، ثبات مرکزی، تعادلی، مقاومتی و سرعتی) گشتاور والگوس زانو را ۲۸٪ و واروس را ۳۸٪ طی فرود پس از پرش کاهش داده است (۹). Chappell & Limpisvasti (۲۰۰۸) نیز تاثیر ۶ هفته (۶ جلسه در هفته و به مدت ۱۰-۱۵ دقیقه) تمرینات عصبی-عضلانی (شامل تمرینات ثبات مرکزی، تعادلی و ثبات پویای مفصل، تمرینات پرش و پلیومتریک) را بر کینتیک و کینماتیک اندام تحتانی طی دو حرکت فرود پس از پرش و توقف-پرش مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که پس از ۶ هفته گشتاور والگوس پویای زانو تنها طی حرکت

توقف-پرش کاهش معناداری داشته است (۱۰). علیرغم اثرات مثبت این برنامه‌ها متأسفانه غالب آنها شامل انواعی از تمرینات می‌باشد که گروه‌های عضلانی مختلفی را درگیر می‌سازد و این امر مانع از درک اثربخشی نوع خاصی از تمرینات در تغییرات بیومکانیکی اندام تحتانی بویژه مفصل زانو می‌شود.

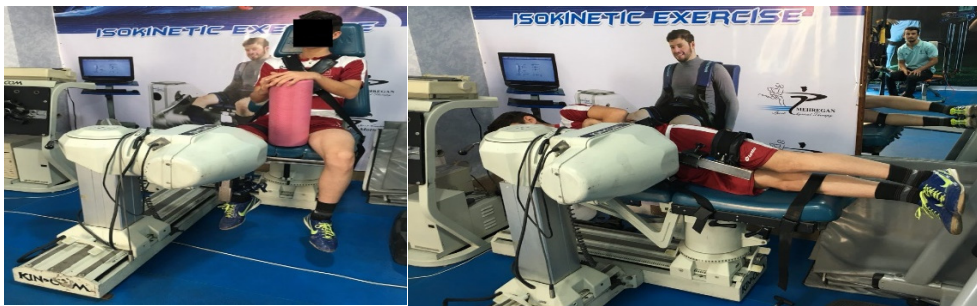
در دهه اخیر، قدرت عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ و ارتباط آن با آسیب‌های اندام تحتانی توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است و تحقیقات آنها نشان داده است که بین قدرت این عضلات و آسیب‌های سندروم درد کشککی رانی، سندروم ایلیوتیبیال باند و اسپرین مچ پا ارتباط وجود دارد (۱۱-۱۳). اخیراً نیز خیام‌باشی و همکاران (۲۰۱۶) به این نتیجه رسیدند که بین قدرت عضلات هیپ (آبداکتورها و اکسترنال روتاتورها) با آسیب غیربرخوردی ACL در زنان و مردان رابطه مستقیمی وجود دارد و با اندازه‌گیری آن در پیش فصل می‌توان میزان بروز این آسیب را پیش بینی کرد (۱۴).

آنالیز ویدیوئی آسیب غیربرخوردی ACL، ترکیب آدداکشن هیپ، چرخش داخلی ران، والگوس زانو، چرخش خارجی ساق و اورژن مچ پا را نشان می‌دهد که محققان ترکیب این وضعیت‌ها با یکدیگر را والگوس پویای زانو (Dynamic knee valgus) می‌نامند (۷، ۱۵، ۱۶). اما درحقیقت والگوس پویای زانو هنگام فرود ترکیبی از وضعیت‌های آدداکشن و چرخش داخلی ران می‌باشد، زیرا پا هنگام فرود روی زمین فیکس می‌شود و این افزایش حرکت در صفحه عرضی و فرونتال مفصل هیپ است که منجر به حرکت زانو به سمت داخل، دور شدن ساق و پرونیشن مچ پا می‌شود (۱۷). بنابراین باتوجه به اینکه عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ بصورت اکسنتریک دو حرکت آدداکشن و چرخش داخلی ران را کنترل می‌کنند (۲۰-۱۸)، محققین براین فرض هستند که با تقویت این عضلات می‌توان دو حرکت آدداکشن و چرخش داخلی ران را کنترل و درنتیجه والگوس زانو را طی فعالیت‌های پویا نظیر پرش-فرود کاهش داد. بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی تاثیر تقویت ایزوله عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ بر ولگوس پویای زانو طی فرود تک پا می‌باشد.

## روش کار

ایزوکنتیک (KinCom 500H Isokinetic Dynamometer) استفاده شد. قبل از انجام تست جزئیات کامل انجام تست قدرت برای آزمودنی‌ها تشریح و به آن‌ها اجازه داده شد تا پس از گرم کردن، تست را با ۳ تکرار زیر بیشینه تمرین کنند. سپس پس از دو دقیقه استراحت تست اصلی با ۵ تکرار و با حداکثر قدرت انجام شد. بین تست گروه‌های عضلانی به آزمودنی ۲ دقیقه اجازه استراحت داده می‌شد تا وضعیت دستگاه برای تست بعدی تنظیم شود. همه تست‌ها با سرعت ۶۰ درجه بر ثانیه انجام شد (۲۳). برای ارزیابی قدرت اکسنترنال روتاتورهای هیپ از آزمودنی خواسته می‌شود تا روی صندلی دینامومتر بشیند و مفصل هیپ و زانو او در زاویه ۹۰ درجه فلکشن قرار می‌گرفت. ران پای مورد تست و تنه فرد با استفاده از استرپ به دستگاه ثابت می‌شد. جهت جلوگیری از حرکت آبداکشن هیپ هنگام تست، یک فوم غلتان بین پاهای آزمودنی قرار می‌گرفت. محور چرخش دینامومتر همراستا با خط مفصل زانو تنظیم می‌شد. و تست قدرت کانسنتریک و اکسنتریک در دامنه حرکتی ۵ درجه چرخش داخلی هیپ (طبیعی) تا ۲۰ درجه چرخش خارجی هیپ و در مجموع ۲۵ درجه چرخش داخلی و خارجی انجام شد (تصویر ۱) (۲۴). برای ارزیابی قدرت عضلات آبداکتور آزمودنی در وضعیت خوابیده به پهلو قرار می‌گرفت، به‌گونه‌ای که پای مورد آزمون در بالا قرار داشت. پای زیرین و تنه توسط استرپ فیکس می‌شد. محور چرخش دینامومتر در راستای داخلی خار خاصه قدامی فوقانی و همسطح با برجستگی بزرگ ران پای مورد آزمون قرار می‌گرفت. و اهرم مقاومتی در قسمت خارجی و تحتانی ران قرار داده می‌شد. سپس از آزمودنی خواسته می‌شود تا حداکثر قدرت خود را علیه بازوی مقاوم در جهت آبداکشن پا اعمال نماید. گشتاور کانسنتریک و اکسنتریک عضلات آبداکتور در دامنه ۰ تا ۲۰ درجه آبداکشن اندازه‌گیری می‌شد (تصویر ۱) (۲۴). در نهایت برای هر فرد اوج گشتاورهای کانسنتریک و اکسنتریک بدست آمده به وزن بدن او نرمال می‌شد. برای ثبت متغیرهای کینماتیکی، ۴۸ مارکر بازتابی با قطر ۱۴ میلی‌متر براساس راهنمای مارکرگذاری نرم

تحقیق حاضر از نوع Randomized Control Trial (RCT) با دو گروه کنترل و تجربی و با طرح پیش آزمون و پس آزمون بود. جامعه آماری تحقیق را دانشجویان تربیت‌بدنی پسر دانشگاه غیرانتفاعی خاوران با دامنه سنی ۲۵-۲۰ سال تشکیل دادند که از بین آنها پس از ارزیابی‌های اولیه، تعداد ۳۲ نفر بصورت هدفمند و در دسترس انتخاب و پس از پر کردن فرم رضایت، به تساوی در دو گروه کنترل و تجربی قرار گرفتند. یکی از معیارهای اصلی ورود به تحقیق داشتن ولگوس بیش از ۹ درجه هنگام فرود تک پا بود. زیرا تحقیقات نشان داده است انحراف بیش از ۹ درجه یکی از ریسک فاکتورهای بیومکانیکی اصلی آسیب لیگامان صلیبی قدامی است (۲۱). دیگر معیارهای ورود به تحقیق شامل داشتن سابقه فعالیت در یکی از رشته‌های فوتبال، فوتسال، والیبال، هندبال و بسکتبال، نداشتن برنامه تمرینی منظم تقویت عضلات هیپ، نداشتن سابقه جراحی در اندام تحتانی، نداشتن آسیب در اندام تحتانی طی ۶ ماه قبل از انجام تحقیق، نداشتن هیچ‌گونه ناهنجاری قابل مشاهده در اندام تحتانی و نداشتن محدودیت در دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا بودند. برای اندازه‌گیری زاویه ولگوس جهت ارزیابی اولیه، از افراد خواسته شد تا با پای برتر از روی سکوی پرش ۳۱ سانتی‌متری روی نقطه علامت زده شده در فاصله ۴۰ درصدی قد خود فرود آمده و بلافاصله تا حداکثر ارتفاع ممکن به سمت بالا پرش نمایند (۲۲). دوربین فیلمبرداری همسطح با ارتفاع زانو روی سه‌پایه و در فاصله ۲ متری در مقابل فرد قرار گرفت. فریمی را که زانو دارای حداکثر انحراف بود به نرم افزار اتوکد (AutoCAD) (ورژن ۲۰۱۳، ساخت شرکت Autodesk، آمریکا) منتقل کرده و زاویه مورد نظر محاسبه می‌شد. هر فرد ۳ مرتبه حرکت پرش-فرود تک پا را انجام می‌داد. در صورتیکه فرد در ۲ تکرار از ۳ تکرار، زاویه ولگوس بیش از ۹ درجه را نشان می‌داد، جهت بررسی سایر معیارهای ورود انتخاب می‌شد. برای اندازه‌گیری اوج گشتاور اکسنتریک عضلات آبداکتور و اکسنترنال روتاتور هیپ پای برتر از دینامومتر

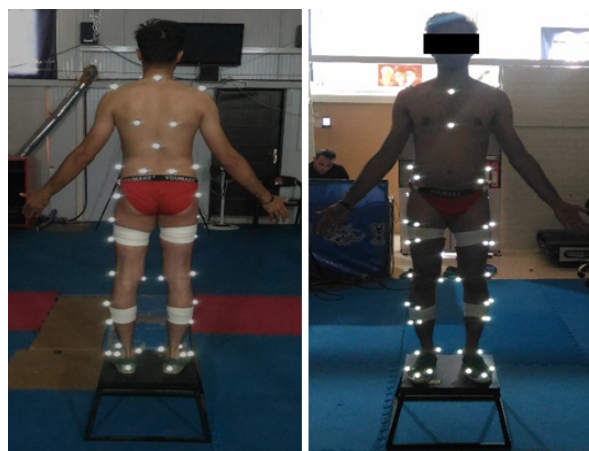


تصویر ۱- اندازه‌گیری قدرت عضلات آبدکتور و اکسترال روتاتور هیپ

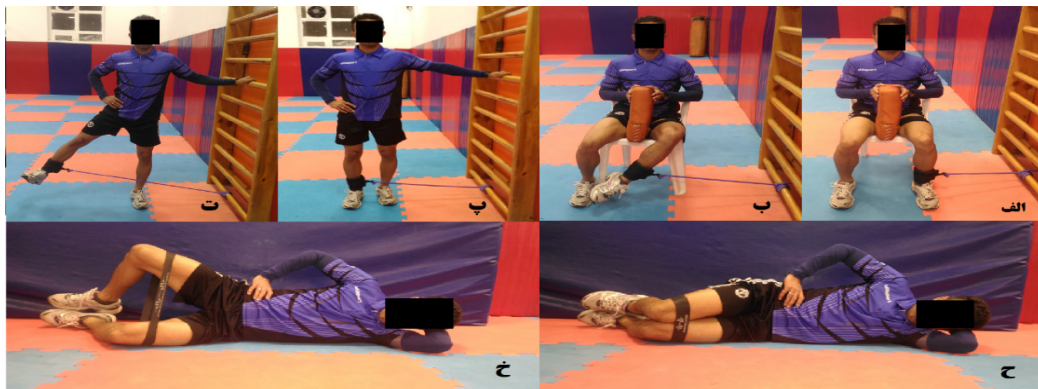
افزار Visual-3D (نسخه ۶، تولید شرکت c-motion، آمریکا) روی لند مارک های مهره هفتم گردنی، زانده آکرومیون چپ و راست، محل اتصال ترقوه به جناغ، زانده خنجر استخوان جناغ، زاویه تحتانی کتف راست و چپ، مهره دوازدهم پشتی، خار خاصه قدامی فوقانی چپ و راست، خار خاصه خلفی فوقانی چپ و راست، تاج خاصه چپ و راست، کندیل داخلی و خارجی مفصل زانوی چپ و راست، قوزک داخلی و خارجی پای چپ و راست و سر متاتارس اول، پنجم، پا شنه و نوک هر دو پا متصل شد. همچنین ۴ کلاستر که هر کدام شامل ۴ مارکر متصل به صفحات مستطیل شکل است به سطح قدامی-جانبی ساق و ران توسط استرپ متصل شدند. به منظور افزایش دید دوربین‌ها کلاسترها به فاصله مساوی بین سطح قدامی و جانبی ساق و ران افراد قرار داده شد (تصویر ۲).

قبل از اجرای حرکت فرود تک پا جهت هم‌راستا شدن Global coordination با local coordination system

system آزمودنی روی سکوی پرش و در وضعیت آناتومیک قرار می‌گرفت تا سیستم موقعیت فضایی مارکرها را ثبت نماید (تصویر ۲). سپس از فرد خواسته می‌شد تا ۳ مرتبه حرکت پرش-فرود را (بین هر کوشش ۳۰ ثانیه استراحت) از روی سکوی ۳۱ سانتی‌متری انجام دهد. سکو در فاصله ۴۰ درصدی قد آزمودنی نسبت به صفحه نیرو قرار داشت. از آزمودنی خواسته می‌شد تا از بالای سکو بگونه‌ای پرش انجام دهد که با پای برتر خود روی صفحه نیرو فرود آمده و بلافاصله تا حداکثر ارتفاع ممکن به سمت بالا پرش نماید. کوشش صحیح زمانی صورت می‌گرفت که آزمودنی درست روی صفحه نیرو فرود آمده و بدون از دست دادن تعادل یا برخورد پای دیگر با زمین، تا حداکثر ارتفاع ممکن رو به سمت بالا می‌پرید. موقعیت فضایی مارکرها توسط نرم افزار QTM (نسخه ۲/۱۲، تولید شرکت Qualysis، سوئیس) با فرکانس ۲۰۰ هرتز ثبت و با فرکانس برشی ۱۲ هرتز فیلتر شدند. در نرم افزار Visual-3D پس از



تصویر ۲- نقاط نصب مارکرهای بازتابی و اجرای تست استاتیک



**تصویر ۳-** تمرین تقویت عضلات اکسترنال روتاتور هیپ (الف); وضعیت شروع، (ب): وضعیت پایان. تمرین تقویت عضلات آبداکتور هیپ (پ): وضعیت شروع، (ت): وضعیت پایان. تمرین تقویت ترکیبی عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ (ح): وضعیت شروع، (خ): وضعیت پایان.

طول کش (۷۵ درصد طول اولیه) و هر دو هفته رنگ کش تغییر داده می‌شد. طول اولیه کش برای حرکت آبداکشن از خار خاصره قدامی فوقانی تا قوزک داخلی و برای حرکت اکسترنال روتیشن از تروکانتر بزرگ ران تا کندیل خارجی زانو تعیین می‌شد. در هفته سوم مجدد از آزمودنی می‌خواستیم تا حداکثر تعداد تکرار را با رنگ کش جدید اعلام و سپس ۸۰-۸۵٪ حداکثر تکرار پیشینه برای او تعیین می‌شد. حرکات با ریتم ۲-۰-۲ (۲ ثانیه انقباض کانسنتریک-۰ ثانیه انقباض ایزومتریک-۲ ثانیه انقباض اکسنتریک) در ۳ ست و با استراحت ۹۰ ثانیه بین هر ست انجام می‌شد. از افراد گروه کنترل خواسته شد تا تمرینات تقویتی عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ انجام ندهند و به فعالیت‌های معمول زندگی روزانه خود بپردازند.

تمام روند تحقیق زیر نظر کمیته اخلاق دانشگاه اصفهان با کد IR.UI.REC.1398.023 و ثبت کارآزمایی بالینی به شماره IRCT20190511043552N1 انجام شده است.

پس از جمع‌آوری داده‌ها برای اطمینان از نرمال بودن توزیع از آزمون شاپیرو-ویلک و برای همگنی واریانس‌ها از آزمون لون، برای تجزیه و تحلیل تغییرات درون گروهی از تی همبسته یا زوجی (مقایسه پیش‌آزمون و پس‌آزمون) و برای مقایسه بین گروهی از تحلیل کوواریانس (مقایسه گروه‌های تجربی و کنترل) استفاده و سطح معناداری آزمون‌ها ( $P < 0.05$ ) در نظر گرفته شد.

۵۴

ساخت مدل، برای تعیین زاویه ولگوس زانو، سگمنت ساق نسبت به ران با توالی چرخش کاردان (Cardan X-Y-Z Sequence) در نظر گرفته شد. سه کوشش صحیح جهت آنالیز استفاده شد. و حداکثر و دامنه ولگوس زانو در بازه زمانی فرود تا اوج فلکشن زانو در ۳ کوشش محاسبه و میانگین آن جهت تحلیل آماری در نظر گرفته شد. لحظه فرود با استفاده از داده‌های صفحه نیرو تعیین شد.

برنامه تمرینی: افراد گروه تجربی سه جلسه در هفته و به مدت هشت هفته تمرینات تقویتی ایزوله عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ را انجام دادند. هر جلسه تمرین شامل ۳ مرحله گرم کردن (۵ دقیقه راه رفتن و نرم دوی)، تمرینات قدرتی (۳۵ دقیقه تمرینات قدرتی ایزوله عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ) و سرد کردن (۵ دقیقه راه رفتن) بود (تصویر ۳). جهت ایجاد مقاومت از کش‌های ورزشی الاستیک تیوبی و لوپ ساخت کشور آمریکا با نام تجاری Thera-Band با ۴ رنگ آبی، بنفش، قره‌ای و مشکی استفاده شد. کش با رنگ آبی کمترین مقاومت و کش با رنگ مشکی دارای بیشترین مقاومت بود. هر آزمودنی برنامه تمرینی مختص خود را انجام می‌داد. قبل از شروع جلسه تمرین، به منظور تعیین تعداد تکرار، از آزمودنی خواسته می‌شد تا حداکثر تعداد تکراری را که می‌تواند با کش آبی انجام دهد را اعلام نماید، سپس ۸۰-۸۵٪ حداکثر تکرار پیشینه به عنوان تعداد تکرار برای هر ست در هفته اول تعیین می‌شد. جهت رعایت اصل اضافه بار هر هفته

**یافته‌ها**

در جریان تحقیق، ۲ آزمودنی به دلیل مشکلات شخصی (۱ نفر گروه کنترل و ۱ نفر گروه تمرینی) و ۱ آزمودنی در گروه تمرینی به دلیل آسیب دیدگی ناشی از تصادف از جریان تحقیق خارج و اطلاعات مربوط به ۲۹ آزمودنی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۱). در خصوص قدرت عضلات هیپ، نتایج درون گروهی نشان داد که افراد در گروه تمرینی پس از ۸ هفته بهبود معنی‌داری را در گشتاور کانسنتریک ( $P < 0.001$ ) و اکسنتریک ( $P = 0.004$ ) عضلات آبداکتور و گشتاور کانسنتریک ( $P = 0.01$ ) و اکسنتریک ( $P < 0.001$ ) عضلات اکسترنال روتاتور نشان داده‌اند. نتایج تجزیه و تحلیل کوواریانس نیز نشان می‌دهد که با حذف اثر پیش‌آزمون، اثر اصلی تمرینات قدرتی بر نمره‌های پس‌آزمون گشتاور کانسنتریک ( $P < 0.001$ ) و اکسنتریک ( $P = 0.002$ ) عضلات آبداکتور و گشتاور کانسنتریک ( $P = 0.007$ ) و اکسنتریک ( $P = 0.001$ ) عضلات اکسترنال روتاتور هیپ معنی‌دار است (جدول ۲).

در خصوص ولگوس زانو، نتایج درون گروهی نشان داد که در گروه تمرینی پس از ۸ هفته حداکثر زاویه ولگوس زانو ( $P = 0.02$ ) و دامنه حرکت ولگوس زانو ( $P = 0.02$ ) کاهش معنی‌داری داشته است. نتایج تجزیه

**جدول ۱- مشخصات آزمودنی‌ها**

متغیر	گروه کنترل	گروه تجربی
سن	۲۲/۶۶±۱/۷۹	۲۲/۳۵±۱/۸۲
قد	۱/۸±۰/۰۵	۱/۷۸±۰/۰۷
وزن	۷۱/۰۱±۱۱/۶۱	۷۰/۹۲±۱۱/۶

و تحلیل کوواریانس نیز نشان داد که با حذف اثر پیش‌آزمون، اثر اصلی تمرینات قدرتی بر نمره‌های پس‌آزمون حداکثر زاویه ولگوس زانو ( $P = 0.02$ ) و دامنه حرکت ولگوس زانو ( $P = 0.04$ ) معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲).

**بحث**

ولگوس زانو حین فرود یکی از ریسک فاکتورهای بیومکانیکی اصلی آسیب غیربرخوردی لیگامان ACL است. تحقیقات نشان داده است که در هنگام فرود غیربرخوردی، انحراف زیاد والگوس زانو می‌تواند پیشگوی مناسبی برای آسیب لیگامان ACL باشد (۸). از طرفی، ادبیات تحقیق به خوبی نشان داده است که بین ضعف عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ و ولگوس زانو ارتباط معنی‌داری وجود دارد (۲۵-۲۹). اما تاکنون تحقیقات محدودی در زمینه تاثیر تقویت این عضلات بر کینماتیک اندام تحتانی به‌ویژه والگوس زانو

**جدول ۲- نتایج گشتاور عضلات هیپ و زاویه ولگوس زانو**

متغیر	گروه	تغییرات درون گروهی		تغییرات بین گروهی	
		پیش آزمون	پس آزمون	P Value	P Value
گشتاور کانسنتریک آبداکشن	کنترل	۱/۶۵±۰/۳۸	۱/۶۳±۰/۳۷	۰/۷۲	>۰/۰۰۱*
	تمرینی	۱/۶±۰/۵۵	۲/۰۱±۰/۴۲	>۰/۰۰۱*	۰/۴±۰/۳۵
گشتاور اکسنتریک آبداکشن	کنترل	۱/۵۳±۰/۳	۱/۵۴±۰/۲۶	۰/۹۶	۰/۰۰۳*
	تمرینی	۱/۴۱±۰/۵۱	۱/۷۷±۰/۴۳	۰/۰۰۴*	۰/۳۶±۰/۳۹
گشتاور کانسنتریک اکسترنال روتیشن	کنترل	۰/۹۱±۰/۱۳	۰/۹۲±۰/۱۲	۰/۷۶	۰/۰۰۷*
	تمرینی	۰/۹۴±۰/۲۱	۱/۰۷±۰/۱۹	۰/۰۱*	۰/۱۳±۰/۱۷
گشتاور اکسنتریک اکسترنال روتیشن	کنترل	۰/۹۴±۰/۱۵	۰/۹۴±۰/۱۶	۰/۹۶	۰/۰۰۱*
	تمرینی	۰/۹۲±۰/۱۸	۱/۱۱±۰/۲۱	۰/۰۰۱*	۰/۱۸±۰/۱۶
حداکثر زاویه ولگوس زانو	کنترل	-۵/۱۴±۴/۱۳	-۵/۵۷±۴/۲۵	۰/۶۷	۰/۰۲*
	تمرینی	-۵/۶۲±۷/۳۶	-۲/۷۴±۵/۹۴	۰/۰۲*	۲/۸۷±۴/۲۲
دامنه حرکت ولگوس زانو	کنترل	-۸/۴۸±۵/۴۶	-۸/۵۶±۸/۵۵	۰/۹۱	۰/۰۴*
	تمرینی	۹/۶۶±۵/۵۶	-۷/۳۱±۳/۸۷	۰/۰۲*	۲/۳۴±۳/۴۷



ما از روش تصویربرداری دو بعدی برای اندازه‌گیری زاویه والگوس استفاده کردند. در خصوص تصویربرداری دوبعدی اعتقاد بر این است که حرکت زانو در صفحه فرونتال می‌تواند معرف میزان ولگوس زانو اندازه‌گیری شده به وسیله تکنیک سه‌بعدی باشد (۳۳). اما با توجه به اینکه بین اندازه‌های دوبعدی و سه‌بعدی ارتباط محکمی وجود ندارد (۳۳، ۳۴)، برخی محققان معتقدند که این روش حساسیت کافی برای ارزیابی ولگوس زانو را ندارد (۳۵). و از این روش تنها می‌توان برای غربالگری و شناسایی ورزشکاران در معرض خطر آسیب استفاده کرد (۳۶). از دیگر دلایل احتمالی عدم همخوانی می‌توان به مدت زمان کوتاه تمرینات تقویتی (۳ هفته) اشاره کرد. اعتقاد بر این است که بهبود قدرت عضلانی در کوتاه مدت عمدتاً ناشی از تغییرات در فعالسازی عصبی-عضلانی می‌باشد (۳۷). درحالی‌که برای افزایش قدرت بواسطه هایپرتروفی می‌بایست طول برنامه تمرین حداقل ۶ تا ۸ هفته باشد (۳۸).

با توجه به ادبیات پیشین تاکنون تنها ۲ تحقیق در زمینه تقویت ایزوله عضلات هیپ و تأثیر آن بر کینماتیک اندام تحتانی طی فرود انجام شده است. که بر خلاف نتایج ما، Herman و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که افزایش قدرت ایزومتریک عضلات چهارسر ران، همسترینگ، سرنی میانی و سرنی بزرگ در پی ۹ هفته تمرین با کشش مقاومتی و توپ‌های تمرینی نتوانسته است هیچ یک از متغیرهای کینماتیکی و کینماتیکی مفاصل هیپ و زانو را طی حرکت توقف-پرش (Stop-Jump) بهبود بخشد (۳۹). یکی از دلایل احتمالی عدم همخوانی را می‌توان به نوع آزمودنی‌ها نسبت داد. آزمودنی آنها ورزشکاران زنی بودند که بصورت تفریحی تا ۳ جلسه در هفته تمریناتی از قبیل بسکت‌بال، والیبال یا فوتبال انجام می‌دادند و این محققین هیچگونه معیار ورودی نظیر داشتن الگوی حرکتی غلط (ولگوس زانو) یا ضعف در عضلات ناحیه هیپ را برای انتخاب این افراد مد نظر قرار ندادند؛ لذا ممکن است آزمودنی‌ها در ابتدای تحقیق از قدرت کافی در عضلات هیپ و الگوی حرکتی صحیح برخوردار باشند، که این امر به نوبه خود می‌تواند یکی از عوامل

انجام شده است. لذا هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر تقویت ایزوله عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ بر ولگوس پویای زانو طی فرود تک پا می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که هشت هفته تمرینات مقاومتی توانسته است اوج گشتاور اکسنتریک و کانسنتریک عضلات آبداکتور ( $P=0/001$ )، ( $P=0/001$ ) و اکسترنال روتاتور ( $P=0/001$ )، ( $P=0/007$ ) را به ترتیب در گروه تجربی افزایش داده و حداکثر زاویه و دامنه حرکت والگوس زانو ( $P=0/02$ )، ( $P=0/04$ ) را بطور معنی‌داری کاهش دهد.

یکی از فرضیه‌های تحقیق ما این بود که هشت هفته برنامه قدرتی با کش‌های الاستیک مقاومتی می‌تواند قدرت اکسنتریک و کانسنتریک عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ را افزایش دهد. در حمایت از فرضیه ما گروه تجربی پس از هشت هفته تمرین به ترتیب ۲۵/۳۴ و ۲۵/۴۹ درصد افزایش در قدرت کانسنتریک و اکسنتریک عضلات آبداکتور و ۱۴/۴۳ و ۲۰/۱۹ درصد نیز افزایش در قدرت کانسنتریک و اکسنتریک عضلات اکسترنال روتاتور هیپ نشان دادند. این یافته‌ها با نتایج دیگر محققان که از کش‌های الاستیک مقاومتی برای تقویت عضلات هیپ استفاده کرده‌اند همخوانی می‌باشد (۳۰، ۳۱).

فرض دیگر ما بر این بود که افزایش یافتن قدرت اکسنتریک عضلات آبداکتور و اکسترنال روتاتور هیپ می‌تواند ولگوس پویای زانو را کاهش دهد. در تأیید فرضیه ما، نتایج تحقیق نیز نشان داد که افزایش یافتن قدرت اکسنتریک و کانسنتریک آبداکشن و اکسترنال روتیشن هیپ پس از هشت هفته تمرین در گروه تجربی توانسته است به ترتیب حداکثر زاویه و دامنه حرکت ولگوس زانو ( $P=0/02$ )، ( $P=0/04$ ) را بطور معنی‌داری کاهش دهد. برخلاف نتایج تحقیق ما Ferber و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که ۳ هفته تمرینات ایزوتونیک عضلات آبداکتور تأثیری بر زاویه والگوس در افراد مبتلا به سندروم درد کشکی-رانی (Patellofemoral pain syndrome) طی دویدن ندارد (۳۲). یکی از دلایل ناهمخوانی را می‌توان به روش اندازه‌گیری زاویه ولگوس نسبت داد. Ferber و همکاران (۲۰۱۱) برخلاف تحقیق

باید نتایج این تحقیق را نیز در آزمودنی‌های زن مورد بررسی قرار دهند. یکی دیگر از محدودیت‌های تحقیق عدم بررسی فعالیت الکتریکی عضلات هیپ بود. با وجود افزایش گشتاور کاذب سنتریک و اکسنتریک آبداکشن و اکسنترنال روتیشن هیپ و بهبود متغیرهای کینماتیکی در گروه تجربی و عدم تغییر در گروه کنترل، با ارزیابی فعالیت الکتریکی عضلات آبداکشن و اکسنترنال روتاتور هیپ می‌توان درک بهتری از مکانیسم تغییرات حاصله داشت. بنابراین پیشنهاد می‌گردد تا محققین بعدی در پی تمرینات قدرتی، فعالیت الکتریکی عضلات هیپ را نیز طی فرود مورد بررسی قرار دهند.

### نتیجه‌گیری

براساس نتایج پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که تمرینات قدرتی ایزوله عضلات آبداکشن و اکسنترنال روتاتور هیپ می‌تواند کینماتیک مفصل زانو را هنگام فرود تک پا بهبود بخشد. این تمرینات با کاهش ولگوس زانو، باعث بهبود راستای اندام تحتانی هنگام فرود و در نتیجه کاهش خطر بروز آسیب لیگامان ACL می‌گردند.

### تقدیر و تشکر

از تمام آزمودنی‌ها که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند، از جناب آقای عبدالله نژاد مسئول محترم آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد و جناب آقایان طالبی فرد و بهاری فر کمال تشکر و قدردانی را داریم

### References

1. Olsson O, Isacsson A, Englund M, Frobell R. Epidemiology of intra-and peri-articular structural injuries in traumatic knee joint hemarthrosis—data from 1145 consecutive knees with subacute MRI. *Osteoarthritis cartilage*. 2016;24(11):1890-7.
2. Conn J, Annest JL, Gilchrist J. Sports and recreation related injury episodes in the US population, 1997–99. *Inj Prev*. 2003;9(2):117-23.
3. McNair P, Marshall R, Matheson J. Important features associated with acute anterior cruciate ligament injury. *N Z Med J*. 1990;103(901):537-9.
4. Besier TF, Lloyd DG, Cochrane JL, Ackland TR. External loading of the knee joint during running and

اثر گذار جدی بر نتایج تحقیق با شد. در نقطه مقابل، در تحقیق ما داشتن والگوس زانو بیش از ۹ درجه یکی از معیارهای اصلی ورود به تحقیق بود. که این امر با استفاده از روش تصویر برداری دو بعدی صورت گرفت و تنها افرادی وارد تحقیق شدند که هنگام فرود تک پا پس از پرش، ولگوس زانو بیش از ۹ درجه را نشان می‌دادند. در تحقیقی دیگر Jackson و همکاران (۲۰۱۷) تاثیر تقویت ایزومتریک عضلات اکسنسور، آبداکشن و اکسنترنال روتاتور هیپ را بر ولگوس زانو مورد بررسی قرار دادند و علی‌رغم در نظر گرفتن معیار ورود (ولگوس بیش از ۹ درجه) به این نتیجه رسیدند که تمرینات ایزومتریک نمی‌تواند ولگوس زانو را هنگام حرکت فرود-پرش جفت پا (Drop Vertical Jump) کاهش دهد (۴۰). اما با این وجود در گروه تجربی پنج نفر کاهش ولگوس زانو را بصورت یکطرفه و دو نفر بصورت دو طرفه نشان دادند که این تغییرات از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. این محققین معتقدند که یکی از عوامل احتمالی عدم معنی‌داری تعداد کم آزمودنی (۷ نفر گروه تجربی و ۷ نفر گروه کنترل) و نوع تمرینات است. چراکه فرود یک حرکت دینامیک است و ولگوس زانو هنگام فرود ترکیبی از آدداکشن و چرخش داخلی هیپ می‌باشد (۱۷) و انتظار می‌رود در لحظه فرود عضلات آبداکشن و اکسنترنال روتاتور هیپ بتوانند بصورت اکسنتریک منقبض و آدداکشن و چرخش داخلی هیپ را کنترل نمایند. از این رو این محققین یکی از دلایل احتمالی عدم کاهش ولگوس را عدم تبدیل قدرت ایزومتریک بدست آمده در گروه‌های عضلانی اکسنسور، آبداکشن و اکسنترنال روتاتور هیپ را به قدرت اکسنتریک طی الگوی حرکتی دینامیک فرود نسبت دادند (۴۰).

تحقیق حاضر دارای محدودیت‌هایی است، یکی از این محدودیت‌ها بررسی روی آزمودنی‌های مرد بود. ادبیات پژوهشی اظهار داشته است که متغیرهای کینماتیکی هنگام فرود از جمله ولگوس زانو، فلکشن زانو و فلکشن هیپ و نیز قدرت عضلات ناحیه هیپ بین دو جنس متفاوت است (۲۵، ۲۶). لذا نمی‌توان نتایج تحقیق حاضر را به آزمودنی‌های زن تعمیم داد. تحقیقات آتی

- cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(7):1168-75.
5. Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics.* 2000;23(6):573-8.
6. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lázaro-Haro C, et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: a review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17(8):859-79.
7. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *Am J Sports Med.* 2006;34(2):299-311.
8. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492-501.
9. Myer GD, Ford KR, Palumbo JP, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):51.
10. Chappell JD, Limpisvasti O. Effect of a neuromuscular training program on the kinetics and kinematics of jumping tasks. *Am J Sports Med.* 2008;36(6):1081-6.
11. Beckman SM, Buchanan TS. Ankle inversion injury and hypermobility: effect on hip and ankle muscle electromyography onset latency. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995;76(12):1138-43.
12. Cichanowski HR, Schmitt JS, Johnson RJ, Niemuth PE. Hip strength in collegiate female athletes with patellofemoral pain. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(8):1227-32.
13. Hreljac A, Marshall RN, Hume PA. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(9):1635-41.
14. Khayambashi K, Ghoddosi N, Straub RK, Powers CM. Hip muscle strength predicts noncontact anterior cruciate ligament injury in male and female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2016;44(2):355-61.
15. Boden BP, Torg JS, Knowles SB, Hewett TE. Video analysis of anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 2009;37(2):252-9.
16. Hewett TE, Torg JS, Boden BP. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *Br J Sports Med.* 2009;43(6):417-22.
17. Powers CM. The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003;33(11):639-46.
18. Ireland ML, Willson JD, Ballantyne BT, Davis IM. Hip strength in females with and without patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003;33(11):671-6.
19. Zazulak BT, Ponce PL, Straub SJ, Medvecky MJ, Avedisian L, Hewett TE. Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005;35(5):292-9.
20. Homan KJ, Norcross MF, Goerger BM, Prentice WE, Blackburn JT. The influence of hip strength on gluteal activity and lower extremity kinematics. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23(2):411-5.
21. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt Jr RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492-501.
22. Thompson JA, Tran AA, Gatewood CT, Shultz R, Silder A, Delp SL, et al. Biomechanical effects of an injury prevention program in preadolescent female soccer athletes. *Am J Sports Med.* 2017;45(2):294-301.
23. Perrin D. Isokinetic exercise and assessment. *Human Kinetics Pub. Inc;* 1993.
24. Boling MC, Padua DA, Alexander Creighton R. Concentric and eccentric torque of the hip musculature in individuals with and without patellofemoral pain. *J Athl Train.* 2009;44(1):7-13.
25. Jacobs C, Mattacola C. Sex differences in eccentric hip-abductor strength and knee-joint kinematics when landing from a jump. *J Sport Rehabil.* 2005;14(4):346-55.
26. Jacobs CA, Uhl TL, Mattacola CG, Shapiro R, Rayens WS. Hip abductor function and lower extremity landing kinematics: sex differences. *J Athl Train.* 2007;42(1):76.
27. Baldon RdM, Lobato DFM, Carvalho LP, Santiago PRP, Benze BG, Serrão FV. Relationship between eccentric hip torque and lower-limb kinematics: gender differences. *J Appl Biomech.* 2011;27(3):223-32.
28. Claiborne TL, Armstrong CW, Gandhi V, Pincivero DM. Relationship between hip and knee strength and knee valgus during a single leg squat. *J Appl Biomech.* 2006;22(1):41-50.
29. Willson JD, Ireland ML, Davis I. Core strength and lower extremity alignment during single leg squats. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(5):945-52.
30. Khayambashi K, Mohammadkhani Z, Ghaznavi K, Lyle MA, Powers CM. The effects of isolated hip abductor and external rotator muscle strengthening on pain, health status, and hip strength in females with patellofemoral pain: a randomized controlled trial. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(1):22-9.
31. Smith BI, Curtis D, Docherty CL. Effects of hip strengthening on neuromuscular control, hip strength, and self-reported functional deficits in individuals with chronic ankle instability. *J Sport Rehabil.*

2018;27(4):364-70.

32. Ferber R, Kendall KD, Farr L. Changes in knee biomechanics after a hip-abductor strengthening protocol for runners with patellofemoral pain syndrome. *J Athl Train.* 2011;46(2):142-9.

33. McLean SG, Walker K, Ford K, Myer G, Hewett T, van den Bogert AJ. Evaluation of a two dimensional analysis method as a screening and evaluation tool for anterior cruciate ligament injury. *Br J Sports Med.* 2005;39(6):355-62.

34. 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.

35. Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, Walsh C, West J. The drop-jump screening test: difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *Am J Sports Med.* 2005;33(2):197-207.

36. Ekegren CL, Miller WC, Celebrini RG, Eng JJ, Macintyre DL. Reliability and validity of observational risk screening in evaluating dynamic knee valgus. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(9):665-74.

37. Moritani T. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med.* 1979;58(3): 115-30.

38. Lieber RL. Skeletal muscle structure, function, and plasticity: Lippincott Williams & Wilkins; 2002.

39. Herman DC, Weinhold PS, Guskiewicz KM, Garrett WE, Yu B, Padua DA. The effects of strength training on the lower extremity biomechanics of female recreational athletes during a stop-jump task. *Am J Sports Med.* 2008;36(4):733-40.

40. Jackson KM, Beach TA, Andrews DM. The Effect of an Isometric Hip Muscle Strength Training Protocol on Valgus Angle During a Drop Vertical Jump in Competitive Female Volleyball Players. *Int J Kinesiol Sports Sci.* 2017;5(4):1.