Journal of Research in Sport Rehabilitation
Vol 12. No 23. Spring 2024
59-72

WWW.RSR.BASU.AC.IR

The Effect of 6 Weeks of Neuromuscular Training on Landing-Jumping Pattern, Balance, and Knee Proprioception of Female Volleyball Players with High and Low Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury: A Randomized Controlled Study

MirValiollahzadeh, Zahra[1]; Mohammad Ali Nasab firouzjah, Ebrahim[2*]; Ghanizadeh Hesar, Narmin[3]

1. Masters of Sports Injury and Corrective Exercise, Department of Exercise Physiology and Corrective Exercise, Faculty of Sport Sciences, University of Urmia, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Exercise Physiology and Corrective Exercise, Faculty of Sport Sciences, University of Urmia, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Exercise Physiology and Corrective Exercise, Faculty of Sport Sciences, University of Urmia, Iran.

Received: August 2023; Accepted: September 2023

Keywords

Balance

volleyball player

Proprioception

Anterior cruciate ligament

Abstract

Background and Aim: The knee joint has been introduced as the most vulnerable part of the body in volleyball. the aim of this research is to the effect of 6 weeks of neuromuscular training on the landing-jumping pattern, balance, and knee proprioception of female volleyball players with high and low risk of anterior cruciate ligament injury.

Methods: forty female volleyball players were selected into two groups of high and low-risk ACL injury using the LESS test, and then each group was divided into two training and control groups. Dynamic and static balance, knee proprioception, and jump-landing patterns were evaluated. Neuromuscular exercises were performed for six weeks by the training group and then, the post-test was performed. dependent t-tests and covariance analysis were used to analyze the data.

Results: The results of the research showed that neuromuscular exercises have a significant effect on static and dynamic balance, proprioception, and landing-jump mechanics, But the effect of this exercise on the research components among the experimental groups (except for the landing error component ($p = 0.001$)) was not significant.

Conclusions: neuromuscular exercises improve dynamic and static balance, proprioception, and landing-jumping mechanics in both high and low-injury risk groups, and the effect of these exercises on the landing-jump component in the group with high injury risk is greater than in the group with low injury risk. This difference can be attributed to the basic neuromuscular weakness in the group with high injury risk.

* Corresponding Author: Tel:09112152182
✉ Email: ebrahim.mzb@gmail.com
Orcid Code: 0000-0001-9567-8209

Extended Abstract

Introduction

One popular sport that has gained many fans, especially in our country, is volleyball (1). Volleyball is widely recognized as both a recreational and competitive sport around the world, second only to football in terms of global popularity. Despite the many benefits of physical activity and sports, injuries are a common occurrence. Volleyball is considered a high-risk sport(6), and players are susceptible to various injuries such as shoulder, ankle, and knee injuries. Among these, knee joint injuries are particularly common and can inhibit athletes from participating in training and competition. A recent study aimed to investigate the effects of six weeks of neuromuscular training on the landing-jumping pattern, balance, and knee proprioception of female volleyball players at high and low risk of anterior cruciate ligament injury.

Method

The study's statistical population consists of forty young female volleyball players aged 14 to 18, selected purposefully from volleyball sports clubs in Khoy City. All participants were tested using the LESS (Landing Error Scoring System) test(22). The participants' maturity status was taken into account during the selection process. The study aimed to analyze errors in the jump-landing technique by reviewing video images recorded from two frontal and sagittal views of a person jumping and landing. The study included 40 participants, with 20 in each risk group. The high-risk group had an average height of 1.70m (± 0.04), an average weight of 66.60kg (± 4.07), an average age of 16.40 years (± 1.98), and an average LESS test score of 8.40 (± 0.58). The low-risk group had an average height of 1.72m (± 4.98), an average weight of 61.20kg (± 4.12), an average age of 16.64 years (± 15.98), and an average LESS test score of 4.65 (± 0.45). The participants were randomly assigned to control and exercise groups (10 people each) for further testing using the Y balance test to assess dynamic balance. First, the leg length was calculated. The stork balance test was used to evaluate static balance(25). The knee joint proprioception was measured using a universal goniometer (24), and the Landing Error Scoring System test (LESS) was used to check the landing-jump pattern.

Following the pre-test measurements, the training groups followed the Sportmetric neuromuscular training program, while the control group continued with their regular exercises. The Sportmetric program included stretching, strength, and jumping exercises, with three sessions per week and each session lasting about 60 minutes. After the six weeks, the tests were repeated.

Results

The results showed that neuro-muscular training has a significant effect on static and dynamic balance, proprioceptive and landing-jump mechanics, but the effect of this exercise on the research components among the experimental groups (except for the landing error component (P=0.001)), was not significant (p≥0.05).

Table1. The results of the covariance analysis test to compare static balance, dynamic balance and proprioception between groups

variable	F	df	P	Eta squared
Static balance	21.88	3	0.001	0.65
Overall balance score	12.00	3	0.001	0.50
proprioception	14.98	3	0.001	0.56

Discussion

The results of this research indicate that Sportmetric neuromuscular training significantly improves the dynamic and static balance of female volleyball players in both high and low-risk groups for anterior cruciate ligament (ACL) injury. However, there was no statistically significant difference observed between the two training groups. Additionally, the study showed that neuromuscular exercises have an effect on the level of knee joint proprioception in both high and low-risk groups of ACL injury among female volleyball players, but there was no statistically significant difference between the two training groups. Furthermore, the research demonstrated that neuromuscular exercises also influence landing-

jumping mechanics in both high and low-risk groups of ACL injury among female volleyball players. The results indicated a statistically significant difference between the training groups, with a greater effect observed in the high-risk group compared to the low-risk group.

Clinical application

The results of this research can be used to prevent the injury of athletes with high risk of ACL

Compliance with ethical guidelines

This study was conducted under the supervision of the Ethics Committee of the Research Institute of Physical Education and Sports Sciences under the number IR.SSRI.REC.1400.1262.

Author's Contribution

In the current research, data collection and article writing was done by Zahra MirValiollahzadeh, ideation and conceptualization of the research and data analysis by Ebrahim Mohammad Ali Nasab Firouzjah, and the final check by Narmin Ghanizadeh Hesar.

Acknowledgments

We thank all the athletes who participated in this research.

نشریه پژوهش در توانبخشی ورزشی
دوره ۱۲، شماره ۲۳، بهار ۱۴۰۳
۵۹-۷۲

WWW.RSR.BASU.AC.IR

تاثیر شش هفته تمرینات عصبی ــ عضلانی بر الگوی فرود ــ پرش، تعادل و حس عمقی زانو والیبالیست‌های دختر با ریسک بالا و پایین آسیب رباط صلیبی قدامی: یک مطالعه تصادفی شده کنترل دار

زهرا میرولی اله زاده[۱]، ابراهیم محمدعلی نسب فیروزجاه*[۲]، نرمین غنی زاده حصار[۳]

۱- کارشناس ارشد گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- استادیار، گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳ - استادیار، گروه فیزیولوژی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

دریافت: مرداد ۱۴۰۲؛ پذیرش: مهر ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

واژگان کلیدی

تعادل

والیبالیست

حس عمقی

رباط صلیبی قدامی

چکیده

زمینه و هدف: مفصل زانو آسیب‌پذیرترین اندام بدن در والیبال است. هدف تحقیق حاضر تأثیر شش هفته تمرینات عصبی ـ عضلانی بر الگوی فرود ـ پرش، تعادل و حس عمقی زانو والیبالیست‌های دختر با ریسک بالا و پایین آسیب رباط صلیبی قدامی بود.

روش بررسی: چهل والیبالیست خانم با استفاده از آزمون LESS در دو گروه ریسک آسیب بالا و پایین رباط صلیبی انتخاب شده، افراد هر گروه در دو گروه تمرینی و کنترل (۱۰ نفر در هر گروه) قرار گرفتند. تعادل پویا و ایستا، حس عمقی زانو و الگوی فرود ـ پرش ارزیابی شدند. تمرینات عصبی ـ عضلانی به مدت شش هفته توسط گروه تمرینی انجام و سپس، پس آزمون انجام شد. جهت تحلیل داده‌ها از آزمون‌های تی همبسته و تحلیل کوواریانس استفاده شد.

نتایج: نتایج نشان داد تمرینات عصبی_عضلانی تأثیر معناداری بر تعادل ایستا و پویا، حس عمقی و مکانیک فرود ـ پرش دارد، ولی تأثیر این تمرین روی مولفه های تحقیق در بین گروه‌های تجربی(به جز در مولفه خطای فرود (P=۰/۰۰۱))، معنادار نبود(p≥۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: تمرینات عصبی_عضلانی باعث بهبود تعادل پویا و ایستا، حس عمقی و مکانیک فرود ـ پرش در هردو گروه ریسک آسیب بالا و پایین می شود که تأثیر این تمرینات در مؤلفه فرود ـ پرش در گروه با ریسک آسیب بالا نسبت به گروه با ریسک آسیب پایین بیشتر است که این تفاوت را می‌توان به ضعف عصبی ـ عضلانی پایه در گروه با ریسک آسیب بالا نسبت داد.

* اطلاعات نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۱۲۱۵۲۱۸۲
پست الکترونیکی: ebrahim.mzb@gmail.com
کد ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۱-۹۵۶۷-۸۲۰۹

مقدمه

یکی از فعالیت‌های ورزشی که امروزه طرفداران زیادی را مخصوصا در کشور ما به خود جلب کرده است، ورزش والیبال می‌باشد. به طوری که بر اساس آمار فدراسیون جهانی والیبال، در حال حاضر حدود ۸۵۰ میلیون نفر در کل دنیا والیبال بازی می‌کنند (۱). ورزش والیبال یکی از رشته‌های ورزشی پر خطر محسوب می‌شود به طوری که تمام بازیکنانی که در این رشته ورزشی فعال هستند، در معرض آسیب های مختلفی قرار دارند (۲). همچنین شواهد نشان می‌دهد که میزان بروز آسیب زنان در این رشته ورزشی در تمرین و مسابقه به ترتیب ۶/۹۱ و ۷/۴۸ آسیب در هر ۱۰۰۰ ساعت است (۳) و حدود ۲۰ الی ۵۵/۷ درصد از آسیب‌های ورزشی والیبال، در بازیکنان نوجوان و جوان اتفاق می‌افتد (۴, ۵). بنابراین به نظر می‌رسد که والیبال می‌تواند به عنوان یک فعالیت ورزشی پر خطر و آسیب‌زا مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرد (۶).

والیبال ورزشی است که اصولا در آن برخورد بین بازیکنان بسیار کم است، اما صدمات حاد به اندام‌ها به ویژه مفاصل، در اثر برخورد با زمین بازی و همچنین پرش‌ها و فرودهای غیرمتعادل در حد زیادی وجود دارد. به طوری که پارگی لیگامان صلیبی قدامی (ACL) شایعترین آسیب زانو می‌باشد که شیوع بیشتری در بین ورزشکاران جوان ۱۵ تا ۲۵ ساله دارد و مکانیسم آن در بیشتر از ۸۵ درصد موارد به صورت غیربرخوردی است (۷, ۸). آسیب‌های ACL در بیشتر موارد در طی حرکات همراه با کاهش شتاب، فرود از پرش یا در جریان حرکات برشی همراه با وارد شدن بار بسیار زیاد بر زانو ایجاد می‌شوند (۹, ۱۰). در این بین، فرود پس از یک پرش، معمول‌ترین مکانیسم آسیب‌زا گزارش شده است، بدین صورت که تکنیک اشتباه در هنگام مانور فرود ـــ پرش می‌تواند باعث وارد شدن نیروی بسیار زیادی روی رباط صلیبی قدامی(ACL) و در نتیجه پارگی آن شود (۱۱).

یکی از مهارت‌های حرکتی پیچیده‌ای که پویایی وضعیت بدن فرد را در جلوگیری از افتادن توصیف می‌کند، حفظ تعادل است. این مهارت در ورزش‌هایی که به عکس العمل‌های سریع نیاز دارند، یک محافظت ذاتی در مقابل آسیب به حساب می‌آید. از این رو، ضعف تعادل در ورزشکاران، یکی از مهمترین علل ایجاد آسیب‌های ورزشی به شمار می‌آید که سبب وقوع آسیب‌های زیادی به ویژه در اندام تحتانی می‌شود. نقص در عملکرد حرکتی و نیز نقص در تعادل، می‌تواند باعث بالا رفتن میزان آسیب دیدگی اندام تحتانی به خصوص آسیب رباط صلیبی قدامی شود (۱۲). تحقیقات قبلی، نشانگر آن است که در ورزشکارانی که امتیاز شاخص تعادل (BIS)[1] آن‌ها بیشتر است، به علت کنترل عصبی ـ عضلانی ضعیف و نقص در تعادل، خطر بروز آسیب ACL در این افراد افزایش می‌یابد (۱۳). حس عمقی نیز یکی از عوامل مهمی است که در پیشگیری از آسیب نقش بسزایی دارد. حس عمقی؛ توانایی درک موقعیت فضایی مفصل و حرکات بدن، بدون بهره گیری از گیرنده‌های بینایی است (۱۴). هرگونه اختلال در حس عمقی باعث می‌شود که احتمال ایجاد آسیب در ورزشکاران زیاد شود. همچنین ثابت شده است که یکی دیگر از دلایل ایجاد آسیب رباط صلیبی قدامی کاهش حس عمقی می‌باشد (۱۵, ۱۶).

برنامه‌های تمرینی زیادی جهت پیشگیری از آسیب‌های ACL در سال‌های اخیر طراحی و اجرا شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به تمرینات عصبی ـــ عضلانی اشاره کرد. این تمرینات ترکیبی از تمرینات حس عمقی، تعادلی و قدرتی می‌باشند که با بهبود عملکرد سیستم عصبی ـــ عضلانی باعث افزایش ثبات پویای مفاصل و بهبود مکانیسم عصبی ـ عضلانی در ورزشکاران می‌شود (۱۷, ۱۸). مک لود و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که انجام شش هفته تمرینات عصبی ـــ عضلانی می‌تواند حس عمقی و تعادل پویا بسکتبالیست‌های جوان را بهبود بخشد (۱۹). هوت و همکاران (۱۹۹۹) نیز برنامه‌ای ترکیبی شامل انواع تمرینات انعطاف پذیری، تمرینات پلایومتریک و تحمل وزن را به همراه الگوی صحیح فرود برای بررسی اثر برنامه تمرینات عصبی ـ عضلانی ابداع کردند. این برنامه روی زنان بسکتبالیست، فوتبالیست و والیبالیست دبیرستانی اجرا شد. نتایج این برنامه که در حال حاضر اصلاح شده و به نام برنامه تمرینی Sportmetric شناخته می‌شود، بیانگر تاثیر کاهش معنی دار بر میزان آسیب‌های غیربرخوردی ACL بود (۲۰). اخیرا با استفاده از آزمون LESS افراد در معرض بالا و پایین

[1]. Balance index score

آسیب رباط صلیبی قدامی غربالگری می شوند و با توجه به این روش غربالگری امکان بررسی مداخلات پیشگیری از آسیب بر روی افراد پر ریسک و کم ریسک وجود دارد. بنابراین با توجه به پژوهش‌های پیشین دربارهٔ بررسی آسیب‌های والیبال، تاکنون در پژوهشی به مقایسهٔ تأثیر تمرینات عصبی ــ عضلانی بر الگوی فرود ــ پرش، تعادل و حس عمقی زانو در دو گروه بازیکنان با خطر آسیب بالا و پایین پرداخته نشده است؛ به همین دلیل در پژوهش حاضر قصد بر آن است با تقسیم‌بندی بازیکنان والیبال به دو دستهٔ دارای خطر آسیب بالا و پایین (با نمرات دریافت شده از آزمون سیستم امتیازدهی خطای فرود) پرداخته شود تا بتوان به بررسی تاثیر شش هفته تمرینات عصبی ــ عضلانی بر الگوی فرود ـــــ پرش، تعادل و حس عمقی زانو والیبالیست‌های دختر با ریسک بالا و پایین آسیب رباط صلیبی قدامی اقدام کرد.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع تحقیقات نیمه تجربی و کاربردی بود که دارای کد اخلاق به شماره IR.SSRI.REC.1400.1262 از پژوهشگاه علوم ورزشی ایران می‌باشد. جامعه آماری پژوهش حاضر شامل والیبالیست‌های نوجوان دختر ۱۴ تا ۱۸ سال شهرستان خوی در استان آذربایجان غربی بودند. نمونه‌های تحقیق حاضر شامل ۴۰ نفر با ریسک بالا و پایین آسیب رباط صلیبی قدامی بودند که به صورت هدفمند در چهار گروه شامل: گروه ریسک بالای آسیب ACL (شامل گروه کنترل و تجربی: هر کدام ۱۰ نفر) و گروه ریسک پایین آسیب ACL (شامل گروه کنترل و تجربی: هر کدام ۱۰ نفر) به صورت تخصیص تصادفی قرار گرفتند.

لازم به ذکر است با توجه محدودیت در پیدا کردن آزمودنی ها، تعداد آزمودنی ها بر اساس مطالعات پیشین به صورت حداقلی انتخاب شد. کلیه آزمودنی‌ها طبق معیار آزمون سیستم امتیازدهی خطای فرود (LESS)[1] و امتیاز کسب شده از طریق آزمون انتخاب شدند. بدین صورت که افراد با امتیاز ۵ و پایین‌تر به عنوان افراد با ریسک پایین آسیب و افراد با امتیاز ۶ و بالاتر به عنوان افراد با ریسک بالا آسیب رباط صلیبی قدامی تقسیم بندی شدند (۲۱). والیبالیست‌های دختر در رده سنی ۱۴ تا ۱۸ سال با ریسک بالا و پایین آسیب رباط صلیبی قدامی، داشتن چهار سال سابقه تمرین منظم در ورزش والیبال، عدم ابتلا به هر نوع ناهنجاری اسکلتی، شکستگی و یا بیماری خاص در تنه و اندام تحتانی، نداشتن سابقه عمل جراحی در اندام تحتانی یا تنه و نداشتن هیچ گونه آسیب و پارگی لیگامنت‌های زانو جزء معیارهای اصلی ورود به تحقیق حاضر بودند. داشتن سه جلسه غیبت در طول دوره برنامه تمرینی، عدم تمایل آزمودنی به ادامه برنامه تمرینی و بروز درد و آسیب دیدگی در طول روند اجرای تحقیق از معیارهای خروج از تحقیق حاضر بودند.

در این پژوهش قد آزمودنی‌ها با قدسنج و وزن آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال ارزیابی شد. جهت اجرای آزمون LESS از یک سکوی چوبی به ارتفاع ۳۰ سانتی متر استفاده شد. این آزمون یک ابزار میدانی بسیار ارزان قیمت بوده که خطاهای تکنیک فرود ـــــ پرش را در دامنه‌ای از آیتم‌های مشهود در حرکت انسان محاسبه می‌کند (۲۲). این امتیازدهی با بررسی تصاویر ویدیوئی ضبط شده از دو نمای فرونتال و ساجیتال از پرش و فرود شخص صورت می‌گیرد (۲۱). این سیستم دارای قابلیت اجرایی بالا و ارزیابی بالینی تکنیک‌های خطرزای فرود است که پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر آن به ترتیب عالی تا خوب گزارش شده است (۲۱). سیستم امتیازدهی خطای فرود ۱۷ آیتم دارد که در هر آیتم امتیاز صفر به عنوان حرکت صحیح و امتیاز ۱ به عنوان خطا در نظر گرفته می‌شود (۲۳). هر فرد روی سکوی ۳۰ سانتی متری به حالت ایستاده، پاها را به اندازه عرض شانه باز کرده و حرکت پرش را انجام داد و در جلوی سکو، در فاصله‌ای برابر با ۵۰ درصد قد خود فرود آمد، سپس بلافاصله یک پرش عمودی حداکثری را انجام داد (شکل ۱). در هنگام آموزش آزمون، تأکید شد که فرد به محض فرود از سکو، تا حد ممکن به سمت بالا بپرد. افراد ۳ پرش درست را انجام دادند و درصورتیکه فرد به فاصله افقی تعیین شده نمی‌رسید یا پس از فرود، پرش عمودی حداکثری را انجام نمی‌داد، آن نوبت حذف و حرکت فرود ـــــ پرش یکبار دیگر تکرار می‌شد (۲۱).

[1]. Landing error scoring system

شکل ۱- روش انجام آزمون LESS

ارزیابی حس عمقی

جهت ارزیابی حس عمقی از گونیامتر یونیورسال مدل پترسون استفاده شد. از آزمودنی خواسته شد که بر روی تخت طوری بنشیند که پاهایش از تخت آویزان باشد. سپس گونیامتر را روی مفصل زانو آزمودنی طوری قرار داده می شد که مرکز گونیامتر بر روی خط مفصلی خارج زانو قرار گیرد. بازوی متحرک، در راستای استخوان نازک‌نی و بازوی ثابت گونیامتر در راستای استخوان ران قرار گرفت. سپس آزمونگر به صورت غیرفعال زانو را به زاویه ۶۰ درجه می برد و از آزمودنی خواسته شد که به شرایط مفصل در این زاویه توجه کند و سپس با چشمان بسته سه مرتبه پای خود را به این زاویه برده و در هر زاویه سه تا پنج ثانیه مکث کند. در طول آزمون اعداد به دست آمده، اندازه‌گیری و ثبت شدند. اختلاف بین نتایج زوایا با یکدیگر مقایسه و همچنین جهت تحلیل زوایا از میانگین سه بار تکرار در هر زاویه استفاده شد و در نهایت اختلاف بین زاویه مورد نظر و میانگین سه تکراری که آزمودنی انجام داده بود، به عنوان نمره حس عمقی مورد استفاده قرار گرفت (۲۴).

شکل ۱- روش ارزیابی حس عمقی

اندازه گیری تعادل ایستا

جهت اندازه گیری تعادل ایستا از آزمون تعادلی لک لک استفاده شد. به صورتی که آزمودنی دست‌های خود را روی کمر قرار داد و درحالی که کف پای غیراتکا روی ناحیه داخلی ران پای اتکا کنار زانو قرار داشت، با حفظ این وضعیت تا حد ممکن روی سینه پای اتکا می ایستاد. در مدت زمان آزمون، آزمودنی به علامتی که در مقابل صورت او در فاصله چهار متری واقع شده بود نگاه می‌کرد. زمان حفظ این موقعیت به عنوان امتیاز هر آزمودنی در نظر گرفته شد. هر آزمودنی سه کوشش را انجام داد که بهترین زمان به عنوان امتیاز آزمودنی ثبت می شد (۲۵). پیش از اندازه‌گیری ابتدا به آزمودنی آموزش داده شد که وضعیت آزمون را چطور اتخاذ کند، پس از آن آزمودنی سه بار و با فاصله زمانی ۱۵ ثانیه استراحت به منظور از میان بردن اثر یادگیری و گرم کردن، آزمون را انجام می داد (۲۶).

ارزیابی تعادل پویا

جهت ارزیابی تعادل پویا از تست تعادلی Y استفاده شد. جهت شروع آزمون، طول واقعی پا یعنی از خار خاصره قدامی فوقانی تا قوزک داخلی پا، جهت نرمال کردن داده‌ها و مقایسه آزمودنی‌ها اندازه گیری شد. این تست برای هر آزمودنی دو مرتبه تکرار و میانگین گرفته شد؛ سپس میانگین محاسبه شده به عنوان طول پا استفاده گردید (۲۷). در این آزمون سه جهت که به صورت Y روی زمین رسم می‌شوند، با زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به هم تعبیه شده بودند. آزمودنی در مرکز جهات می ایستاد و سپس بر روی پای برتر قرار گرفت و با پای دیگر عمل دستیابی را انجام داده و به حالت طبیعی روی دوپا بر می گشت. آزمودنی با پنجه پای غیرتکیه گاه، دورترین نقطه ممکن را در هر یک از جهات تعیین شده لمس کرده، فاصله محل تماس تا مرکز، فاصله دستیابی تلقی شد که به سانتی متر اندازه‌گیری گردید. به منظور به حداقل رساندن اثرات یادگیری، هر آزمودنی شش بار این آزمون را در جهت‌های سه گانه انجام داد. جهت به دست آوردن نمره تعادل پویا در هر جهت، از میانگین سه تکرار اجرا شده، به صورت جداگانه از فرمول زیر استفاده شد (۲۸).

مداخله تمرینی

برنامه تمرینی که در این تحقیق استفاده شد، برنامه

تمرینی عصبی ـــ عضلانی بود که به مدت شش هفته، هر هفته سه جلسه و هر جلسه حدود ۶۰ دقیقه زیر نظر آزمونگر انجام شد (۲۰). ابتدای جلسه تمرینی با تمرینات کششی(۱۵-۲۰ دقیقه) شروع شد و سپس تمرینات پرشی انجام گرفت و بعد از آن تمرینات قدرتی انجام شد. تمرینات کششی به صورت ۳ ست ۳۰ ثانیه‌ای انجام شد. تمرینات تقویتی به صورت ۱ ست با ۱۲ تکرار برای بالا تنه و ۱۵ تکرار برای تنه و پایین تنه انجام شد. تمرینات تقویتی ۱۰-۱۵ دقیقه بعد از تمرینات پرشی انجام شد. بین هر تمرین قدرتی یک تا دو دقیقه زمان ریکاوری اختصاص داده شد. بعد از هر تمرین پرشی ۳۰ ثانیه استراحت انجام گرفت. تمرینات پرشی بلافاصله بعد از تمرینات کششی انجام شد. در تمرینات پرشی در مرحله تکنیک (فاز ۱): تکنیک پرش مناسب نشان داده و تمرین می شد. در مرحله بنیادی (فاز ۲): روی قدرت و چابکی تمرکز می شد و در مرحله عملکرد (فاز ۳): روی حداکثر ارتفاع پرش عمودی تمرکز می شد. بعد از اتمام تمرین: ۲ دقیقه پیاده روی و ۵ دقیقه کشش برای سرد کردن انجام می شد.

روش‌های آماری

جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده از روش‌های آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. جهت بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیروویلک استفاده شد. جهت مقایسه بین گروهی و درون گروهی میانگین متغیرهای تحقیق به ترتیب از آزمون‌های آنالیز کوواریانس و تی همبسته و ویلکاکسون و یو من ویتنی (برای داده های با توزیع غیرطبیعی داده ها) استفاده شد. کلیه عملیات آماری به وسیله نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام شد.

نتایج مطالعه

میانگین و انحراف استاندارد مشخصات فردی آزمودنی‌ها شامل سن، قد و وزن در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات دموگرافیک افراد مورد مطالعه

گروه‌ها	سن (انحراف استاندارد ± میانگین)	قد (انحراف استاندارد ± میانگین)	وزن (انحراف استاندارد ± میانگین)	فراوانی
گروه کنترل با ریسک پایین آسیب	۱۵/۲۸ ± ۱/۱۹	۱۷۱ ± ۳/۷۲	۶۱ ± ۴/۰۷	۱۰
گروه تمرین با ریسک پایین آسیب	۱۶/۷۱ ± ۱/۸۳	۱۷۳ ± ۶/۱۲	۶۰ ± ۱/۲۷	۱۰
گروه کنترل با ریسک بالا آسیب	۱۶/۴۸ ± ۱/۲۸	۱۶۹ ± ۴/۳۳	۶۷ ± ۴/۳۲	۱۰
گروه تمرین با ریسک بالا آسیب	۱۶/۳۲ ± ۲/۱۳	۱۷۰ ± ۴/۱۹	۶۴ ± ۳/۱۴	۱۰

نتایج حاصل از آزمون آنوا جهت مقایسه متغیرها نشان داد بین گروه‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری وجود ندارد. با توجه به غیرنرمال بودن توزیع داده‌ها در الگوی فرود ـ پرش از آزمون‌های آماری ناپارامتریک ویلکاکسون و یو من ویتنی جهت بررسی تفاوت‌های درون گروهی و بین گروهی استفاده شد. همچنین با توجه به نرمال بودن داده‌های سایر متغیرها که با آزمون شاپیروویلک مشخص شد، از آزمون‌های تحلیل کوواریانس و تی همبسته جهت مقایسه بین گروهی و درون گروهی استفاده شد.

جدول ۲- نتایج آزمون یو من ویتنی جهت مقایسه تفاوت‌های بین گروهی الگوی فرود_پرش

متغیر	گروه	گروه	m± sd	U	W	Z	P
الگوی فرود ـ پرش	گروه با ریسک آسیب پایین	کنترل	۳/۱۰ ± ۰/۹۹	۴۲/۵۰	۹۷/۵۰	-۰/۶۱	۰/۵۷
		تمرین	۲/۸۰ ± ۰/۶۳				
	گروه با ریسک آسیب بالا	کنترل	۶/۹۰ ± ۰/۸۷	۴۰/۵۰	۹۵/۵۰	-۰/۷۷	۰/۴۸
		تمرین	۶/۶۰ ± ۰/۶۹				

نتایج آزمون ویلکاکسون نشان داد که برنامه تمرینی در هر دو گروه با ریسک پایین (P=۰/۰۰۹) و بالا (P=۰/۰۰۴) تأثیر معناداری در کاهش نمره خطای فرود داشت. اما در گروه‌های کنترل پس از ۶ هفته تفاوت معناداری مشاهده

نشـــد. همچنین نتایج آزمون یو من ویتنی در پیش آزمون نشان داد بین گروه کنترل و تمرینی گروه‌های با ریسک بالا و پایین به صورت مجزا تفاوتی وجود ندارد. اما جهت تعیین اثر تمرین و تفاوت‌های ناشـی از آن در پس آزمون از آزمون آماری کروسـکال والیس اسـتفاده شـد که نتایج آن نشـان دهنـده وجود تفـاوت معنـادار بین گروه‌هـا بوده اســـت (P=۰/۰۰۱) به طوری که تأثیر این تمرینات در مؤلفه فرود ـ پرش در گروه با ریسک بالای آسیب ACL نسبت به گروه با ریسک پایین آسیب بیشتر بود.

همچنین نتایج آزمون تی همبســـته نشـــان دهنده اثر معنی دار برنامه تمرینی بر تعادل ایســـتا و پویا (به غیراز جهت خلفی داخلی در گروه با ریسک پایین آسیب) و حس عمقی در هر دو گروه با ریسک بالا و پایین آسیب بوده است (P<۰/۰۱).

جدول ۳- نتایج آزمون تحلیل کوواریانس جهت مقایسه بین گروهی تعادل ایستا، تعادل پویا و حس عمقی

متغیر	مراحل	گروه	میانگین¥	F	df	P	Eta squared
تعادل ایستا	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک پایین آسیب	۱۰/۶۷	۲۱/۸۸	۳	۰/۰۰۱**	۰/۶۵
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک پایین آسیب	۱۶/۶۹				
	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک بالا آسیب	۹/۹۶				
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک بالا آسیب	۱۶/۵۷				
جهت قدامی	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک پایین آسیب	۶۸/۴۱	۶/۵۴	۳	۰/۰۰۱**	۰/۳۵
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک پایین آسیب	۷۷/۲۱				
	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک بالا آسیب	۶۷/۰۷				
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک بالا آسیب	۷۷/۹۴				
جهت خلفی داخلی	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک پایین آسیب	۷۵/۵۲	۴/۵۵	۳	۰/۰۰۹**	۰/۲۸
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک پایین آسیب	۸۳/۴۱				
	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک بالا آسیب	۷۲/۹۲				
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک بالا آسیب	۸۲/۰۳				
جهت خلفی خارجی	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک پایین آسیب	۷۲/۶۷	۴/۷۵	۳	۰/۰۰۷**	۰/۲۹
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک پایین آسیب	۸۱/۹۱				
	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک بالا آسیب	۷۰/۲۳				
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک بالا آسیب	۸۰/۰۷				
نمره کلی تعادل	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک پایین آسیب	۷۱/۹۷	۱۲/۰۰	۳	۰/۰۰۱**	۰/۵۰
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک پایین آسیب	۸۰/۷۳				
	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک بالا آسیب	۷۰/۱۴				
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک بالا آسیب	۸۰/۳۱				
حس عمقی (درجه)	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک پایین آسیب	۳/۷۵	۱۴/۹۸	۳	۰/۰۰۱**	۰/۵۶
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک پایین آسیب	۲/۱۰				
	پس آزمون	گروه کنترل با ریسک بالا آسیب	۳/۶۹				
	پس آزمون	گروه تمرینی با ریسک بالا آسیب	۲/۴۰				

¥ میانگین تعدیل شده **معنی داری در سطح p<۰/۰۱

نتایج آزمون تحلیل کواریانس در ارزیابی تعادل ایستا، تعادل پویا و حس عمقی نشان دهنده وجود اختلاف معنادار بین گروه‌ها بوده که به منظور مقایسه نتایج گروه‌ها به صورت دو به دو، از آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان دهنده وجود اختلاف معنادار بین گروه‌های تمرینی و کنترل در تعادل ایستا، جهت‌های مختلف تعادل پویا و نمره کل آن و حس عمقی زانو در زاویه ۶۰ درجه بود (P<۰/۰۱)؛ اما این اختلاف بین دو گروه تمرینی از نظر آماری معنی دار نبود (P>۰/۰۵).

بحث

هدف از پژوهش حاضر تأثیر شش هفته تمرینات عصبی ـ عضلانی بر الگوی فرود ـ پرش، تعادل و حس عمقی زانو والیبالیست‌های دختر با ریسک بالا و پایین آسیب رباط صلیبی قدامی بود. نتایج پژوهش نشان داد که تمرینات عصبی_عضلانی می‌تواند باعث بهبود تعادل پویا و ایستا، حس عمقی و مکانیک فرود ـ پرش در هردو گروه ریسک آسیب بالا و ریسک آسیب پایین رباط صلیبی شود.

نتایج تحقیق حاضر در ارتباط با تعادل نشان داد که تمرینات عصبی ـ عضلانی بر تعادل پویا و ایستا والیبالیست-های دختر در هر دو گروه ریسک بالا و پایین آسیب رباط صلیبی قدامی تاثیر معناداری داشت و منجر به بهبود تعادل ایستا و پویا شد، ولی بین دو گروه تمرینی اختلاف معناداری از نظر آماری مشاهده نشد. نتایج تحقیق حاضر در زمینه تعادل با نتایج تحقیقات فیلیپا و همکاران (۲۰۱۰)، کال و همکاران (۲۰۰۹) و گوردان و همکاران (۲۰۱۳) همراستا بود (۳۱-۲۹). اما با نتایج تحقیقات ورهاگن و همکاران (۲۰۰۵)، کیم و همکاران (۲۰۱۶) و ارازی (۲۰۱۲) همراستا نبود (۳۲-۳۴). دلایل احتمالی افزایش تعادل پس از یک دوره برنامه تمرینی عصبی ـ عضلانی را شاید بتوان به بهبود قدرت، استقامت و بهبود کنترل عصبی عضلانی حاصل از تمرینات عصبی عضلانی ارائه شده در این تحقیق نسبت داد. آزمون-های تعادلی مانند (آزمون تعادلی ستاره و آزمون Y) که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته است، نیازمند کنترل عصبی ـ عضلانی برای موقعیت صحیح مفصل و قدرت ساختمان عضلانی اطراف مفصل حین انجام تست می‌باشد (۳۵). بنابرین دامنه حرکتی مناسب، فعالیت گیرنده‌های عمقی، قدرت و کنترل عصبی ـ عضلانی در حین انجام تست تعادل، در اندام تحتانی بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۳۶). قدرت عضلانی در عضلات احاطه کننده و عمل کننده بر مفصل و هم انقباضی در این عضلات، جهت تثبیت مفاصل اندام تحتانی در پای اتکا، دامنه حرکتی مناسب، فعالیت گیرنده‌های عمقی و کنترل عصبی ـ عضلانی جهت حفظ تعادل هنگام انجام عمل دستیابی برای حصول بیشترین فاصله، دارای اهمیت خاصی می‌باشد که این اهمیت در نتایج آزمون تعادل ایستا نیز مبرهن و مشخص است. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق، استفاده از تمرینات عصبی ـ عضلانی تحقیق حاضر برای بهبود تعادل ایستا و پویا در والیبالیست‌های دختر با ریسک بالا و پایین آسیب رباط صلیبی قدامی پیشنهاد می‌شود.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تمرینات عصبی ـ عضلانی بر میزان حس عمقی مفصل زانو در هر دو گروه ریسک بالا و پایین آسیب رباط صلیبی قدامی تأثیر معناداری داشت. ولی بین دو گروه تمرینی از نظر آماری اختلاف معناداری مشاهده نشد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات لی و همکاران (۲۰۱۴)، افتخاری و همکاران (۲۰۱۳) و کوگ و همکاران (۲۰۱۲) همراستا بود (۳۷-۳۹). اما با نتایج تحقیقات ریبو و همکاران (۲۰۱۰) و پاهل و همکاران (۲۰۱۵) همراستا نبود (۴۰, ۴۱). تمرین و فعالیت ورزشی منظم یکی از استراتژی‌های مهم برای کاهش نقص در حس عمقی مفاصل می‌باشد (۴۲). تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان داده‌اند که برنامه‌های تمرینی خاصی اثرات قابل ملاحظه‌ای در افزایش توانایی‌های حس عمقی، عصبی ـ عضلانی و به طور کلی بر عملکرد بهتر مفصل زانو داشته‌اند. اکثر این برنامه‌ها به عنوان برنامه‌های عصبی ـ عضلانی ارائه شده‌اند و به طور موفقیت‌آمیزی در پیشگیری و کاهش خطر آسیب‌های لیگامنتی مفصل زانو عمل کرده‌اند. این نوع برنامه‌ها از تمرینات مختلفی همچون تمرینات قدرتی، حس عمقی/ تعادلی، پلایومتریک و مهارتی تشکیل شده‌اند (۴۳). محققان، معتقدند که نقص‌های عصبی ـ عضلانی، حس عمقی مفصل زانو را در حرکاتی مانند فرود ـ پرش و حرکات برشی دچار نقص کرده و در نهایت فرد را مستعد آسیب لیگامان متقاطع قدامی می‌سازد (۴۴). در نهایت می‌توان بیان کرد احتمالا تمرینات عصبی ـ عضلانی با ایجاد سازگاری‌های حسی حرکتی و هماهنگی‌های عصبی عضلانی باعث بهبود در حس موقعیت مفصل زانو می‌شود. بر این اساس به نظر می‌رسد، یک برنامه عصبی ـ عضلانی کامل، با درگیر و فعال کردن مناسب تمام عضلات بتواند از طریق افزایش عملکرد حس عمقی، در کاهش آسیب‌های ورزشی موثر باشد. از جمله دلایل احتمالی عدم تفاوت بین دو گروه در ارتباط با متغیر حس عمقی را شاید بتوان به نیازهای اختصاصی و ویژه گروه با ریسک بالای آسیب رباط صلیبی قدامی نسبت داد؛ چرا که حس عمقی مولفه ای چند عاملی بوده که تحت تاثیر پارامترهای مختلف مانند عوامل عضلانی، عصبی و بیومکانیکی و ... است که این عوامل در افراد با ریسک بالای آسیب رباط صلیبی قدامی دارای سطوح متفاوتی هستند. با

این حال تمرینات تاثییر معناداری بر حس عمقی هر دو گروه داشتند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تمرینات عصبی ـ عضلانی بر میزان مکانیک فرود ـ پرش در گروه با ریسک بالا نسبت به گروه با ریسک پایین آسیب تاثیر بیشتری داشت که این اختلاف از نظر آماری معنادار بود. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق روسلر و همکاران (۲۰۱۶) همراستا بود (۴۵). اما با نتایج تحقیقات پارسونس و همکاران (۲۰۱۷) و روت و همکاران (۲۰۱۵) همراستا نبود (۴۶, ۴۷). از دلایل اثربخشی تمرینات عصبی_عضلانی تحقیق حاضر روی مکانیک فرود ـ پرش والیبالیست‌های دختر می‌توان به نوع تمرینات استفاده شده در این برنامه تمرینی اشاره کرد. بسیاری از فاکتورهایی که می‌توانند در اثربخشی یک برنامه تمرینی در پیشگیری از آسیب و بهبود مکانیک فرود ـ پرش تاثیر مثبتی داشته باشند، مانند تمرینات تقویت ثبات مرکزی، قدرتی، دویدنی، کششی، تعادلی و آگاهی نسبت به راستای اندام تحتانی، در این برنامه تمرینی در نظر گرفته شده است (۴۸). یکی از ویژگی‌های تمرینات عصبی ـ عضلانی این است که این تمرینات، به خوبی عضلات ثبات دهنده مرکزی را فعال می‌کنند که این کار موجب افزایش توانایی ورزشکاران در کنترل کردن تنه، کنترل مناسب اندام تحتانی و مفصل زانو در هنگام فرود از یک پرش می‌شود و شاید بتوان کاهش نمره آزمون LESS در گروه‌های تمرینی تحقیق حاضر را به همین موضوع نسبت داد (۴۶). همچنین تمرینات عصبی ـ عضلانی موجب تعامل بهتر سیستم عصبی ـ عضلانی می‌شود که این امر می‌تواند عملکرد مفصل زانو را در حرکات پرش و فرود بهبود بخشد (۴۹). از طرفی دیگر می توان بیان کرد چون ورزشکاران با ریسک بالای آسیب ACL احتمالا از کنترل عصبی ـ عضلانی ضعیف تری برخوردارند لذا میزان تاثیرپذیری آنها در مکانیک فرود نسبت به افراد کم ریسک بیشتر بوده است و این موضوع سبب ایجاد تفاوت معنادار بین دو گروه در مورد نمره خطای فرود شده است. از جمله محدودیت های تحقیق حاضر می توان به در دسترس بودن تعداد نمونه های با ریسک بالای آسیب رباط صلیبی قدامی و همچنین عدم توانایی در کنترل سطح انگیزه و تغذیه آزمودنی ها اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق، استفاده از برنامه تمرینات تمرینات عصبی_عضلانی تحقیق حاضر به مربیان و ورزشکاران این رشته ورزشی جهت کاهش خطر ایجاد آسیب‌های ورزشی پیشنهاد می‌شود. همچنین با توجه به اینکه تأثیر این تمرینات در مکانیک فرود ـ پرش در گروه با ریسک بالا آسیب ACL نسبت به گروه با ریسک پایین آسیب ACL بیشتر بود، پیشنهاد می‌شود این تمرینات در بهبود مکانیک فرود ـ پرش بازیکنان با ریسک بالا آسیب به میزان بیشتری استفاده شود.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه زیر نظر کمیته اخلاق پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی به شماره IR.SSRI.REC.1400.1262 انجام شد.

حمایت مالی

در این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی استفاده نشد.

نقش نویسندگان

در تحقیق حاضر جمع آوری داده ها و نگارش مقاله با زهرا میر ولی اله زاده، ایده پردازی و مفهوم سازی کار و تجزیه و تحلیل داده ها با ابراهیم محمدعلی نسب فیروزجاه و بازبینی نهایی با نرمین غنی زاده حضار بود.

تشکر و قدردانی

از تمامی ورزشکارانی که در تحقیق حاضر شرکت کردند تشکر می نماییم.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

References

1. Bahr R, Reeser JC. New guidelines are needed to manage heat stress in elite sports–The Fédération Internationale de Volleyball (FIVB) Heat Stress Monitoring Programme. British Journal of Sports Medicine. 2012;46(11):805-9.
2. Ritchie P. Sports injuries :Mechanisms, prevention, treatment. Elsevier; 2003;19(4):448.
3. Baugh CM, Weintraub GS, Gregory AJ, Djoko A, Dompier TP, Kerr ZY. Descriptive epidemiology

of injuries sustained in National Collegiate Athletic Association men's and women's volleyball, 2013-2014 to 2014-2015. Sports health. 2018;10(1):60-9.

4. Young WK, Briner W, Dines DM. Epidemiology of common injuries in the volleyball athlete. Current reviews in musculoskeletal medicine. 2023;16(6):229-34.

5. Vanderlei FM, Bastos FN, Tsutsumi GYC, Vanderlei LCM, Júnior JN, Pastre CM. Characteristics and contributing factors related to sports injuries in young volleyball players. BMC research notes. 2013;6:1-7.

6. Rajabi R, Alizadeh MH, Zabih Hosseinian M. Investigating the prevalence, type and possible causes of sports injuries among male volleyball players in the Premier League of Iranian clubs. Research in sports science. 2007;14(4):125-38. (In Persian)

7. Mary LI. The female ACL: why is it more prone to injury? Orthopedic Clinics of North America. 2002;33(4):637-51.

8. Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. SLACK Incorporated Thorofare, NJ; 2000. p. 573-8.

9. Gabler CM. The Effectiveness of Neuromuscular Training on a Modifiable Anterior Cruciate Ligament Injury Risk Factor: Ohio University. 2012.

10. Dai B, Herman D, Liu H, Garrett WE, Yu B. Prevention of ACL injury, part I: injury characteristics, risk factors, and loading mechanism. Research in sports medicine. 2012;20(3-4):180-97.

11. Onate J, Cortes N, Welch C, Van Lunen B. Expert versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. Journal of sport rehabilitation. 2010;19(1):41-56.

12. Hewett TE, Myer GD. Reducing knee and anterior cruciate ligament injuries among female athletes–a systematic review of neuromuscular training interventions. The journal of knee surgery. 2005;18(01):82-8.

13. Schnurrer-Luke Vrbanić T, Ravlić-Gulan J, Gulan G, Matovinović D. Balance index score as a predictive factor for lower sports results or anterior cruciate ligament knee injuries in Croatian female athletes–preliminary study. Collegium antropologicum. 2007;31(1):253-8.

14. Roberts D, Ageberg E, Andersson G, Friden T. Effects of short-term cycling on knee joint proprioception in healthy young persons. The American journal of sports medicine. 2003;31(6):990-4.

15. Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL. Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. The American Journal of Sports Medicine. 1989;17(1):1-6.

16. Tropp H, Ekstrand J, Gillquist J. Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. Medicine and science in sports and exercise. 1984;16(1):64-6.

17. Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, Knarr JF, Thomas SD, Griffin LY, et al. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. The American journal of sports medicine. 2005;33(7):1003-10.

18. Myklebust G, Engebretsen L, Brækken IH, Skjølberg A, Olsen O-E, Bahr R. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. Clinical journal of sport medicine. 2003;13(2):71-8.

19. McLeod TCV, Armstrong T, Miller M, Sauers JL. Balance improvements in female high school basketball players after a 6-week neuromuscular-training program. Journal of sport rehabilitation. 2009;18(4):465-81.

20. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. The American journal of sports medicine. 1999;27(6):699-706.

21. Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett Jr WE, Beutler AI. The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: the JUMP-ACL study. The American journal of sports medicine. 2009;37(10):1996-2002.

22. Parkkari J, Pasanen K, Mattila VM, Kannus P, Rimpelä A. The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: a population-based cohort study of 46 500 people with a 9 year follow-up. British journal of sports

medicine. 2008;42(6):422-6.

23. Beutler AI, Sarah J, Marshall SW, Padua DA, Boden BP. Muscle strength and qualitative jump-landing differences in male and female military cadets: The jump-ACL study. Journal of sports science & medicine. 2009;8(4):663.

24. Li L, Ji Z-Q, Li Y-X, Liu W-T. Correlation study of knee joint proprioception test results using common test methods. Journal of physical therapy science. 2016;28(2):478-82.

25. Hammami R, Chaouachi A, Makhlouf I, Granacher U, Behm DG. Associations between balance and muscle strength, power performance in male youth athletes of different maturity status. Pediatric Exercise Science. 2016;28(4):521-34.

26. Deshpande N ,Connelly DM, Culham EG, Costigan PA. Reliability and validity of ankle proprioceptive measures. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2003;84(6):883-9.

27. Earl JE, Hertel J. Lower-extremity muscle activation during the star excursion balance tests. Journal of sport rehabilitation. 2001;10(2):93-104.

28. Coughlan GF, Fullam K, Delahunt E, Gissane C, Caulfield BM. A comparison between performance on selected directions of the star excursion balance test and the Y balance test. Journal of athletic training. 2012;47(4):366-71.

29. Filipa A, Byrnes R, Paterno MV, Myer GD, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. Journal of orthopaedic & sports physical therapy. 2010;40(9):551-8.

30. Kahle NL, Gribble PA. Core stability training in dynamic balance testing among young, healthy adults. Athletic Training & Sports Health Care. 2009;1(2):65-73.

31. Gordon AT, Ambegaonkar JP, Caswell SV. Relationships between core strength, hip external rotator muscle strength, and star excursion balance test performance in female lacrosse players. International journal of sports physical therapy. 2013;8(2):97.

32. Verhagen E, Bobbert M, Inklaar M, van Kalken M, van der Beek A, Bouter L, et al. The effect of a balance training programme on centre of pressure excursion in one-leg stance. Clinical Biomechanics. 2005;20(10):1094-100.

33. Kim Y-Y, Park S-E. Comparison of whole-body vibration exercise and plyometric exercise to improve isokinetic muscular strength, jumping performance and balance of female volleyball players. Journal of Physical Therapy Science. 2016;28(11):3140-4.

34. Arazi H. Effects of high-intensity plyometric training on dynamic balance, agility, vertical jump and sprint performance in young male basketball players. Journal of sport and health research. 2012;4(1):35-44.

35. Gribble PA, Hertel J. Considerations for normalizing measures of the Star Excursion Balance Test. Measurement in physical education and exercise science. 2003;7(2):89-100.

36. Olmsted LC, Carcia CR, Hertel J, Shultz SJ. Efficacy of the star excursion balance tests in detecting reach deficits in subjects with chronic ankle instability. Journal of athletic training. 2002;37(4):501.

37. Lee SJ, Ren Y, Chang AH, Geiger F, Zhang L-Q. Effects of pivoting neuromuscular training on pivoting control and proprioception. Medicine and science in sports and exercise. 2014;46(7):1400.

38. Eftekhari S, Khyambashi Kh, Minasian V, Yousefzadeh M. Evaluating the effact of eight weeks strength and plyometric trainings on knee joint position sense. Research in sports medicine and technology. 2013; 11 (5) :63-73. (In Persian)

39. Cuğ M, Ak E, Özdemir RA, Korkusuz F, Behm DG. The effect of instability training on knee joint proprioception and core strength. Journal of sports science & medicine. 2012;11(3):468.

40. Ribeiro F, Oliveira J. Effect of physical exercise and age on knee joint position sense. Archives of gerontology and geriatrics. 2010;51(1):64-7.

41. Pohl T, Brauner T, Wearing S, Stamer K, Horstmann T. Effects of sensorimotor training volume on recovery of sensorimotor function in patients following lower limb arthroplasty. BMC musculoskeletal disorders. 2015;16:1-9.

42. Williamson A. NSW Injury Risk Management Research Centre. New South Wales Public Health Bulletin. 2002;13(4):70-1.

43. Shahhosseini Gh, Rahmani A, Ebrahimi takamjani E, Shatarzadeh MJ, Keyhani MR. A comparative study of the effect of running forward and backward in the balance board exercise program on

static balance. Journal of Iran University of Medical Sciences. 2001;24(8):163-167. (In Persian)

44. Hewett TE, Ford KR, Hoogenboom BJ, Myer GD. Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations-update 2010. North American journal of sports physical therapy: NAJSPT. 2010;5(4):234.

45. Rössler R, Donath L, Bizzini M, Faude O. A new injury prevention programme for children's football–FIFA 11+ Kids–can improve motor performance: a cluster-randomised controlled trial. Journal of sports sciences. 2016;34(6):549-56.

46. Parsons JL, Sylvester R, Porter MM. The effect of strength training on the jump-landing biomechanics of young female athletes: results of a randomized controlled trial. Clinical Journal of Sport Medicine. 2017;27(2):127-32.

47. Root H, Trojian T, Martinez J, Kraemer W, DiStefano LJ. Landing technique and performance in youth athletes after a single injury-prevention program session. Journal of athletic training. 2015;50(11):1149-57.

48. Yu B, Garrett WE. Mechanisms of non-contact ACL injuries. British journal of sports medicine. 2007;41: 47-51.

49. Panics G, Tallay A, Pavlik A, Berkes I. Effect of proprioception training on knee joint position sense in female team handball players. British journal of sports medicine. 2008;42(6):472-6.